



NASA-3D PRINTED HABİTAT YARIŞMASI: MARS ICE HOUSE VE MARSHA PROJESİNİN MEKAN ANALİZLERİ

Sema KIRICI^a , Pınar DİNÇ KALAYCI^b 

^a Antalya Belek Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, TÜRKİYE

^b Gazi Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Mimarlık Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: sema.kirici@belek.edu.tr

(Geliş/Received: 07.03.2024; Düzeltme/Revised: 29.03.2024; Kabul/Accepted: 31.03.2024)

ÖZ

NASA (National Aeronautics and Space Administration)'nın başlattığı Centennial Challenges adlı programı kapsamında gerçekleştirilen 2015 yılında başlayan 3D Yazıcı Habitat Yarışması 2019 yılında tamamlanmıştır. Yarışmanın başlatılmasındaki temel amaç 3D baskı teknolojilerini kullanarak uzay ortamında sürdürülebilir yaşam alanı tasarlayabilme ve yenilikleri keşfetme motivasyonudur. Bu yarışma 3 kategoriye ayrılmış ve her kategori kendi alt dallarına ayrılarak bölümlenmiştir. Bu çalışmada, bu yarışmalar serisinin 1.Aşama içerisinde yer alan Habitat Konsept Mimari Tasarım Yarışmasında birincilik ödülü kazanan Mars Ice House projesi ve Aşama III kategorisinin alt dallarından olan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM modelleme) dalında ikincilik ödülü alan Marsha Project incelenmiştir. Bu iki projenin ele alınmasının nedenleri arasında; modellendikten sonra 3D yazıcı ile basılmış olmaları, 3D baskı esnasında kullanılan malzemelerin birbirinden farklı olması, yapı formunun birbirinden farklı olması gibi nedenler sıralanabilmektedir. Projelerin ayırt edici temel farklılıklarının olması birbiri ile karşılaştırmayı daha görünür kılmaktadır. Bu çalışmada, Mars Ice House ve Marsha Project çalışmaları karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılarak mekân organizasyonları incelenmiştir. Çalışma süresince mekân organizasyonların benzerlikleri ve farklıları irdelenmiştir. Bu bilgiler, konu ile ilgili literatür taramasından, ilgili projelere ait bilgileri içeren çeşitli kurum ve kuruluşların online sitelerinden, yarışma raporlarından ve konferans bildirilerinden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzay Mimarlığı, Mars Ice House, Marsha Project, 3D Yazıcı Habitat Yarışması.

NASA-3D PRINTED HABITAT COMPETITION: SPATIAL ANALYSES OF MARS ICEHOUSE AND MARSHA PROJECT

ABSTRACT

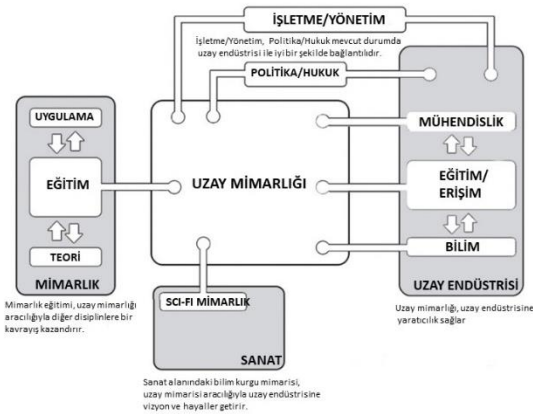
The 3D Printer Habitat Competition, which started in 2015 and was carried out within the scope of the Centennial Challenges program initiated by NASA (National Aeronautics and Space Administration), was completed in 2019. The main purpose of the competition is to design a sustainable living space in the space environment using 3D printing technologies and the motivation to discover innovations. This competition is divided into 3 categories and each category is divided into its own sub-branches. In this study, the Mars Ice House project, which won the first prize in the Habitat Concept Architectural Design Competition, which is in the 1st Stage of this series of competitions, and the Marsha Project, which received the second prize in the Building Information Modeling (BIM modeling) branch, one of the sub-branches of the Phase III category, were examined. Among the reasons for considering these two projects; reasons such as the fact that they were printed with a 3D printer after modeling, variance of the materials used during 3D printing, and the difference between the building forms can be listed. The fundamental differences makes comparison between these projects more visible. In this study, space organizations of Mars Ice House and Marsha Project studies were examined using the comparative analysis method. During the study, their similarities and differences were examined. This information

was obtained from the literature review on the subject, online sites of various institutions and organizations containing information about relevant projects.

Keywords: Space Architecture, Mars Icehouse, Marsha Project, 3D Printed Habitat Competition.

1. GİRİŞ

20.yüzyılın başlarından itibaren roket teknolojisinin gelişimine paralel olarak başlayan uzay çalışmaları günümüzde artarak devam etmektedir. Uzay alanında yapılan çalışmalar yalnızca uzayın keşfi ile sınırlı kalmamakla birlikte uzayda sürdürülebilir bir yaşam alanı kurma tasarımını da kapsamaktadır. Öyle ki uzayda uzun süre konaklamak amacıyla olası yaşam alanlarının öngörü çalışmaları çeşitli uzay ajansları ve uluslararası kuruluşlar tarafından Ar-ge projeleri, mimari tasarım yarışmaları, malzeme optimizasyon araştırmaları vb. çalışmalar kapsamında yapılmaktadır. Uzay habitat tasarım çalışmalarında insan-çevre ilişkisi kilit bir rol oynamaktadır. Tasarımın gerçekleştirileceği Ay veya Mars çevresel koşullarına bağlı olarak bu ilişkinin sınırlılıkları çizilebilmektedir. Tasarım kriterleri niteliksel ve niceliksel olarak belirlenmelidir. Uzay tasarım çalışmaları interdisipliner bir alan olup birbiri ile ilişkili birçok kriter vardır. Çevresel faktörler, kütleli, malzemeyi, yapı formunu ve hacmini büyük ölçüde etkilemektedir. Uzay mimarlığında rol alan ‘mimar’ kişi bu kriterleri yeryüzü mimarlığından farklılaşan yönleri ile yeniden ele almalı, doğru bir şekilde analiz etmeli ve mekânda yansımalarını kullanıcıya doğru bir şekilde aktarmalıdır.



Şekil 1. Uzay Mimarisi ve diğer disiplinler arasındaki ilişki diyagramı (Wong,2003).

Uzay Mimarlığının tanımı şu cümleler ile ifade edilebilmektedir: "insanın yeni yerleri keşfetme ve işgal etme konusundaki derin dürtüsüne

yanıt verme" motivasyonu ile "uzayda yaşanabilir ortamlar tasarlama-inşa etme teorisi ve pratiğidir" (Wong, 2003). Mimarlık, yapı çevrenin yaratılmasını, zenginleştirilmesini organize eder ve bütünleştirir. Uzayda tasarım yapabilme, yörünge mekaniği, inşaat teknolojisi, itme, sıfır yerçekimi, basınç, hermetik ortamların insan üzerindeki psikolojisi ve diğer konularda uzmanlık bilgisi gerektirir. Uzay Mimarlığı, havacılık ve uzay mühendisliği, karasal mimari, ulaşım tasarımı (roket teknolojisi), tıp, insan faktörleri, uzay bilimi, hukuk ve sanat gibi çeşitli alanlarla tamamlayıcı ilişkilere sahiptir (Osburg, Adams, C. and Sherwood,2003). Yeryüzü mimarlığında kabul edilen tüm kurallar uzay mimarlığında yeniden şekillenmektedir. Bu koşul insanın zorlu çevre koşulları karşısında yaratıcılığını ve çözüm üretebilme becerisini genişletmeye, bilinenin dışında düşünmeye teşvik etmektedir. Fakat, bilinenlerin detaylı bir şekilde özümsemesi tasarımın temel dinamiklerinden birisidir. Ay ve Mars çevresel koşullarına uyum sağlayabilecek bir tasarımın yapılabilmesi için kaçınılmaz öncüllerin saptanması önem teşkil etmektedir. Bu öncüller; sıcaklık, toz, rüzgâr, radyasyon ve atmosfer (basınç) olarak sıralanabilir.

