

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AY YAPILARININ YAPIM SİSTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Necla Seval ERDEM

**Ağustos, 2012
İZMİR**

AY YAPILARININ YAPIM SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı**

Necla Seval ERDEM

Ağustos, 2012

İZMİR

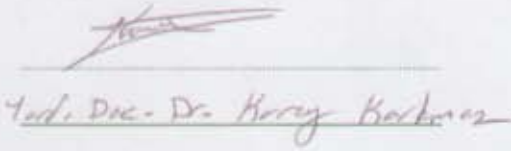
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

NECLA SEVAL ERDEM, tarafından YRD. DOÇ. DR. AHMET VEFA ORHON yönetiminde hazırlanan “ AY YAPILARININ YAPIM SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

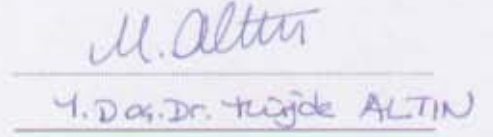
Yard. Doç. Dr. A. Vefa ORHON




Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmanın oluşmasında beni destekleyen ve çalıőmalarımı titizlikle değerlendiren saygıdeğer danıőmanım Yard. Doç. Dr. Ahmet Vefa Orhon'a saygı ve teőekkürlerimi sunuyorum. Bunun yanı sıra, tüm eğitim öğretim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana katkıda bulunan değerli hocalarıma, çalıőmam süresince bana destek olan sevgili arkadaşlarıma ve özellikle deneyimleriyle yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Araç. Gör. Ayça Toku'a teşekkür ediyorum.

Son olarak, hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini ve bana olan inançlarını daima yanımda hissettiğim sevgili babam Celal Erdem'e, annem Sevgi Erdem'e, abim Önder Erdem'e ve kardeőim Eren Erdem'e ve tüm yakınlarıma teşekkür ediyorum.

Necla Seval ERDEM

AY YAPILARININ YAPIM SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Ay Yapılarının Yapım Sistemlerinin Araştırılması başlıklı çalışmanın amacı Ay ortamında yapılacak olan bir yapının tasarımı, inşa süreci ve yapım sistemleriyle ilgili kriterleri belirlemektir. Çalışma 5 bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde; uzay yolculuklarının tarihsel süreç içerisindeki gelişimleri incelenmekte, uzay mimarlığı tanımı yapılmakta ve uzay yapılarının sınıflandırılmaktadır. Sonraki aşamada ise tezin esas ögesi olan Ay yapıları incelenmekte ve diğer gezegenlere oranla daha çok Ay'ın tercih edilmesi sebeplerine değinilmektedir. Bölümün sonunda ise tezin amacı, kapsamı ve yöntemi aktarılmaktadır.

İkinci bölümde; ‘Ay Yapıları Tasarım Süreci’ başlığı altında Ay yapılarının tasarımına etki eden çevresel koşullar ile Ay koşullarının Ay yapısı kullanıcıları üzerindeki etkileri incelenmekte ve bu faktörlere bağlı olarak şekillenecek tasarım kriterleri ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde; ‘‘Ay Yapılarının Strüktürel Tasarımı ve Yapım Sistemleri’’ başlığı altında Ay ortamında uygulanacak projenin yapı malzemesi seçimi, malzeme özellikleri ve yapım sistemleri ile yapım elemanları detaylı olarak incelenmektedir.

Dördüncü bölümde; Ay ortamında uygulanmak üzere tasarlanan örneklere yer verilerek, bu yapıların genel ana bilgileri, tasarım özellikleri, nakliye süreçleri, modülasyon ve büyüme şemaları ele alınmakta ve örnekler yapım sistemleri açısından detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Beşinci bölümde ise karşılaştırma ve sonuç bölümü bulunmaktadır.

Anahtar sözcükler: Uzay yapıları, uzay mimarlığı, Ay yapıları, Ay yapım sistemleri

MODULAR CONSTRUCTION SYSTEMS FOR UNDERWATER AND SPACE CONDITIONS

ABSTRACT

The aim of the study titled “Construction Systems at Lunar .Conditions” is to put into consideration the criterias about design, construction processes and building systems that help architects and engineers during the process of designing structures in Lunar conditions. The study consists of five sections.

In the first chapter, the development of the historical process of space travels is examined, space archirecture is defined and space buildings are classified. In the next phase the Lunar buildings are examined and the reasons of the preference of Moon as extretereestrial habitat are mentioned. At the end of the chapter the aim, the coverage and the method of the study are reported.

In the second chapter, under the title “Design Process of Lunar Buildings” the environmental conditions that effect the design process of Lunar buildings are examined, the influence of Lunar conditions on human are explained and the design criteria that will be formed according to these conditions are determined.

In the third chapter, under the headline “ The Structural Design of Lunar Buildings and Construction Systems”, detailed information about the choice of construction material of Lunar building, construction material properties, construction systems and building components are examined.

In the forth chapter, the examples that are designed to be construct at Lunar conditions are given and the main imformation about building, design criteria, transportation process, modulation and growing schemes are examined.

In the fifth chapter, comparison and conclusion parts are included.

Keywords: Space buildings, space architecture, Lunar buildings, Lunar construction systems

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1. Uzay Yolculuklarının Gelişimi.....	1
1.2. Uzay Mimarlığı.....	2
1.3. Uzay Yapılarının Sınıflandırılması.....	3
1.3.1. Yörüngesel Uzay Yapıları.....	4
1.3.2. Yüzeysel Uzay Yapıları.....	6
1.4. Ay Yapıları.....	7
1.5. Çalışmanın Amacı.....	8
1.6. Çalışmanın Kapsamı.....	8
1.7. Çalışmanın Yöntemi.....	9

BÖLÜM İKİ- AY YAPILARININ TASARIM SÜRECİ

2.1. Aydaki Çevresel Koşullar.....	10
2.1.1. Yerçekimi Azlığı.....	10
2.1.2. Atmosfer Yokluğu.....	10
2.1.3. Işınım.....	11
2.1.4. Meteoritler.....	12
2.1.5. Toz.....	12
2.1.6. Döngüsel Sıcaklık Değişimi.....	13
2.2. Ay Koşullarının Ay Yapısı Kullanıcıları Üzerindeki Etkileri.....	14

2.3. Ay Yapılarının Tasarım Kriterleri.....	15
2.3.1. Yapısal Gereklilikler.....	15
2.3.2. Alan Seçimi.....	16
2.3.3. Form Seçimi.....	16
2.3.3.1. Küre Formu.....	16
2.3.3.2. Silindir Formu.....	18
2.3.4. Nakliye.....	19
2.3.5. Modülasyon ve Büyüeyebilme Olanakları.....	20
2.3.5.1. Çizgisel.....	21
2.3.5.2. Avlu.....	21
2.3.5.3. Radyal.....	22
2.3.5.4. Dallanma	23
2.3.5.5. Küme.....	23

BÖLÜM ÜÇ- AY YAPILARININ STRÜKTÜREL TASARIMI VE YAPIM SİSTEMLERİ

3.1. Malzeme Seçimi.....	26
3.1.1. Dünya Kaynaklı Malzemeler.....	26
3.1.1.1. Çelik.....	26
3.1.1.2. Alüminyum.....	27
3.1.1.3. Titanyum.....	28
3.1.1.4. Membranlar.....	30
3.1.1.5. Kompozitler.....	31
3.1.1.6. Karbon Nanotüpler.....	33
3.1.2. Ay Kaynaklı Malzemeler.....	35
3.1.2.1. Gevşek ve Sıkıştırılmış Regolit.....	35
3.1.2.2. Sinterlenmiş Regolit.....	36
3.1.2.3. Ay Camı ve Cam-Cam Kompozitleri.....	37

3.1.2.4. Dökme Regolit.....	38
3.1.2.5. Ay Betonu.....	39
3.2. Ay Ortamında Kullanılabilecek Yapım Sistemleri.....	40
3.2.1. Konvansiyonel Yapım Sistemleri.....	41
3.2.2. Prefabrik Yapım Sistemleri.....	43
3.2.2.1. Şekil Değiştirebilen Sistemler.....	44
3.2.2.2.Şişme Yapım Sistemleri.....	47
3.2.2.3. Karma Yapım Sistemleri.....	49
3.2.3. Ay Kaynaklarıyla Yapım	52
3.2.3.1. Yığma Yapım	52
3.3.Yapı Elemanları.....	55
3.3.1. Temeller.....	55
3.3.2. Açıklıklar.....	56
3.3.3. Yapı Kabuğu ve Korunum Elemanları.....	59
3.3.3.1. Regolit Katmanları.....	61
3.3.3.2. Lav Tüpleri.....	61

BÖLÜM DÖRT- AY YAPILARI VE TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN ÖRNEKLER ÜZERİNDE İNCELENMESİ

4.1. MoonBase2.....	64
4.2. Senaryo 12.0	68
4.3. NASA Şişme Ay Habitatu	77
4.4. SinterHab	83
4.5. Mobitat	94

BÖLÜM BEŞ- KARŞILAŞTIRMA SONUÇ..... 98

KAYNAKLAR..... 106

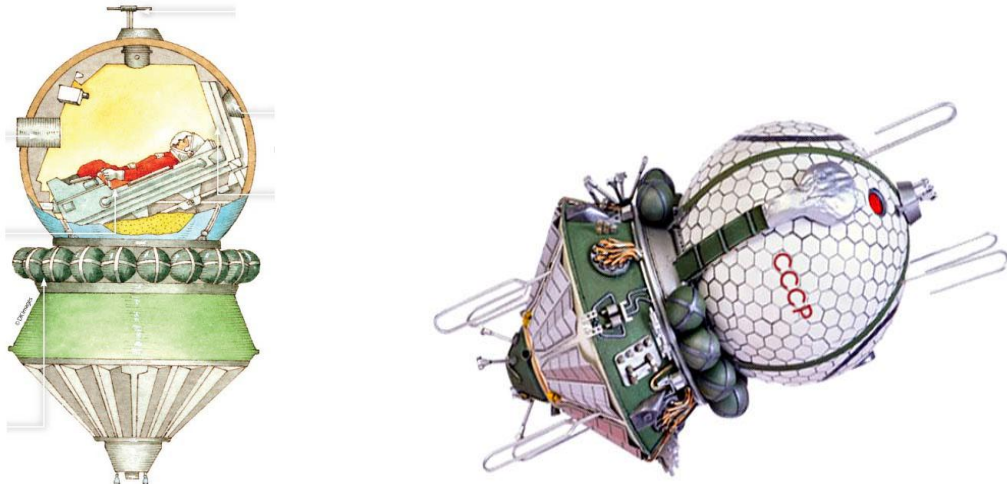
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Uzay Yolculuklarının Gelişimi

İnsanoğlunun uzaya olan ilgisi insanlık tarihinin en eski çağlarına uzanmaktadır. Gıda, giyinme, barınma gibi temel ihtiyaçların yanında, keşfetme ve anlama arzusu da insan doğasının bir parçası olmuş ve bu ortamı araştırma, keşfetme, yaşam belirtileri bulma konusunda birçok girişimlerde bulunulmuştur. O dönemde çıplak gözle yıldızların bilinmeyen yönlerini anlamaya çalışan insanoğlunun bugün uzayda yapı inşa etmesi, o dönem için hayal bile edilemeyecek bir gelişmedir.

İnsanoğlunun o dönem için ütopyk olarak gördüğü uzay yolculuklarının hayata geçirilmesindeki ilk adım, 1961 yılında Rus kozmonot Yuri Gagarin tarafından atılmıştır. Vostok 1 (Şekil 1.1) adlı uzay aracıyla ilk defa atmosfer dışına çıkmış ve uzayda 108 dakika kalınarak dünya yörüngesinde ilk tur atılmıştır. (Spacecraft: Manned: Early Missions, b.t)



Şekil 1.1 Vostok 1 Uzay Aracı (O'Callaghan, 2012), (La Yuriesfera, b.t)

Bu önemli adımın devamı ise 20 Temmuz 1969'da Neil Armstrong'un Apollo 11 ile aya yaptığı yolculuk olmuştur. "Bu benim için küçük ama insanlık için dev bir

adım” diyen Armstrong kendisinin de belirttiği gibi insanlık tarihi adına büyük ve önemli bir serüveni başlatmıştır. Apollo 11, bu büyük adımının devamını 1970’lerde 5 kez daha aya yolculuk yaparak getirmiş ve daha sonraki yıllarda yapılacak uzay yolculuklarının öncüsü olmuştur.

O dönemde Richard N. Richards, Edwin Buzz Aldrin gibi isimler de uzaya gitme deneyimini yaşayan diğer şanslı insanlar olsalar da, bu deneyimden artık sadece eğitilmiş astronotların değil, tasarlanan uzay turizmi projeleriyle diğer sıradan işlerde çalışan insanların da yararlanması planlanmaktadır. Amerika başkanı George Bush’un 2004’te yaptığı, ‘2020 yılından itibaren Ay’a yeniden insanlı uçuşların yapılacağı ve Ay yüzeyinde kalıcı yapılar inşa edileceği’ duyurusu, bu projelerin gerçekleşmesi için çok az bir zaman kaldığının göstergesidir.

1.2 Uzay Mimarlığı

Dünya mimarlığına baktığımızda gelişen teknolojiyle birlikte birçok bilim dalının mimarlıkla etkileşime girmesi sonucunda, insanoğlu yapım sistemlerinin sınırlarını zorlamaya başlamıştır. Gezegenimizde insan nüfusunun hızlı artışı, küresel ısınma, düzensiz şehirleşme, yoğun trafik, kuraklık ve doğal enerji kaynaklarının azalması gibi problemler alternatif barınma ihtiyacını getirmiş, böylece önceleri imkansız olarak görülen düşey şehirler, mega strüktürler, su altı ve üzeri yapılar ve hatta başka gezegenlerde yaşam alanları oluşturma gibi ütöpik düşünceler uygulamaya dönüşmüştür. Buna göre uzay, kutuplar ve sualtı gibi olağandışı koşullar alternatif alanlar olarak görülmüş ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu koşullar, mimar ve mühendisler için bir tasarım ögesi haline gelmiştir.