Ay ve Mars ortamının çevresel koşullarını tanımlamada genel terimler aynıdır çünkü benzer basınç, sıcaklık, toz, rüzgâr ve radyasyona sahiptirler. Ancak, dikkatli bir şekilde analiz edildiğinde, tasarım açısından kritik olan belirli farklılıklar vardır (Prakash, 2019).

Toz (Dust): Mars tozundaki ferrik oksitler ve oksihidroksitler tarafından verilen ayırt edici kırmızımsı renkli ve ince taneli (<5 µm) toz Mars yüzeyinde her yerde bulunmaktadır ve manyetik özelliğe sahiptir. Fakat toz örtüsü Mars yüzeyini tam olarak kaplamaz ve Mars yüzey tozunun altında, kendine özgü bileşime sahip ana kaya ve çökelti bulunmuştur (Ehlmann and Edwards, 2014). Mars tozu, kapladığı yüzeyden rüzgâr aracılığıyla taşınabilir. Fakat, Ay tozu yüzeye yapışma eğilimindedir. Bu da sistemsel sorunlara yol

açabilir. Sistemler toz fırtınalarına karşı dirençli olmalı ve uygun şekilde kaplanmalı veya örtülmelidir. Sistemler tozun doğasından, yani elektromanyetik olup olmamasından bağımsız olarak tasarlanmalıdır (Prakash, 2019).

Rüzgâr: Mars yüzeyinde toz hareketlerine sebep olan temel nedenlerden birisi rüzgârlardır. Yüzeğe yakın rüzgâr stresi (Near-Surface Wind Stress (NSWS) atmosferde önemli miktarda toz kaldırabilir. Yüzeğe yakın rüzgârlar küresel ve bölgesel toz fırtınalarının başlamasında baskın rol oynadığı düşünülmektedir (Giuranna ve diğerleri, 2021). Bu nedenle tasarlanacak olan sistemlerin toz fırtınalarına karşı dirençli olması önem teşkil etmektedir. Ay da ise atmosfer eksikliğinden dolayı rüzgârlar oluşmamaktadır.

Atmosfer (Basınç): Mars atmosferinin bileşimi Dünya'ninkinden farklıdır. Mars yüzey yerçekimi Dünya'dakinin yalnızca %38'i olması nedeniyle Mars atmosferinden sürekli olarak uzaya gaz kaçmaktadır. Bu durum, Mars ortalama basıncının 0,636 kPa, Dünya'da ise 101,325 kPa olmasına neden olmuştur (Liu ve diğerleri, 2022). Ay'ın ise atmosferi yoktur, güneş rüzgârları atmosferi zaman içerisinde aşındırmıştır. Bu durum, yapı kabuğunu tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Yapı kabuğu iç ortamda Dünya atmosferine sahip olurken dış ortam koşullarında Mars atmosferine veya atmosfersiz bir ortama dayanıklı olmalıdır.

Sıcaklık: Mars'ın ortalama sıcaklığı Dünya'ninkinden daha düşük ve sıcaklık farkı daha geniştir. Mars yüzeyinde ortalama sıcaklık - 63 °C, günlük maksimum sıcaklık farkı 60 °C iken, Dünya'da ortalama sıcaklık 15 °C ve maksimum günlük sıcaklık farkı 30 °C'dir (Liu ve diğerleri, 2022). Sıcaklık farkının geniş olması; EVA kıyafet tasarımında yüksek sıcaklıklar karşısında daha dirençli olma durumunu ve Termal Kontrol Sistem tasarımını (Thermal Control System-TCS) doğrudan etkilemektedir (Prakash, 2019).

Mars ve Ay atmosferik koşullarının Dünya atmosferik koşullarından farklılaşması tasarımı belirleyen kriterlerin farklılık göstermesine yol açmaktadır. Bu koşulların varlığı yapı ile entegreli yeni sistem gereksinimlerini ortaya çıkarmıştır. Mars ve Ay koşullarında mekan organizasyonunu etkileyen bir çok kriter vardır;

altyapı sistemleri, atık su arıtma ve su döngüsü, sürdürülebilir yiyecek kaynağı, geri dönüşüm sistemleri, sürdürülebilir enerji kaynakları-üretimi ve kullanımı, atmosferik koşullar (sıcaklık, basınç, rüzgâr), yerinde kaynak kullanımı, EVA sistemleri (Extravehicular Activity) vb. gibi kriterlerdir. Henüz Ay veya Mars yüzeyinde aktif olarak varlığını sürdüren yaşam birimleri yoktur. Fakat, çeşitli meslek gruplarından oluşan ekipler bu koşullara uyum sağlayabilecek yaşam modülleri tasarlamaya çalışmaktadır. Bu modül tasarımları çeşitli inşaat teknolojileri ile gerçekleştirilmektedir. Uzayda yapım teknolojileri arasında; 3D yazıcılar kullanarak inşa etme, robotların uzaktan kontrolü ile inşa etme, akıllı inşaat yöntemiyle inşa etme (Liu ve diğerleri, 2022) yer almaktadır. Modüllerin yapım yöntemleri ise temel başlıklar altına toplandığında;

- Önceden birleştirilmiş rijit kabuk modüller: Yapılar Dünya üzerinde üretilir, test edilir sonrasında Ay ve Mars yüzeyinde kurulmak üzere Dünya'dan taşınır. Böylece yapının monte edilmesi Mars veya Ay yüzeyinde gerçekleştirilir. Rijit yapılar, ikincil bir yapıya ihtiyaç duymadan aynı anda tüm yükleri barındıracak şekilde tasarlanabilir (Bahrami, 2011). Bu yapım yönteminde, malzemenin ağır olması ve uzaya taşınırken fazla yer kaplaması dezavantajları arasında sayılabilir. Şekil 2'de habitat modülleri bu sistem ile oluşturulmuştur.



Şekil 2. Önceden bütüleştirilmiş sert kabuk modülleri farklı dikey ve yatay habitat formları (Prakash,2019).

- Pnömatik sistemler: Şişirilebilir yapı modüllerinde kullanılacak olan malzeme, taşıma ve inşaat sırasındaki her türlü yüke karşı

yeterli aşınma direncine sahip olmalıdır. Örtü elemanının delinme olasılığı tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır. Katmanlı malzeme ve kompozit malzeme kullanılarak yapının dayanıklılığı artırılabilir. Bu sistemler iç mekânda büyük bir hacim sağlamakla birlikte aynı zamanda dış çevreden kolay bir şekilde algılanabilir (Mottaghi, 2013). Şekil 3'te şişirilebilir habitat modülleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Test edilen birkaç şişirilebilir uzay habitati. (Bigelow Aerospace)

- Malzemenin yerinde üretimi ile inşa edilen modüller: Ay ve Mars yüzeyinde bulunan yerel malzemeler kullanılarak habitat malzemesi üretilir ve habitat inşa edilir (Bahrami, 2011). Ay ve Mars toprağı birbirinde farklı kimyasal birleşimlere sahiptir. Tasarım aşamasında yerinde üretilen inşaat malzemesi kullanımı uzayda yapı tasarım maliyetini düşürürken sürdürülebilir bir inşaat malzeme kullanımı imkânı sunmaktadır.