Uzay mimarlığı, uzay ortamında insanların yaşayabileceği, barınabileceği ve çalışabileceği yapılar tasarlayan, inşa eden ve psikoloji, sosyoloji ve fizyoloji disiplinlerini de içeren bir bilim dalıdır. Günümüzde bir çok uzay mimarı, NASA gibi dünya uzay ajanslarında çalışmakta ve çoğu konsept aşamasında olan yörüngesel uzay istasyonları, Ay ve Mars keşif gemileri ve yüzeysel üsler olmak üzere bir çok uzay yapısı projesi için çalışmalar yürütmektedir. Bunun dışında uzay mimarlığı

alanında çeşitli enstitülerde eğitim verilmektedir. Örneğin, Houston Üniversitesi'yle akademik çalışmalar yürüten ve çeşitli uzay şirketleriyle işbirliğinde olan Sasakawa International Center for Space Architecture (SICSA), lisansüstü düzeyinde eğitim veren programlardan biridir. (Space Architecture, b.t)

Uzay mimarisi için başlangıç noktası, insanların yaşadığı yerleşkelerde olağandışı koşulların araştırılması ve bu ortamlarla uzay ortamı arasında benzerliklerin tespit edilmesinden geçmektedir. Okyanusların derinlikleri, çöller, yer altı sığınakları, kutuplar ve radyoaktif maddelerin yoğun bulunduğu bölgeler, uzay ortamının anlaşılmasına referans teşkil eden olağandışı ortamlardır. Mars yüzeyine benzerliği sebebiyle Utah Çölü'nde inşa edilen Mars Araştırma İstasyonu ve Ay yüzeyine benzerliği sebebiyle Antartika'da 2007 yılında inşa edilen Concordia İstasyonu, olağandışı koşullarıyla uzay deneyimini yaşatan önemli projelerdir. (Şekil 1.2)

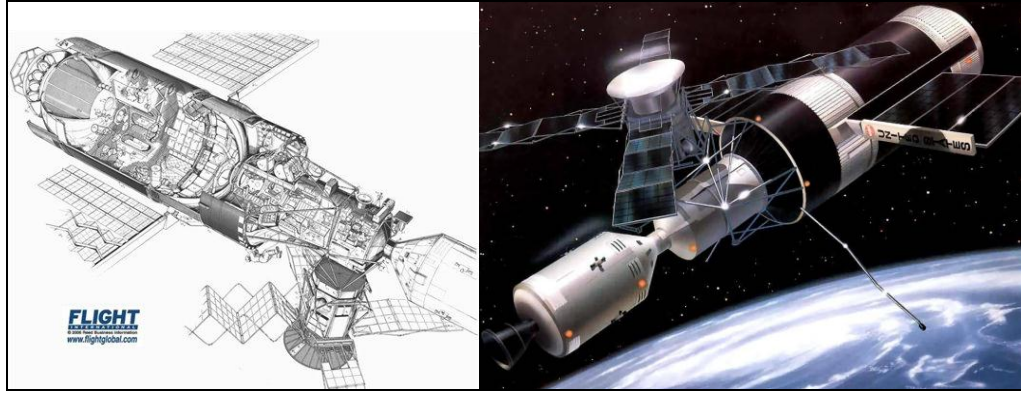


Şekil 1.2 Mars Araştırma İstasyonu ve Concordia İstasyonu (Concordia Station, 2012)

1.3 Uzay Yapılarının Sınıflandırılması

Roketler, yapay uydular, üsler, gezegenlere gönderilen uzay sondaları ve uzay istasyonları ile yapılan yolculuklar insanlı ve insansız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Her biri biçim, büyüklük, amaç bakımından farklılıklara sahip olan bu araçlardan insanlı yapılan uçuşlarda, yaşam desteği ve mimari açıdan iç mekan organizasyonu da gerekmektedir. Bu yüzden günümüze kadar yapılan bütün insanlı uzay araçları, içinde yaşamlarını sürdüren mürettebatın ihtiyaçları ve yaşam

standartları doğrultusunda, kendi kendine yetebilen ve konut özelliklerini taşıyan yapılar olarak tasarlanmışlardır. (Kronenburg, 1995).



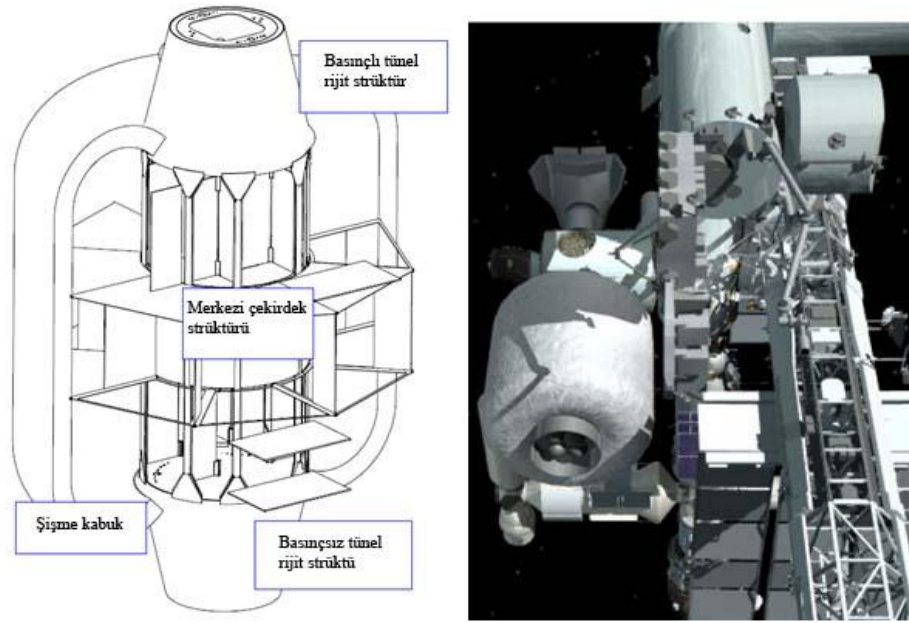
Şekil 1.3 Skylab (Skylab, 2011)

Buna verilebilecek en erken örneklerden biri 14 Mayıs 1973'te kurulan Amerika'nın ilk uzay istasyonu Skylab'dır. (Şekil 1.3) Dünya dışı ortamda yapılacak olan bilimsel araştırmalar için tasarlanmış olan 368 metreküp hacmindeki bu laboratuvar, içinde yaşayan mürettebatın yaşamsal faaliyetlerini devam ettireceği bütün mekanları barındırmaktadır.

Uzay yapıları, yapılması planlanan çalışmalar ve araştırmaların türüne göre yörüngesel ve yüzeysel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

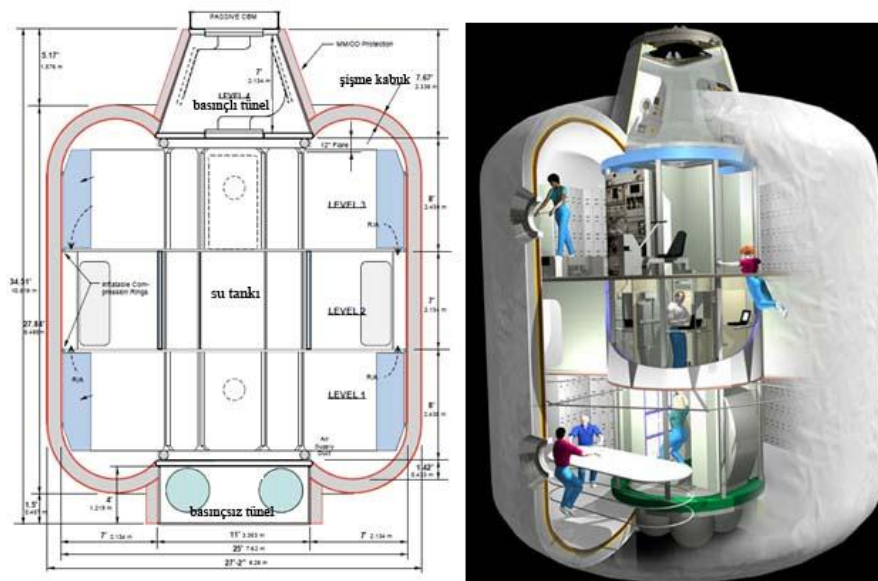
1.3.1 Yörüngesel Uzay Yapıları

Yörüngesel uzay yapıları, Dünya üzerindeki değişiklikleri gözlemlemek, uluslararası iletişimi kolaylaştırmak, uzay çalışmalarına yardımcı olmak ve uzay ortamında yaşam üzerine bilimsel deneyler yapmak amacıyla gök cisimlerinin yörüngesine gönderilen insanlı ve insansız araçlardır.



Şekil 1.4 TransHab iç görünüşü (Kennedy, 2002)

Bunlardan uzun bir süre yörüngede kalabilen insanlı araçlar olan uzay istasyonları, uzay boşluğunda insanların konaklaması ve çalışması amacıyla hazırlanan bir platform konumundadır. Bunların diğer uzay araçlarından farkı, hareket için büyük roketlere ihtiyaç duymamasıdır. 1997 yılında Transhab adı verilen 3 katlı şişme uzay modülü, araştırma yapmak amaçlı yörüngeye gönderilen uzay istasyonlarına verilebilecek örneklerden biridir. (Şekil 1.4)



Şekil 1.5 TransHab kesit (Kennedy, 2002)

7 metre yüksekliğindeki bu silindirik uzay istasyonunun iç hacmi 3 katmandan oluşmaktadır. Mutfak ve yemek odası 1. katta yer alırken, kişisel depo alanı, eğlence ve kişisel çalışmalar için bilgisayar merkezi içeren 6 kişilik uyku kompartımanı ise ikinci katta bulunmaktadır. 3. katta ise mürettebat için egzersiz alanı, tıbbi cihazlar ve banyolar bulunmaktadır. (Şekil 1.5)

1.3.2 Yüzeysel Uzay Yapıları

Yüzeysel uzay yapıları iniş yapılan gök cisimlerinin yüzeyinde araştırma ve keşiflerde bulunmak üzere inşa edilen uzay yapılarıdır.

Ay yüzeyine indirilen Apollo 11 modülü, yüzey araştırmaları yapan en eski örneklerden biridir. İlk insanlı inişin gerçekleştirildiği modül olan Apollo 11, kendi kendine yetebilen özelliğe ve kısa misyon yaşamaına sahip olan yüzeysel bir Ay yapısıdır. (Şekil 1.6)



Şekil 1.6 Apollo Ay modülü (Sorrel, 2009)

1.4 Ay Yapıları

Günümüzde her ne kadar uzay endüstrisi, uzay araştırmaları ve keşifleriyle sınırlı kalsa da, gelecekte, kapılarını turizm sektörüne de açmaya hazırlanmaktadır. Dünyaya yakınlığı sebebiyle Ay bu süreçte önemli bir rol oynayacaktır. şu an çoğu fikir aşamasında olan Ay kolonileri, Ay otelleri ve Ay habitatları gibi bir çok proje gelecekte insanların kullanımına sunulmayı beklemektedir.

Ay ortamının dünya dışı alternatif yaşam alanı olarak seçilmesinin altında birçok sebep bulunmaktadır. Bunlar genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

a) Ulaşım Kolaylığı: Dünya'nın merkezinden yaklaşık 384.403 km uzaklıkta bulunan Ay, diğer gök cisimlerine göre daha ulaşılabilir konumdadır. Önceleri 1 yıldan fazla bir sürede gerçekleştirilen bu yolculuklar, günümüz teknolojisiyle birlikte 8 saate kadar indirilmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde ise bu sürenin daha da kısalması beklenmektedir.

b) Bilimsel Çalışmalar ve Merak: Apollo döneminde Ay ile ilgili birçok sorunun cevabına ulaşılmış olsa da hala cevaplanması gereken sorular mevcuttur. Ay yüzeyinde incelenmeyi bekleyen birçok madde bulunmaktadır. Ancak atmosferin olmaması günümüz teknolojisiyle, ay yüzeyinde çalışmayı zorlaştırmaktadır. Tasarlanacak bir ay üssü projesi, yalnızca ay yüzeyini incelemek isteyen bilimcilerin değil; biyoloji, fizik, paleontoloji, coğrafya vs gibi alanlarda çalışanların da sabırsızlıkla beklediği bir çalışma olacaktır. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006)

c) Enerji Üretimi: Ay yüzeyinin bazı bölgeleri bir yılda 300 gün kadar güneş ışığından faydalanmaktadır. Bu durum güneş panelleri kullanarak elektrik enerjisi elde etme açısından çok avantajlı bir durumdur. Ayrıca ay yüzeyinin aydınlık ve karanlık bölgelerindeki sıcaklık farklılığı da termal sistemler için kullanılabilir durumlarından biridir. Burada üretilen enerji dünyamıza veya uydulara ışınlanarak iletilir. (Gionet, 2011)

d) Kaynaklar: Ay hammadde açısından oldukça zengindir. Ay yüzeyinde bulunan regolit adı verilen taneli ve gevşek tabaka içerisinde demir, alüminyum, silikon, titanyum, oksijen, hidrojen, karbon, helyum ve azot bulunmaktadır. Tüm bu maddeleri ayırtmak kendi kendine yetebilen bir ay kolonisine ve hatta bu kaynakları dünyaya ihraç etmeye bile izin verecektir. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006)