Gezegen yüzeyinde inşa edilecek yahut kurulumu gerçekleştirilecek yapıların yapım yöntemleri çeşitlenmektedir. Görev süresine, görev amacına, görev maliyetine ve mürettebat sayısına bağlı olarak habitat formları değişiklik göstermekte ve yapım yöntemleri farklılaşmaktadır. Yukarıda sıralanan yöntemler çeşitli testlerden geçerek form tasarımı için en optimum çözüm aranmaktadır. Yöntem arayışlarına bu alanda küresel ölçekte yapılan yarışmalar büyük bir katkı sağlamaktadır. Uzay alanında yapılan yarışmalarda belirlenen kriterlere uygun olarak üretilen projelerden elde edilen veriler yöntemlerin test edilebilirliği sorgulama imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada NASA'nın düzenlediği 3D Baskılı Habitat Yarışmasında farklı kategorilerde birincilik ödülü alan iki proje incelenecektir.

2005 yılında National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından başlatılan Centennial Challenges adlı program ileri teknoloji geliştirme sürecine halkın doğrudan katılımını sağlamak amacıyla başlatılmıştır. Program çeşitli ve geleneksel olmayan kaynaklardan gelen yenilikleri aramaktadır. Centennial Challenges, NASA'nın Ödüller, Zorluklar ve Kitle Kaynak Kullanımı programının bir parçasıdır (URL 1). Bu çağrının amacı uzay ve havacılık faaliyetlerinin yürütülmesinde yeni teknolojileri keşfetmek ve uzay alanındaki çalışmalara insanları teşvik etmektir.

2015 yılında NASA, Centennial Challenges programı kapsamında derin uzay araştırmaları için 3D baskılı bir habitat inşa etme yarışmasını duyurmuştur. 3D baskılı Habitat yarışması Ay veya Mars'ta olası bir yaşam yerleşkesi için gerekli olan inşaat teknolojilerini araştırmak üzere başlatılmıştır. Yarışmacılardan, Ay'da veya Mars'ta uzun süreli görevler için yerel malzemeler kullanarak ölçekli ve simüle edilmiş bir Mars habitati tasarımları ve inşa etmeleri istenmiştir. Bu yarışma 3 farklı aşamadan oluşmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2015 yılında NASA'nın düzenlediği 3D Baskılı Habitat Yarışması farklı kategorilerden oluşmaktadır. Kategoriler kendi içerisinde alt kategorilere ayrılmıştır. Aşama 1 kategorisi Habitat Konsept Mimari Tasarım Yarışmasını, Aşama 2 kategorisi Yapısal Ürün Yarışmasını, Aşama 3 kategorisi Yerinde Üretim yapılarak Habitat Oluşturma Yarışmasını içermektedir. Her kategori kendi içerisinde farklı konuları ele almaktadır. İncelen projeler farklı kategorilerde birincilik ödülü almıştır. Aşama 1 (Phase 1) kategorisinde birincilik ödülü alan Marc Ice House ve Aşama 3 (Phase 3) Level 5 kategorisinde birincilik ödülü alan Marsha Project karşılaştırmalı analiz yöntemi ile mekân organizasyonları incelenecektir. Bu çalışmada Aşama 2'de (Phase 2) yer alan projelerin incelenmemesinin nedenleri arasında bu aşamanın doğrudan malzeme üretimi yönünde olmasıdır. Bu aşamada yarışmacılardan beklenen 3B yazıcılar için malzeme formülasyonları geliştirmeleri ve bu malzemelerin basımı sonrasında gerçekleştirilecek testlerden başarılı olmalarıdır. Çizelge 1'de yarışma kategorileri detaylı olarak açıklanmış ve her kategoride birinci olan yarışma projesi

tablolaştırılmıştır. Bu çalışmada nitel araştırma yöntemi ve yarışma projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan belge incelemesine dayalı karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılmıştır. Seçilen projelerin mekân organizasyonları analiz edilmiş, bu

çalışmaların ortak ve farklı yönleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar; çeşitli online kaynaklardan, uluslararası kurum ve kuruluş raporlarından, yarışma raporlarından ve literatür taraması yapılarak ortaya konulmuştur.

Çizelge 1. NASA 3D habitat Yarışmasında farklı kategorilerde birinci olan yarışma projeler (Roman ve diğerleri; Prater ve diğerleri; NASA (2020); URL 2)

Yarışma aşamaları	Yarışma seviyesi	Yarışmada Birinci olan ekipler	Yarışma konusu	Birinci olan yarışma görselleri
Aşama 1 (Phase 1)		Space Exploration Architecture) and Clouds AO (Mars Ice House)	Konsept mimari tasarım yarışma aşaması	
Aşama 2 (Phase 2)	Level 1	1.Foster+ Partners and Branch Technology	3D yazıcı ile basılan bir numuye yapılan dayanıklılık testleri	
	Level 2	1.Moon-X Construction	Kiriş baskısı(yapısal eleman yarışması)	
	Level 3	1.Foster+Partners/Branch Technology	3D yazıcı ile basılan yapısal elemanın çeşitli testlerden geçmesi	
Aşama 3 (Phase 3)	Level 1	1.Team Zorpherus of Rogers (Arkansas)	Ekipler 3D baskılı bir habitatın tasarımını BIM yazılım aracı tamamlamak ve çeşitli kriterleri tamamlama aşaması	
	Level 2	1. Team SEArch+/Apis Cor	Habitatın temelinin bir kısmının basımı ve çeşitli testlerden geçme aşaması	
	Level 3	1. Team SEArch+/Apis Cor	Üç gün içerisinde 1:3 ölçekli bir habitat üretme aşaması	
	Level 4	1. Team SEArch+/Apis Cor	NASA'nın 3D Baskılı Habitat Yarışması'nın yazılım modelleme aşaması	
	Level 5	1. AI SpaceFactory (Marsha Project)	Sanal olarak tasarımı yapılan modelin üretilen yerel bir malzeme ile habitat basımını gerçekleştirme aşaması	

3. NASA 3D BASKILI HABİTAT YARIŞMASI

NASA'nın Centennial Challenges programı, havacılık sektöründe hızlı inovasyon ve teknoloji geliştirilmesini teşvik etmek amacıyla halka açık ödüllü bir yarışmalar serisidir. Geçmişte de yarışmalar bazı amaçlara ulaşmada yardımcı olduğu kadar yeni teknolojik gelişmelerin yaşanmasına da ön ayak olmuştur. Öyle ki, 1700'lü yıllarda yapılan bir yarışmada John Harris'e, denizcilerin yolculukları sırasında Dünya'nın boylamlarını tam olarak belirlemelerini sağlayan deniz kronometresini geliştirmesi nedeniyle İngiliz Hükümeti tarafından 'Longitude Prize' ödülünün

verilmesi örnek olarak gösterilebilir (Mueller ve diğerleri, 2019). 2005 yılındaki başlangıcından bu yana, Centennial Challenges programı, havacılık ve uzay teknolojisi gelişimindeki sorunlara yönelik yarışmaları düzenlemiştir. 3D Baskılı Habitat Yarışmasından önce NASA tarafından düzenlenen önceki yarışmalar arasında astronot kıyafeti, biyo-baskı, uzay robotiği, regolit kazısı, yaşam destek sistemleri ve küçük uydular yer alıyordu. NASA 'nın 3D baskılı habitat yarışması 2015-2019 yılları arasında 3 aşamalı olarak gerçekleşti ve bu yarışmada, yerel malzemeler ve/veya geri dönüştürülebilir uzay çöpleri kullanılarak gezegen yüzeylerinde kendi kendini idame

ettirebilen altyapı inşası için teknolojiler geliştirmek amaçlanmıştır (Mueller ve diğerleri, 2019).