1.5 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, günümüzde birçoğu hala fikir aşamasında olan ve gelecekte yapılması planlanan Ay yapıları tasarımlarını ve senaryolarını bir araya getirerek yapım süreçlerini ve yapım sistemlerini incelemek ve mimar ve mühendislere yardımcı olacak kriterleri göz önüne koyarak yapılacak tasarımlara bir alt yapı hazırlamaktır. Tez çalışmasında genel olarak incelenen kriterler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Projenin uygulanacağı arazi seçimi
- Habitat geometrisinin belirlenmesi
- Yapım sisteminin belirlenmesi
- Malzeme seçimi
- Yalıtım tabakasının seçimi
- Nakliye aşaması
- Modül türü ve büyüme şemasının belirlenmesi

1.6 Çalışmanın Kapsamı

Çalışma Ay üzerinde inşa edilen yüzeysel uzay yapılarını (Ay yapılarını) kapsar. Çalışmada öncelikli olarak, genel hatlarıyla uzay yolculuklarının tarihsel süreç içindeki gelişimi incelenerek, uzay mimarlığı tanımı ve uzay yapıları sınıflandırılması yapılacaktır. Daha sonra ise teze esas teşkil eden Ay yapılarının tanımı yapılarak diğer gezegenlere oranla daha çok Ay'a yolculuk yapılmasının

nedenlerine değinilecektir. İkinci bölümde Ay yapısı tasarımını şekillendirecek olan çevresel faktörler, Ay koşullarının Ay yapısı kullanıcıları üzerindeki etkileri ve Ay yapısı tasarım kriterleri incelenecek, üçüncü bölümde ise Ay ortamı çevresel koşulları, yapım süreçleri ve yapım sistemleri ele alınacaktır. Dördüncü bölümde ise çoğu fikir aşamasında olan Ay yapıları detaylı olarak incelenecektir.

1.7 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın yönteminde, öncelikli olarak uzay yapıları ve ay yapılarıyla ilgili kaynakların, bilgilerin taranması ve incelenmesi yoluna gidilmiş ve bunun sonucunda tez bölümleri belirlenmiştir. Daha sonra tezin esas ögesi olan Ay yapılarının yapım sistemleri detaylı olarak incelenmiş ve örnek incelenmesi ve karşılaştırılması yöntemi kullanılmıştır. Teorik bilgilerin elde edilmesinde yerli ve çoğunlukla da yabancı kaynaklara ait literatür ve internet taramasına dayalı bir yöntem izlenmiştir.

BÖLÜM İKİ

AY YAPILARININ TASARIM SÜRECİ

2.1 Aydaki Çevresel Koşullar

Ay koşulları, gezegenimizdeki herhangi bir yere göre karşılaştırıldığında çok daha olağandışı ve zordur. 1960 yılından beri uzay ve Ay yolculuklarında birçok zorluklarla karşılaşan astronotların büyük çoğunluğu hayatta kalmayı başarsa da, Ay ortamının koşullarından önemli derecede etkilenmişlerdir. Bu bölümde ay yapılarının tasarımına etki eden çevresel koşullar ele alınacaktır. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür: (Seguin, 2005) (Tablo 2.1)

2.1.1 Yerçekimi Azlığı

Ay'da yerçekimi dünyadaki 1/6'sı kadardır. Bunun anlamı ayda yapılan bir yapı dünyaya göre 6 kat daha az yük etkisine maruz kalacak veya ölü yükler dünyadakiye göre 5/6 oranında azalma gösterecektir. Bu durum yapılacak bir projede daha narin kesitlerde malzeme kullanılmasına olanak sağlamakta ve maliyet açısından avantajlı bir durum ortaya çıkarmaktadır. Buna göre kullanılacak malzemelerin en kesitlerinde bu kriteri göz önünde bulundurmak, Ay'da yapılacak yapı için geliştirilen fikirlerin kullanılabilirliğini artıracaktır.

Ancak bunun yanında Ay ortamında insan bedeninin alışkın olduğu yerçekimi etkisinin olmaması, günlük hayatta zorluklara yol açacaktır. Bu durum Ay habitatlarında iç mekânda çeşitli düzenlemelere gidilmesi ve kullanılan eşyaların sabitlenmesi gerekliliğini doğurmuştur. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

2.1.2 Atmosfer Yokluğu

Ayın kütlelerinin çok küçük olması çekim gücünü de azaltmakta ve bu durum canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gereken gazları tutabilme gücünü ortadan

kaldırmaktadır. Bu nedenle Ay'da atmosfer yoktur, dolayısıyla Güneş ışınlarının tutulabileceği bir ortam da bulunmamaktadır.

Atmosfer yokluğunun ortaya çıkardığı bir diğer etken ise vakum etkisidir. Normal şartlar altında, deniz seviyesinde vücudumuzun her santimetrekaresi 1 kilogram hava basıncına maruz kalmaktadır. Basıncın 1 santimetrekareye 1 kilogram olan atmosfer basıncının altına düşmesine vakum adı verilmektedir. (Vakum Nedir, b.t). Bu durum ay çevresinde güçlü bir şekilde hissedilmektedir.

Atmosfer yokluğunun yarattığı en büyük avantaj atmosferden doğan korozyon probleminin Ay ortamında bulunmamasıdır. Bu da Ay ortamında yapılacak olan bir projenin inşa sürecinde kullanılacak malzemeler açısından büyük önem arz etmektedir.

Atmosfer yokluğu ve bunun sonucunda ortaya çıkan basınçsızlık, gerekli gazların bulunmaması ve vakum etkisi koşullar göz önüne alındığında, tasarlanacak olan yapıda şu kriterler göz önüne alınmalıdır:

- Ay yapısında solunum için gereken gazlar ve bu gazları sıkı tutabilecek sızdırmaz bir ortam yaratılması gerekmektedir.
- Ay yapısında iç hava basıncı dünyadaki atmosferik basınca eşit olmalıdır. (Benaroya ve diğerleri, 2002). NASA tarafından hazırlanan projelerde, mürettebata yaşanabilir bir ortam yaratmak için öngörülen iç basınç 34,5 kPa-101 kPa arasında değişkenlik göstermektedir.
- Vakum etkisine karşı hidrolik sistemler, gaz açığa çıkaran malzemeler ve strüktürler gibi bazı ekipmanlar kullanılmamalıdır.

2.1.3 Işınım

Işınım, Ay yüzeyinde elektromanyetik ve iyonize ışınım olmak üzere iki farklı şekilde açığa çıkmaktadır. Yapılan herhangi bir ay habitatu uzayda üç farklı iyonize

ışınım türüne maruz kalacaktır. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006). Bu iyonize ışınım türleri:

- Güneş rüzgârı
- Kozmik ışınlar
- Galaktik kozmik ışınımıdır.

Buna göre tasarlanacak olan bir Ay yapısında ışınım etkilerine karşı gerekli kalınlıkta ve sayıda koruyucu katmanların yapılması veya herhangi bir katmana gerek duymadan yapının lav tüpleri içerisine yerleştirilerek, bu tür etkilere karşı korunumu sağlanması gerekmektedir.

2.1.4 Meteoritler

Meteoritler uzayda çok hızlı hareket eden katı kütlelerdir. Bu kütlelere karşı korunmak için ay habitatının tepesine sıkıştırılmış regolitten oluşan bir katman yerleştirilmelidir. Yapılan bu katman kinetik enerjiyi emme özelliğine sahip olduğu için mikro-meteorit darbelerine karşı yapıyı koruyacaktır. Bunun için gereken minimum katman kalınlığı yapılan ölçümlere göre en az iki buçuk metre olmalıdır. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006)

Meteoritlerin en büyük avantajı, çarptıkları yüzeylerde regolit tabakasını oluşturması ve Ay yerel malzemelerinin kullanılması için verimli kaynak üretmesidir.

2.1.5 Toz

Ay yüzeyi “Ay tozu” olarak anılan, kolaylıkla uçabilen ince toz partikülleriyle kaplıdır. Her yere yapışabilen bu parçacıklar oldukça aşındırıcı etkiye sahiptir ve yapı malzemelerinin kullanılmasında, bakımı ve işletimi esnasında ciddi sorunlara yol açmaktadır. (Benaroya, ve diğer, 2002)

Yapılacak olan Ay yapılarında bu durum göz önüne alınarak koruyucu katmanlar kullanılmalı veya direnci yüksek malzemelerin kullanılması tercih edilmelidir.

2.1.6 Döngüsel Sıcaklık Değişimi

Atmosfer yokluğunun sonucu olarak Ay yüzeyinin yaklaşık sıcaklığı; iki haftalık döngüler halinde gündüz, +100° C, gece ise -100° C arasında değişkenlik göstermektedir. Uzayda ışınları yayacak herhangi bir şey olmadığı için oldukça dengesiz olan bu sıcaklıklardan korunma durumu, tasarım aşamasında dikkate alınması gereken kriterlerden biridir. (Benaroya ve diğer, 2002)

Sıcaklık değişimlerine karşı gerekli yalıtım tabakaları yapıya uygulanmalıdır.

Tablo 2.1 Ay Koşullarının Mimari Tasarıma Etkileri

	Avantajlar	Dezavantajlar	Mimari Tasarıma Etkileri
Atmosfer Yokluğu	-Korozyon probleminin olmaması	-Vakum etkisine sebep olması, -Zararlı ışınlara ve meteroitlere doğrudan maruz kalınması,	-İç basıncın sağlanması ve korunması -Gaz açığa çıkaran malzemelerin kullanılmaması
Yerçekimi azlığı	-Strüktürün 6 kat daha az yük etkisine maruz kalması	-Günlük hayatta zorluklar yaşanması	-Daha narin kesitli malzemeler, -İç mekânda düzenlemeler, -Eşyaların sabitlenmesi
Işınım		- İnsan bedeninde ciddi sorunlara yol açması	-Yalıtım katmanlarının yapılması

Tablo 2.1 devamı

Meteroitler	-Regolit katmanını oluşturması	-Yapısal hasarlara sebep olması	-Koruyucu katman yapılması
Toz		Yapı malzemesinde aşındırıcı etkiye sahip olması	-Aşınmaya karşı dirençli malzemelerin tercih edilmesi
Sıcaklık Değişimi	-Sıcaklık farklılığının enerji üretiminde kullanılması	-Gece-gündüz sıcaklık farklarının büyük olması,	-Yalıtım katmanlarının yapılması

2.2 Ay Koşullarının Ay Yapısı Kullanıcıları Üzerindeki Etkileri

Olağandışı koşullardan doğan problemler iki durumda yaşanmaktadır. Birincisi kalıcı olabilen duyma, tatma, koku ve görme kaybı, kemik yoğunluğu, kas kütlesi kaybı, ağırsızlık, aşırı ışınım, ani basınç düşüşü gibi psiko- fizyolojik etkiler; ikincisi ise Ay yapısı tasarımından kaynaklanan psiko-çevresel strestir. Ancak tüm bu etkiler önemli bir sorun olarak görülse de; su altı habitatları, uzay koşulları ve kutup ortamında çalışan macera sever gönüllüler için, hayatlarını monotonluktan kurtaran vazgeçilmez bir unsur olmuştur.

Uzay endüstrisi günümüzde Ay yolcularının fiziksel ve psikolojik olarak dayanıklı kalmasının önemini anlamış ve Ay yapılarındaki yaşamın gerekli yaşam standartlarına uyması ve konforu sağlaması için birçok çalışmalarda bulunmuştur.

Ay yapılarındaki mekanlar, alışılmış yapı mekanlarından çok farklıdır. Yapıların büyük çoğunluğu çok küçük, hapis etkisi yaratan, sert, esnek olmayan iç mekâna sahiptirler. İç ortamdaki sabit sıcaklık, sabit iklim, gün ışığı yoksunluğu ve bunların yanında kişiye özel alanların azlığı ve hatta yokluğu gibi birçok sorun bir süre sonra astronotlarda çeşitli psikolojik sorunlara yol açmaktadır.

Önceden de belirtildiği gibi, uzay mürettebatı için daha insani, konforlu ve yaşanabilir ortamlar gerekmektedir. Ay yapılarını daha insani bir ortama dönüştürmek yeryüzündeki insan bedeninin alışkın olduğu doğal koşullarla, dünya dışındaki koşullar arasında denge oluşturmakla mümkündür. Başka bir deyişle Ay yolcusu dünya dışı deneyimini yaşarken aynı zamanda yeryüzündeki alışkın olduğu optimum koşulları sürdürebilmelidir. Bu da ortamda ışık ve gölge yaratma, mürettebat için kişisel mekanlar oluşturma ve koku-tat duyularını dikkate alma gibi duyuşal varyasyonla mümkündür.

2.3 Ay Yapılarının Tasarım Kriterleri

2.3.1 Yapısal Gereklilikler

Ay ortamında yapı inşa etmenin, dünya ortamındakine göre birçok farklılıkları ve yapılacak olan Ay yapısının tasarımında göz önüne alınması gereken çeşitli çevresel etkenler bulunmaktadır. (Bölüm 2.1). Bu çevresel koşullar çerçevesinde tasarlanacak projenin yapısal gereklilikleri şu şekildedir.

Gerek yörüngesel gerekse yüzeysel uzay yapıları için gezegenler için uzak mesafelere nakliyesi yapılabilir özellikte, montajı - demontajı yapılabilen, yörünge dışına taşıma durumuna karşı hafif yapıya sahip malzemelerden oluşan ve kabul edilebilir bir güvenlik çerçevesinde bütün ölü ve canlı yükleri karşılayabilecek kapasitede olan yapı sistemine sahip olmalıdır.