Aşama 1: Habitat Konsept Mimari Tasarım Yarışmasını içermektedir. Yerel malzemeler kullanılarak oluşturulan Mars yaşam alanının konsept çalışmaları ve tasarım modelleri yarışmacılardan istenmiştir. 2015 yılında yarışma sonuçlandırılmıştır.

Aşama 2: Yapısal Ürün Yarışmasını içermektedir. Yarışma üyelerinden konsept çalışmalarının gerçeğe dönüştürülmesi için gerekli olan 3D baskı sistemlerini ve malzeme formülasyonlarını geliştirmeleri istenmiştir. 2017 yılında yarışma sonuçlandırılmıştır.

Aşama 3: Yerinde Üretim yapılarak Habitat Oluşturma Yarışmasını içermektedir. Yarışma hem mimari modelleme hem de fiziksel inşaat aşamalarını içermektedir. 5 farklı yarışma alt seviyesi belirlenmiştir. Yarışmanın sanal (modelleme) yapım seviyelerinde, ekiplerden habitatları için yapı bilgi modelleme (BIM) yazılımı kullanarak model oluşturmaları ve yapının malzemeleri, tasarım kriterleri ve yapım yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi vermeleri istenmiştir (Prater ve diğerleri, 2018) Fiziksel inşaat seviyelerinde ise ekipler bir habitat elemanının veya habitat temelini bir kısmının basılması istenmiştir. Yerel malzemeler kullanılarak bir habitat inşa edilmesi amaçlanmıştır. Yarışma 2019 yılında sonuçlandırılmıştır (Prater, Kim, Roman ve Mueller, 2018).

Kavramsal mimari tasarım yarışması olan birinci aşamada Space Exploration Architecture ve Clouds Architecture ekibinin tasarladığı 'Mars Ice House' birincilik ödülünün almıştır.



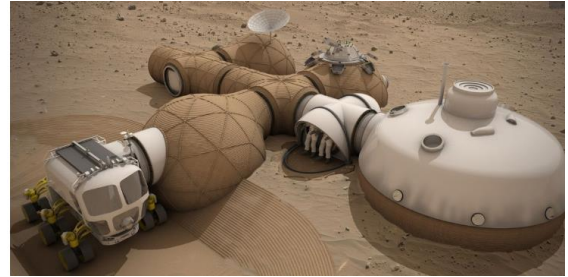
Şekil 4. Team Space Exploration ve Clouds Architecture'dan Mars Buz Evi tasarımı(URL 3)

Team Gamma tarafından tasarlanan Mars habitat tasarım çalışması ise ikinci sırada yer almıştır.



Şekil 5. Team Gamma tarafından hazırlanan Mars habitat tasarım konsepti (URL 3)

Üçüncü sırada ise Team LavaHive tarafından hazırlanan tasarım çalışması olmuştur. Aşama 1'de birinci olan tasarım çalışması proje kapsamında geliştirilen malzeme formülasyonlarına uygun olarak 3D yazıcılarla basımı gerçekleştirilmiş ve yarışmada belirlenen testlerden geçerek sonuçları diğer aşamalarda basılan habitat yapıları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Team LavaHive tarafından hazırlanan Mars habitat tasarım konsepti (URL 3)

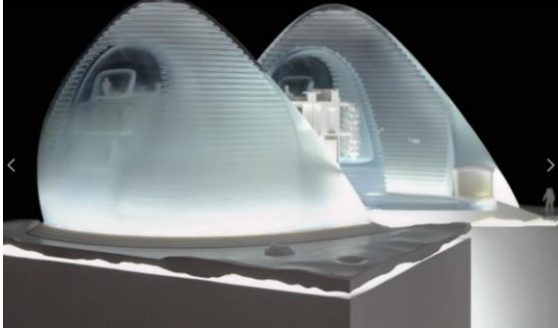
3.1. Mars Ice House

Mimarlık ve uzay araştırmaları üzerine çalışmalar yürüten The SEArch (Space Exploration Architecture) ve Clouds AO (Clouds Architecture Office) NASA tarafından düzenlenen 3D Baskılı Habitat Yarışmasının 1.Aşamasında birincilik ödülünü almıştır. Projeyi uzayla ilgili konularda uzman olan interdisipliner bir ekip yürütmüştür. Ekip; çeşitli kurum ve kuruluşlardaki bilim insanlarından, astrofizikçilerden, jeofizikçilerden, yapı mühendislerinden, buz uzmanlarından, robotikçilerden, 3D baskı mühendislerinden ve mimarlardan oluşmaktadır. Yarışmada Mars yüzeyinde 4

astronotun 500 gün konaklayacağı en fazla 1000ft² (92 m²) büyüklüğüne sahip bir yaşam alanı tasarlanması istenmiştir. (Morris ve diğerleri, 2016). Mars Ice House insan yerleşimi için tasarlanmış bir yaşam alanı fikrine bütünsel bir yaklaşım sunmuştur. Mars yaşam alanlarında radyasyon ve sıcaklık gibi dış etkenlerin zorlayıcı koşullarından korunma önemli etkenler olsa da mürettebatın uzun süre kapalı ortamlarda bulunması sonucu ortaya çıkacak psikolojik sağlık problemleri de dikkate alınmalıdır.

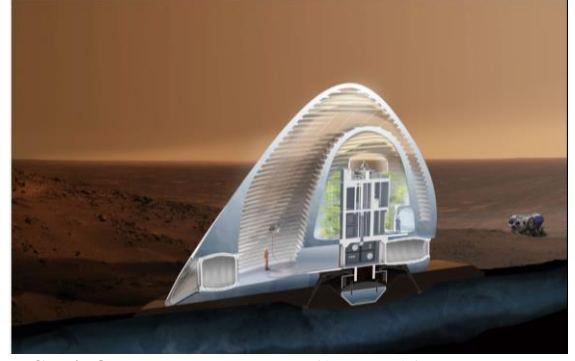
Bu nedenle, suyun birincil inşaat malzemesi olarak kullanılması hem insan psikolojisi hem de radyasyon ve inşaat faktörleri için bu projenin temelini oluşturmuştur (Morris ve diğerleri, 2016). Mars'ın belirli bölgelerinde bol miktarda su bulunması öngörüldüğünden, suyun hem insan ve bitki ekosistemi için bir yaşam kaynağı olması hem de 3 boyutlu baskıda birincil imalat malzemesi ve yerel bir malzeme olarak kullanımı belirlenmiştir.

Mars Ice House'un mimarisi, iç mekânın ışık alabilmesi ve dış manzarayla doğrudan ilişki kurma amacıyla ortaya çıkmıştır. Tasarım, beden sağlığının yanı sıra zihin sağlığının da korunmasına olanak sağlayacak şekilde kurgulanmıştır.



Şekil 7. Mars Ice House(URL 4)

Mars kuzey bölgesinde kurulan habitat için su buzunun yapının ana malzemesi olarak tercih edilmesinin bir diğer nedeni ise su buzunun güneş ışığını filtreleme özelliği ve radyasyona karşı bariyer görevi görmesi olarak sıralanabilir. Marsın kuzey bölgesinde bulunan su buzunu kullanarak yapıya ikincil bir kabuk oluşturulmuştur. Yapının ana gövdesini oluşturan yaşam alanları tamamen iç kısımda yer almaktadır ve dış kabuk sayesinde basınçtan korunmaktadır (URL 5).

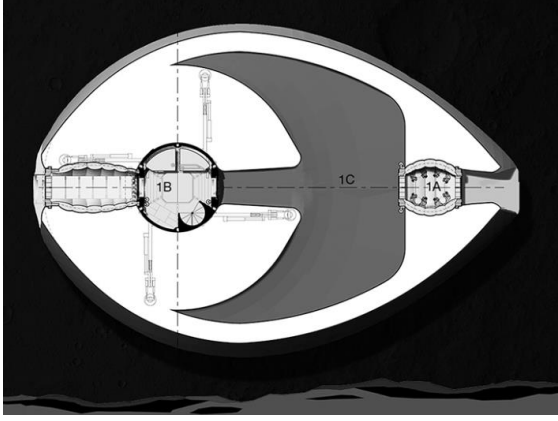


Şekil 8. Mars Ice House Dikey Habitat (URL 5)

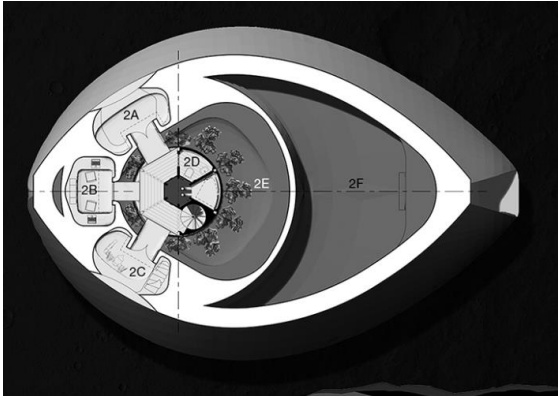
Dikey yönlü iniş aracı, oluşturulacak olan habitatın mekanik işlevlerini barındırmaktadır. Yaşam alanı 4 farklı katmandan oluşmaktadır ve her katmanın programları belirlenirken iniş aracının kullanım faaliyetlerine göre özel ve ortak mekanlardan oluşacak şekilde planlanmıştır. İniş aracının alt kısmında iç mekân verimliliğini artırmak amacıyla geniş depolama ceplerinde hem robotlar hem de dört Çevresel Kontrol ve Yaşam Destek Ünitesi (Environmental Control and Life Support Systems-ECLSS) bulunmaktadır.

Level 1 kat planında görülen 1C no'lu kısım habitatın iç çekirdeğinden termal olarak ayrılmış, iç ve dış kabuk arasında 'ön bahçe' cebi olarak işlevlendirilmiştir. Bu kısımda astronotlar EVA (Extravehicular Activity) kıyafeti giymeden dışarıyı deneyimleyebileceklerdir. Aynı zamanda habitatın avlusu olarak da kurgulanan 1C bölmesi; ikincil, yarı bağımsız bir buz kabuğunun dış kabuktan ayrıldığı yerde bulunur. ETFE membranı ile iniş aracı arasında iki katman oluşturan bu ara katman; ortak bir basınç alanı paylaşırken aynı zamanda ayrı bir sıcaklık ve hava üretim bölgesi de oluşturur.

Bu durumun, Mars'ta şimdiye kadar hayal edilmemiş, bitkilerle dolu yeşil avlular deneyimi yaratma imkânı sunması planlanmaktadır (URL 5).

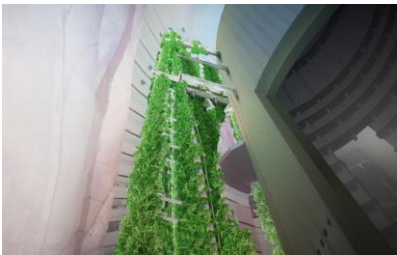


Şekil 9. Level 1 kat planı-1A. Hava Kilidi Girişi, 1B. Giriş Seviyesi, Rover Bağlantısı, 1C. Orta Sınır Bölgesi (URL 4)

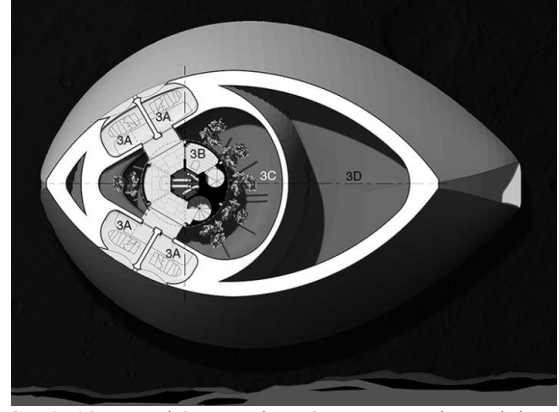


Şekil 10. Level 2 kat planı-2A. Egzersiz / Tıbbi Destek, 2B. Laboratuvar, 2C. Kütüphane / Küçük Oda, 2D. Birinci Hijyen Alanı, 2E. Sera, 2F. Orta Sınır Bölgesi (URL 4)

Level 2’de yer alan 2E no’lu kısımda sera olarak tasarlanan alan rekreasyonel 'parklar' görevi görmektedir. Böylece mürettebatın yiyecek ve oksijen üretimini de sağlayan bir alan haline gelmektedir. Bu alanlar, tüketilebilir ürünlerin yetiştirilmesine olanak tanımakla birlikte mürettebatın günlük programlanmış aktiviteleri sırasında doğal bitki yaşamı ve renklerle temas etmesine olanak sağlamaktadır. Böylece habitatta bulunan mürettebatın psikolojik ve zihinsel sağlığına fayda sağlamasında ve avlu da, üretilen fazla oksijenin dışarı atılabileceği bir alan kurgulanmasında rol oynar.

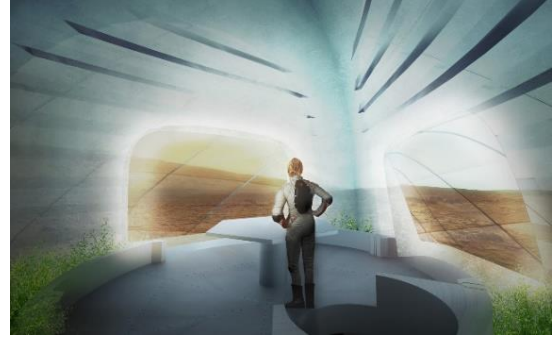


Şekil 11. Level 2’de bulunan iç bahçe (URL 5)

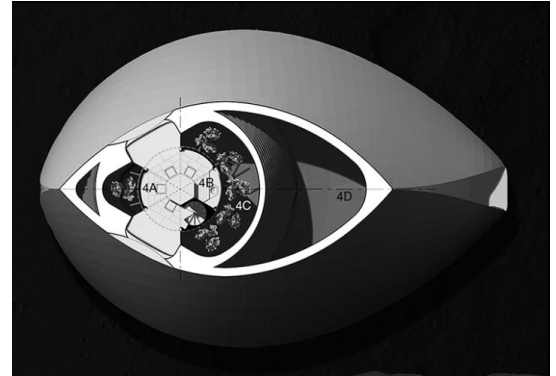


Şekil 12. Level 3 Kat Planı-3A. Mürettebat odaları, 3B. İkinci Hijyen Alanı, 3C. Sera, 3D. Orta Sınır Bölgesi (URL 5)

Buz kabuğunun incelendiği yerde, radyasyon koruyucu gazla doldurulmuş ETFE şişirilebilir pencereler, algılanan hacmi daha da genişletir ve manzarayı gözler önüne sermektedir (URL 5).