Yerel üretimi ve yapı malzemesi ihtiyacını en aza indirmek için inşaat bileşenleri yapısal olarak pratik olmalı, strüktürel bileşen bağlantıları kolay olmalı ve bir anlamda modüler yapılmalıdır.

Işıma ve meteroit etkilerine karşı yapının korunumunun sağlanması için yapı kabuğu iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Yapı korunumu ile ilgili detaylı bilgiye Bölüm 3'de yer verilmektedir.

Ay ortamındaki olağandışı koşulların mürettebat üzerinde yaratacağı psikolojik ve fiziksel sorunlara karşı iç mekanda düzenlemelere gidilmesi gerekmektedir. Buna göre gece- gündüz döngüsünü yaşatarak sirkadiyel ritmi düzende tutmak için filtre edilmiş güneş ışığı sağlamak, klostrifobik sorunlarını ortadan kaldırmak için yapay aydınlatma yapmak ve yapıda dış ortama açıklıklar tasarlamak bu tür problemleri en aza indirgeyecektir.

2.3.2 Alan Seçimi

Ay ortamında uygulanacak olan proje konumunun seçilmesinde; dünyayla iletişimin kolay sağlandığı, ortamdaki yerel kaynakların bol ve projeye uygun olduğu, güneş ışığını maksimum verimlilikte alan ve ay tozlarının minimum barındıran bir alan seçilmesi, projenin verimliliği ve yapılabilirliği açısından önemli ölçütlerdir. Bu özellikleri maksimum oranda taşıyan konum genel olarak Ay Kutup bölgeleridir.

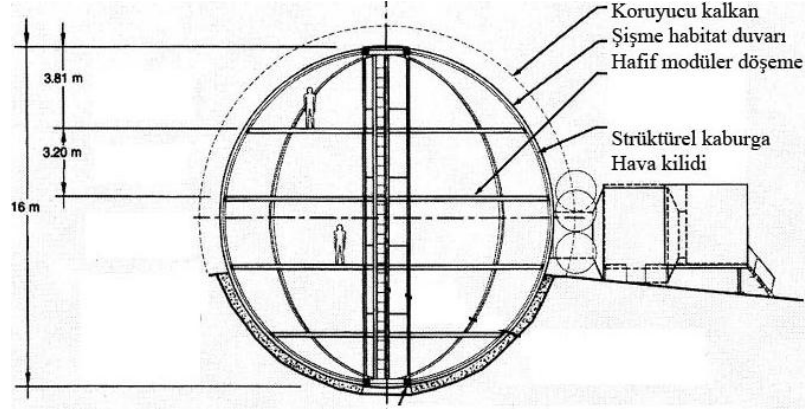
2.3.3 Form Seçimi

Ay ortamında inşa edilecek bir yapının dünya ortamındakine kıyasla kendi karakteri, sınırları ve farklılıkları olacaktır. Bu perspektiften bakıldığında form ve geometri projenin oluşma aşamasında yapının karakterini belirleyen önemli unsurlardan biridir. Genel olarak Ay yapılarında eğrisel formların önerildiği görülmektedir. Bu geometrilerin seçilmesinde genel olarak ay çevresel koşullarına uyum önemli bir unsur oluştururken, iç mekan gereksinimlerinin ve kullanılan malzeme özelliklerinin de katkısı büyüktür.

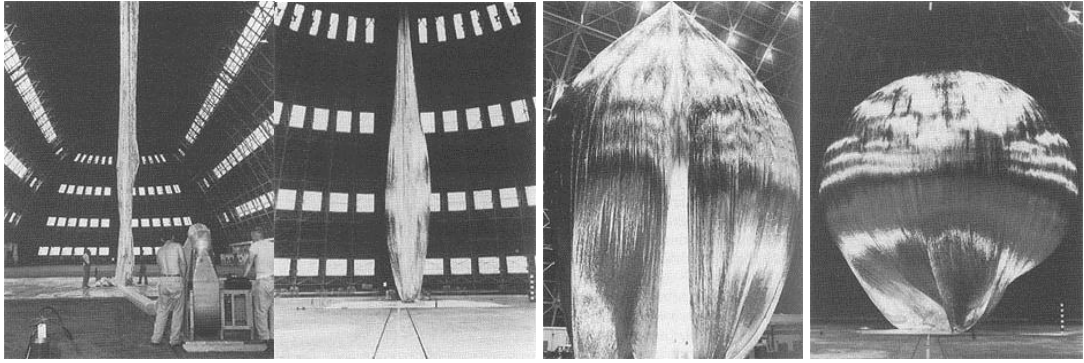
2.3.3.1 Küre Formu

Küre formu en az alan ve kütle gerektiren, hacimsel olarak en verimli formlardan biridir. Buna rağmen konut, ofis gibi küçük mekanlarda kullanım zorlukları ve basınçsız bir kürede yerçekiminin yaratacağı problemler sebebiyle yeryüzünde fazla

tercih edilmemektedir. Ancak uzayda yer çekimi azlığı ve yüksek iç basınç gibi etkenler küreyi en ideal form haline getirmektedir . (Vogler, 2002), (Şekil 2.1)

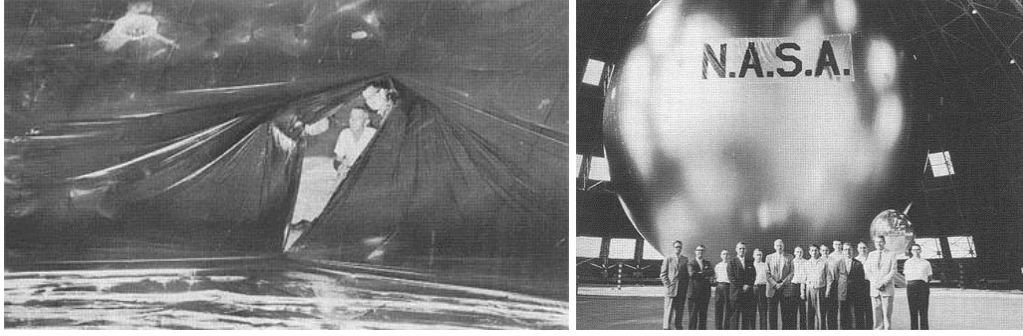


Şekil 2.1 Küresel bir şişme ay habitati kesiti (Ganapathi, Ferrall ve Seshan, 1993).