Şekil 13. ETFE Pencereler (URL 5)



Şekil 14. Level 4 Kat Planı-4A. Yemek yeme alanı, 4B. Yiyecek Hazırlama Alanı, 4C. Sera, 4D. Orta Sınır Bölgesi (URL 5)

Doğal ışığa doğrudan erişim sağlayan ve insanları zararlı radyasyondan korumak için suyun emme spektrumunu kullanan, aynı zamanda içinde seraların varlığına da izin veren, habitatın etrafında şeffaf bir kabuk oluşturan bir dizi iç içe geçmiş buz kubbesi yarışma kapsamında 3d yazıcı ile basılmıştır (Freitas, Costa, Aparicio ve Genin, 2018).



Şekil 15. (a) Yarışma kapsamında McGill Üniversitesi'nin yalıtımlı robotik kola sahip soğutma tesislerinde tuzlu su destek yapısı ve su buzu basımı gerçekleştirildi (b) Tuzlu su destek yapısının erimesinden sonra kalan 3D baskılı buz yapısı (Morris ve diğerleri,2016)

Eklmeli üretim yöntemiyle buzlu bir yapıyı basmak için hem taşıma araçlarına hem de malzeme biriktirme araçlarına ihtiyaç vardır. Geleneksel 3d yazıcılar, üç boyutlu bir aks eksenini ve kullanılacak malzemeye uygun bir nozül ağzından oluşur. 3d yazıcıların üç eksenli hareket kabiliyeti belirli sınırlar içerisinde kalma zorunluluğunu doğurmuştur. Robotik kollar sayesinde hareket eksenini artmış ancak basılacak ürün robotik kolun sınırları arasında kalmıştır. Büyük ölçekli yapıların basılması için ya çok daha geniş bir eksen aralığı ya da eksenin (robotik kol veya yazıcı kafası) daha geniş bir alanı kapsayacak şekilde hareket kabiliyetine sahip olmasını gerektirir (Roman ve diğerleri, 2020).

3.2. Marsha Projesi

NASA Centennial Challenges yarışmasının Aşama 3 kategorisinde ödül alan 'Marsha Project' AI. SpaceFactory tarafından tasarlanmıştır. Şirket, gökdelen tasarlama konusunda onlarca yıllık deneyime sahip mimarlardan ve teknoloji uzmanlarından oluşmaktadır. Bu yarışma kapsamında proje ekibine yapı mühendisleri, aerodinamik ve aydınlatma uzmanları, jeologlar, malzeme bilimcileri ve madencilik uzmanları dahil olmuştur. Böylece proje ekibi sektörel uzmanları ve akademisyenleri bir araya getirerek Mars yüzeyinde olası bir yapı için doğru ve eşsiz bir tasarım yapmayı hedeflemektedir (Roman ve diğerleri, 2020).



Şekil 16. AI. Spacefactory tarafından tasarlanan Marsha Project (URL 6)

Proje ekibi Mars koşullarında yeni bir tasarım anlayışı belirlemeyi hedeflemiştir. Bu nedenle tam gömülü veya yarı gömülü alçak bir kubbe tasarımından ziyade silindirik, Mars yüzeyinde dimdik ayakta duran çok katlı bir yapı tasarlamayı hedeflemiştir. Dünya'da yapı inşaatında rüzgâr ve yerçekimi gibi etkenler yapı tasarımını belirlerken Mars yüzeyi için bu durum farklılaşmaktadır. Mars koşulları, iç atmosferik basınç ve termal gerilimlerle baş edebilecek şekilde optimize edilmiş bir yapı tasarımını gerektirmektedir. Bu nedenle Marsha'nın tasarımı dik-silindirik yumurta benzeri bir formda tasarlanmıştır. Bu form kubbeden daha fazla iç hacmin kullanımına izin verirken zemin ve üst kısımlarda çapla artan mekanik gerilimleri en aza indirir.

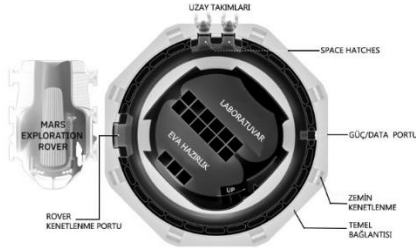
Yapı formu, yapının ortasındaki cidarın iç atmosferik yüklerden kaynaklı oluşacak gerilmelerini sönmülmesine izin verir. Yapının dış duvarları dışarıya doğru esneyebilme olanağına sahiptir (Picazo, 2021). Yapı, Mars yüzeyinde dik bir şekilde konumlanması sayesinde astronotlara değişen hava koşullarını ve farklı manzaraları deneyimleme imkânı sunabilmektedir. Dikey, uzun ve dar bir yapı formu 3d makinasının çoklu doğrultularda basımını azaltarak baskı sırasında oluşacak hata riskini azaltır. Daha doğru ve daha hızlı bir baskı imkânı sunar (URL 5).



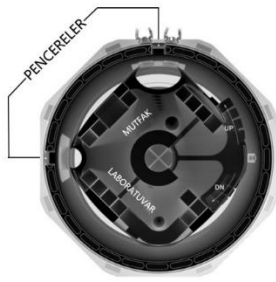
Şekil 17. Marsha Project kabuk tasarımı (URL 6)

Yapıda, Mars koşullarında aşırı sıcaklık dalgalanmalarının neden olduğu yapısal gerilimlerden izole etmek için çift kabuk tasarımı kurgulanmıştır. Bu kabuk sayesinde iç ortam kendi içerisinde bağımsız bir mekân haline gelmekte ve yaşayanlar için Dünya'dakine benzer bir yaşam alanı sunmaktadır. Böylece değişen insan ihtiyaçları doğrultusunda yeniden tasarlanma imkânı sunmaktadır. En üst katta bulunan tavan

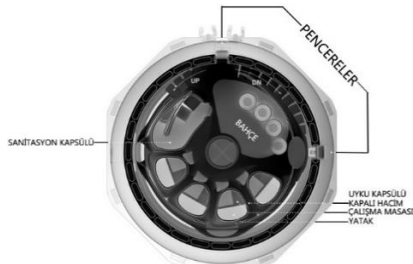
penceresi ve cephelerde bulunan aralıklı pencereler sayesinde iki kabuk arasında kalan boşluk bir ışık kuyusu görevi görerek ışığın tüm katlara dağılmasını sağlamaktadır. Sürdürülebilir bir sosyal ve psikolojik sağlık görevi açısından önemli olduğundan mürettebatın gündelik görev rutinlerini mekânsal ölçekte daha az katı hale getirmek amaçlanmıştır. Her seviyede, 360 derecelik panorama bir görüntü sunan en az bir pencere bulunmaktadır. Büyük tavan penceresinden ve aralıklı pencerelerden gelen dolaylı doğal ışık, mürettebatı zararlı güneş ve kozmik radyasyondan korurken, iç mekânında doğal ışıkla aydınlanmasını sağlamaktadır. İç mekânda mürettebat sağlığını en üst düzeye çıkarmak için Dünyasal ışık döngüsünü yeniden yaratmak üzere tasarlanan sirkadiyen aydınlatma kullanılmaktadır (URL6). Şekil 15'te görüldüğü üzere level 1'de teknik işlevleri olan alanlar yerleştirilmiştir. Şekil 16'da ise level 2 katmanında mutfak (yeme-içme alanı) kurgulanmış ve level 1'de olduğu gibi bu katmanda da laboratuvar kurgulanmıştır.



Şekil 18. Marsha Project Level 1 Kat Planı (URL 6)



Şekil 19. Marsha Project Level 2 Kat Planı (URL 6)



Şekil 20. Marsha Project Level 3 Kat Planı (URL 6)



Şekil 21. Marsha Project Level 4 Kat Planı (URL 6)









Şekil 17'de gösterilen Level 3 katında kullanıcılar için özel ve ortak alanlar konumlandırılmıştır. Bahçe alanı kullanıcılara rahatlayabilme ve zihinsel olarak dinlenebilme olanağı sunmaktadır. Şekil 18'de ise level 4 katı tamamen kullanıcılar için tasarlanmış dinlenme ve egzersiz alanlarından oluşmaktadır. Bu katlar arasında sirkülasyonu sağlayan merdivenler Şekil 14'te görüldüğü gibi iç kabuk ve dış kabuk arasında kalan ara katmanda ve tamamen iç kabuk içerisinde kalacak şekilde kurgulanmıştır.

Spacefactory ekibi, suyun oksijen ve yakıt için değerli bir kaynak olacağı ve küreme sırasında soğuk atmosferde hızlı bir şekilde süblimleşeceği düşüncesinden kaynaklı habitat basımı için yeni bir malzeme kullanımını amaçlamıştır. Yarışmanın en önemli kriterlerinde birisi olan yerinde kaynak kullanımı kriterine karşılık olarak ekip yeni bir malzeme olarak biyopolimer ve bazalt elyaf matrisi geliştirmiştir (Roman ve diğerleri 2020).



Şekil 22. AI Spacefactory'nin MARSHA habitat yarışması yerinde baskı görseli (Mueller ve diğerleri, 2019)

Çizelge 2. Mars Ice House ve Marsha Project genel bilgileri ve mekân analizi gösterir tablo

Kriterler	Mars Ice House	Marsha Project		
Yarışma kriterleri(ortak)	Yaşanılabilir Habitat Alanı : 1000ft2 (92 m2) Görev süresi: 500 gün Mürettebat sayısı: 4 kişi Yapı malzemesi: Yerinde kaynak kullanımı(yerel malzemeler- ISRU) Yapım Yöntemi: 3B yazıcı kullanımı-Otonom inşaat			
Yarışma grubu	Team Space Exploration Architecture and Clouds Architecture	AI Space Factory		
Habitat konumu	Mars'ın kuzey bölgesi	Mars yüzeyi		
Yapı malzemesi	Su buzı+ETFE malzeme	Bazalt fiber ile güçlendirilmiş polylactic acid (PLA)		
Yapı formu	Kubbe benzeri bir form	Dik-silindirik yumurta benzeri bir form		
Kabuk tasarımı	Çift cidarlı kabuk	Çift cidarlı kabuk		
Yazıcı türü	Yarı otonom 3B robotik yazıcı(semi-autonomous robotic printers)	Robotik bir kola sahip sabit bir 3B yazıcı		
Projelerde yer alan ortak iç mekanlar	EVA Hazırlık, Laboratuvar, Yiyecek hazırlama ve yemek yeme bölümleri(Mutfak), Egzersiz Alanı, Dinlenme Alanı(Uyku kapsülü), Rover Bağlantı Portu	Sanitasyon kapsülü, Güç-Data portu, Zemin kenetlenme portu ve temel bağlantısı		
Projelerde yer alan farklılaşan iç mekanlar	Tıbbi destek Alanı, Kütüphane, Orta sınır bölgesi(Ara katman),Birinci ve İkinci Hijyen alanı			
Plan yerleşimi	Mekanlar,dikey ve yatay yönlü olarak yerleştirilmiştir	 Kaynak: URL 8	Tüm mekanlar dikey yönde Dikey yönlü bir yerleşim	 Kaynak: URL 6
Pencereler	Buz kabuğunun incelendiği yerlerde, radyasyon koruyucu gazla doldurulmuş ETFE şişirilebilir pencereler yer almaktadır	 Kaynak:URL 5	Yapı kabuğu üzerinde dışarı ile doğrudan temas eden pencereler yer almaktadır.Yapı kabuğunun 3B yazıcı ile basımı gerçekleştirirken pencereler için boşluk bırakılır	 Kaynak: URL 6
Yeşil Alanlar(Bahçe)	Dış kabuk ve iç kabuk arasında kalan ara katmanda kurgulanan iç avluda kullanıcılar yeşil alanlar içerisinde vakit geçirebilir	 Kaynak:URL 5	İç kabuk içerisinde yer alan bahçe bir iç mekan ögesi olarak kurgulanmıştır	 Kaynak: URL 6
Merdivenler	Merdivenler yalnızca iç katmanda yer almaktadır.Ara katmanda merdiven yer almamaktadır	 Kaynak: URL 8	Merdivenler iç kabuk ve dış kabuk arasında kalan ara katmanda ve tamamen iç katmanda yer alacak şekilde tasarlanmıştır	 Kaynak: URL 6

Yenilenebilir kaynaklarla karıştırılan bu malzeme, dünyadan uzaya çok fazla malzeme getirilmesine gerek kalmadan Mars'ta 3D olarak basılabilmektedir (Koeleman, 2020). Şekil 19'da gösterildiği üzere malzemenin basımı yarışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Mars kayalarından elde edilen bazalt lifi ile Mars'ta yetiştirilebilecek bitkilerden üretilen yenilenebilir biyoplastikten (polylactic acid, or PLA) oluşan bir karışım oluşturulmuştur. Bu geri dönüştürülebilir polimer kompozit karışım, NASA'nın sağlamlılık, dayanıklılık ve basınç testlerinde betondan daha iyi performans göstermiştir (URL 7).

Çizelge 2'de ele alınan projelerin temel benzer ve farklı alanları tablolaştırılmıştır. İç mekân organizasyonları görselleri ile birlikte detaylı olarak açıklanmıştır. Çift cidarlı kabuk tasarımı, yapı içerisinde dikey sirkülasyonun olması, yaşam alanlarının üst katmanlarda kurgulanması, yeme-içme alanları, laboratuvar, EVA hazırlık, egzersiz ve dinlenme alanlarının bulunması her iki projede de ortaktır. Fakat Mars Ice House projesinde çift cidar arasında kalan ara katmanda sera çözümlenirken Marsha projesinde ara katmanda sirkülasyon elamanı çözümlenmiştir. Yapı inşaatında farklı malzeme formülasyonları kullanılmış ve yapıların basımı sırasında farklı otomasyon sistemleri kullanılmıştır.

4. SONUÇ

2015 yılında başlatılan 3D Yazıcılı Habitat Yarışması mimarlık ve diğer disiplinleri bir araya getirerek interdisipliner bir düşünme-tasarlama-üretme olanağı sunmuştur. Uzay çalışmalarının ilerleyebilmesi yalnızca tek bir disiplinler çalışma ile mümkün değildir. Habitat tasarımını oluşturan tüm bileşenler tasarımın şekillenmesinde doğrudan ve dolaylı olarak etkisi vardır. Bu etkileri doğru bir şekilde analiz etmek yalnızca bilgisayar ortamında bu habitatların modellenmesi yapılarak mümkün değildir. NASA'nın düzenlediği bu yarışma serisi boyunca yeni baskı yöntemleri denenmiş, çeşitli otomasyon sistemleri kurgulanmış, 3D baskı için yenilikçi malzeme ekstrüzyonu, malzeme karışımları ve malzeme basım teknikleri test edilmiştir.

Makalede seçilen yarışma projeleri ilk aşamada konsept olarak tasarlanmış sonrasında yarışma kapsamında 3D yazıcılarla fiziksel olarak basımı gerçekleştirilmiştir. Her iki projenin de yapı kabuğu Mars koşullarının getirdiği zorlu çevre şartlarına uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat iç mekân çözümleri ekibin tasarım ilkelerine göre şekillendirilmiştir. Tasarımlarda her ne kadar zorunlu olan ilkelere bağlı kalınsa da mekân yerleşimlerinde tasarımcının etkisi büyüktür. Öyle ki Mars Ice House projesinde kullanıcılar için bir avlu (iç bahçe) görevi gören bir ara katman tasarlanırken, Marsha projesinde bahçe görevi bir iç mekân içerisinde kurgulanmıştır. Bir diğer farklılık ise Marsha projesinin yapı kabuğunda bırakılan küçük pencerelerdir, bu pencereler sayesinde kullanıcılar doğrudan dış manzarayı görebilmektedir. Fakat Mars Ice House projesinde bu görevi buzun inceldiği yerde şişirilen ETFE pencereler üstlenmektedir ve ışığı iç mekâna dolaylı olarak almaktadır. Bu durum gösteriyor ki yapı(habitat) her ne kadar aynı çevresel problemlere cevap arıyor olsa da yapı çözümleri(tasarımları) farklılık göstermektedir. Aynı zamanda bu yarışmaların sonucunda elde edilen veriler yalnızca uzay sahasında kullanılacak kadar kısırlı bilgiler değildir. Yarışma kapsamında üretilen yeni malzeme formülasyonları ve çeşitli otomasyon sistemleri Dünya'daki inşaat teknolojisinin de gelişmesine ön ayak olmaktadır.

AÇIKLAMA

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

KAYNAKLAR

Bahrami, P. (2011). Architectural considerations for lunar long duration habitat. (Doctoral dissertation). Illinois Institute of Technology. College Of Architecture. Chicago.

Ehlmann, B. L., & Edwards, C. S. (2014). Mineralogy of the Martian surface. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, 291-315. 10.1146/annurev-earth-060313-055024

Freitas, B., Costa, C. J., Aparicio, M., & Genin, S. (2018). A conceptual model for building design coordination using open source tools. *A conceptual model for building design coordination using open source tools*, 20-21.

Giuranna, M., Wolkenberg, P., Grassi, D., Aronica, A., Aoki, S., Scaccabarozzi, D., ... & Formisano, V. (2021). The current weather and climate of Mars: 12 years of atmospheric monitoring by the Planetary Fourier Spectrometer on Mars Express. *Icarus*, 353, 113406.

Koeleman, T. (2020). The construction industry of tomorrow implemented today: An introduction of robotic machines on the construction site for parametric city densification.

Liu, J., Li, H., Sun, L., Guo, Z., Harvey, J., Tang, Q., ... & Jia, M. (2022). In-situ resources for infrastructure construction on Mars: A review. *International journal of transportation science and technology*, 11(1), 1-16.

Mottaghi, S. (2013). *Design of a lunar surface structure*. Rutgers The State University of New Jersey, School of Graduate Studies.

Morris, M., Ciardullo, C., Lents, K., Yashar, M. Montes, J., Rudakevych, O., Sono, M. and Sono, Y. (2016). Mars Ice House: using the physics of phase change in 3D printing a habitat with H2O. In Aiaa Space. (Reston, Virginia, 9 Sep 2016). p. 5528 <https://doi.org/10.2514/6.2016-5528>

Mueller, R. P., Prater, T. J., Roman, M., Edmunson, J. E., Fiske, M. R., & Carrato, P. (2019). NASA centennial challenge: three dimensional (3D) printed habitat, phase 3.70th International Astronautical Congress (IAC). (Washington, D.C., 21-25 October 2019).p.2-13

National Aeronautics and Space Administration (NASA), (2020). National Aeronautics and Space

Administration. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/05/3d-printed-habitat-challenge-fs-2020.pdf>

Osburg, J., Adams, C., & Sherwood, B. (2003). A Mission Statement for Space Architecture (No. 2003-01-2431). SAE Technical Paper.

Prater, T., Kim, T., Roman, M. C., and Mueller, R. P. (2018). NASA's Centennial Challenge for 3D-Printed Habitat: Phase II Outcomes and Phase III Competition Overview. In 2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition (p. 5405).

Prakash, A. (2019). *Habitat Commonality for Lunar and Martian Missions* (Doctoral dissertation, University of Houston). 50th International Conference on Environmental Systems (Lisbon,Portugal 12-16 July 2020).

Picazo, M. (2021). A Martian's home: a housing solution for astronauts on Mars (An Honors Thesis). Ball State University. Indiana.

Roman, M. C., Fiske, M. R., Nazarian, S., Yashar, M., Ballard, J., Bentley, M., Adams, A. M. (2020). From 3D-Printing Lunar and Mars Habitats to Affordable Sustainable Housing on Earth. 50th International Conference on Environmental Systems (Lisbon,Portugal 12-16 July 2020).

URL 1: NASA, "Centennial Challenges", https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/?source=post_page-----

Erişim tarihi: 27.02.2024

URL 2. NASA, "Latest Updates from NASA on 3D-Printed Habitat Competition" <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/latest-updates-from-nasa-on-3d-printed-habitat-competition/>
Erişim tarihi: 28.03.2024

URL 3: NASA, "NASA Awards Top Three Design Finalists in 3-D Printed Habitat Challenge", <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/nasa-awards-top-three-design-finalists-in-3-d-printed-habitat-challenge/>
Erişim tarihi: 28.03.2024

URL 4: SEArch, "Mars Ice House" <https://www.spacearch.com/mars-ice-house>
Erişim tarihi: 27.02.2024

URL 5: "Water as a Radiation Shield" <https://www.marsicehouse.com/habitat/v3avu8b0chfv5kk5z4ga7503es1114>
Erişim tarihi: 27.02.2024

URL 6: SPACEFACTORY, "Marsha-Building A Mars Habitat" <https://spacefactory.ai/marsha>
Erişim tarihi: 03.03.2024

URL 7. SPACEFACTORY, "Innovative Construction Materials" <https://spacefactory.ai/marsha>
Erişim tarihi: 03.03.2024

URL 8. CLOUDS AO, "Mars Ice House" <https://cloudsao.com/MARS-ICE-HOUSE>
Erişim tarihi: 27.03.2024

Wong, D. (2003). Space Architecture-An Overview and its Relationship with General Architecture Profession. In AIAA Space 2003 Conference & Exposition (p. 6237). <https://starlightarchitecture.files.wordpress.com/2014/01/aiaa-2003-6237.pdf>