Şekil 2.2 Echo I Şişme Uzay Aracı (The Odyssey of Project Echo, b.t)

1959 yılında Minnesota'da General Mills tarafından inşa edilen ve NASA tarafından uzaya gönderilen 30.5 m çapındaki şişme uydu Echo I, (Şekil 2.2, 2.3) küre formundaki şişme uzay araçlarına bir örnektir. Yeryüzünde küreyi şişirmek için 18.000 kg hava gerekirken yörüngede sadece birkaç kg gaz küreyi şişirmek için yeterli olmuştur. Echo I ve II 40 yıl öncesinin teknolojisiyle oldukça hafif ve geniş hacimli yapılardan biri olmuştur.(http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Echo)



Şekil 2.3 Echo I Şişme Uzak Aracı (The Odyssey of Project Echo, b.t)

Uzak Mekiği Bireysel Kurtarma Balonu (PRE) (Şekil 2.4) küre formunun avantajlarının kullanılarak yapıldığı tüm zamanların en minimal aracı olmuştur. 86 cm çapındaki bu araç, içte üretilen, ortada kevlar ve dışta termal bir kaplama malzemesi olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. (Vogler, 2002)

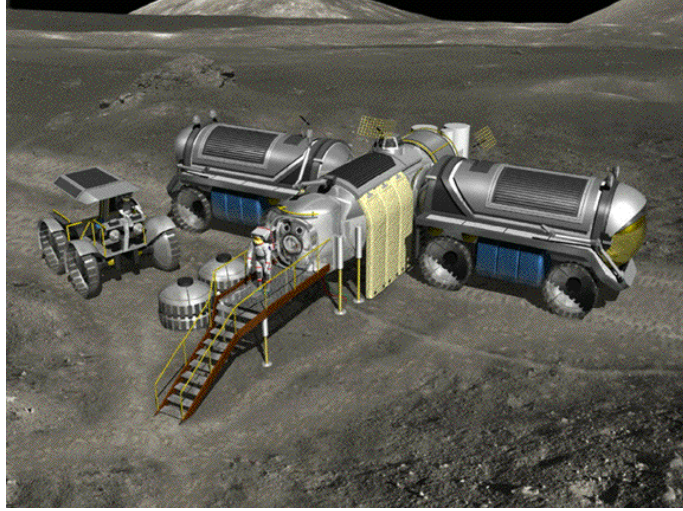


Şekil 2.4 Uzak Mekiği Bireysel Kurtarma Balonu (Vogler, 2002)

2.3.3.2 Silindir Formu

Silindir mimari açıdan bakıldığında çift eğrilikli küreye göre, tek eğrilikli bir form olması sebebiyle daha uygundur. Küresel formdaki kemerli duvarların aksine silindirik bir habitatta düşey bir oryantasyonla dikey duvarlar yaratmak mümkündür. (Şekil 2.5). Ancak aynı ölçülere sahip küre ve silindir ele alındığında, silindirin kütle

ve membran stresi daha fazla olduğu görülmektedir. Bunu azaltmak için silindiri daha ince yapmak ve yan tarafına yatırmak gerekmektedir, ancak bu durum mimari açıdan habitatın kullanılabilirliğini azaltmaktadır. (Roberts, 1993)



Şekil 2.5 Silindirik Ay modülü (Robbins, 2008)

2.3.4 Nakliye

Ay ortamında inşası düşünülen bir yapının dünya ortamındakine kıyasla farklılıkları ve zorlukları bulunmaktadır. Yapılabilecek en küçük bir hata yüksek maliyetli masraflara yol açabilmektedir. Bu yüzden dünyada üretimi gerçekleştirilen malzemelerin hatasız olması, nakliye adedinin minimumda tutulması ve depolama aşamasından tasarruf edecek şekilde özel üretime gidilmesi bu tür projelerin en önemli gerekliliklerindedir.

Buna göre, Ay yapıları fiziksel boyutlarının, fırlatma aracının gövde boyutlarından daha büyük olduğu durumlarda strüktürlerde yeniden yapılandırma yoluna gitmek gerekmektedir. Bu tür durumlarda nakliye aşamasındaki problemleri en aza indirmenin yanında, uzay ortamı zorlu koşullarında inşa sürecini en kolay ve en hızlı şekilde aşabilme gereksinimi de, şekil değiştirebilen strüktürleri zorunlu kılmaktadır.

“Şekil değiştirebilen sistemler, taşıma veya depolama aşamasında hacimden tasarruf etmek amacıyla şekil ve boyut değiştirebilen, kullanım aşamasında tekrar genişletilebilen hareketli strüktürlerdir.” (Merchan, 1987).

Şekil değiştirebilen strüktürler mekanizmaları açısından çok çeşitli olmalarına karşın, Carlos Henrike Hernandez Merchan genel olarak bu sistemleri;

- Destek Strüktürleri: Makas sistemler, kayan sistemler ve germe sistemler

- Yüzey Strüktürleri: Katlanabilir sistemler, rulo yapılabilir sistemler, şişirilebilir sistemler ve teleskopik sistemler olmak üzere iki ana sınıfta incelemektedir. Ancak uzay yapıları nakliye aşamasında genel olarak yüzey strüktürleri tercih edilmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı incelemeye Bölüm 3’de yer verilecektir.

2.3.5 Modülasyon ve Büyüyebilme Olanakları

Ay yapısı inşa aşaması için kuşkusuz birçok kural ve yöntem bulunmaktadır. Bunlar içinde en önemlilerinden biri de üretimi gerçekleştirilen elemanların standartlaşması ve tiplendirilmesi olarak görülmektedir. Bunun için en önemli koşul üretimi planlanan yapı elemanları arasında boyutsal koordinasyon sağlanması ve modüler düzenleme yoluna gidilmesidir. Bu sayede modüler tasarımın uygulanmasıyla kontrollü, hızlı, kaliteli ve ekonomik yapılanma sağlanacaktır.

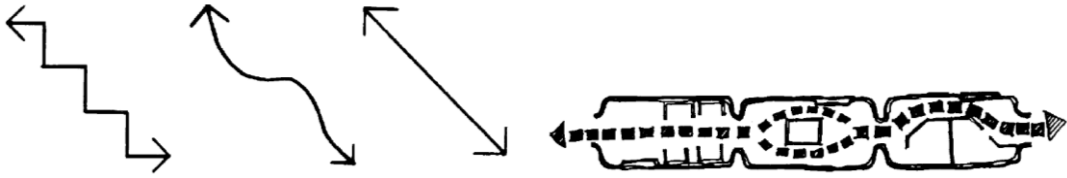
Ay yapısı tasarımı aşamasında araştırma, yerleştirme, üretim, depolama gibi farklı amaçlara hizmet edecek modüllerin üretimi ve modüller arasında yapılan düzenlemeler, habitatın kullanım alanlarıyla ilgili senaryoların oluşmasında ve gereksinimler doğrultusunda modüllerin genişletilmesinde makul bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Oluşturulacak olan modüllerin büyüklükleri nakliye sistemi, malzeme seçimi, ısıyı koruması, ısı kontrol sistemi ve kapalı ekolojik yaşam destek mekanizmasına bağlı olarak belirlenmektedir. Kullanım amacına bağlı olarak genişletebilme amacı

güdülen, yatay ve düşey olarak yapılandırılan bu modüller Reynolds'un yaptığı çalışmalar neticesinde çizgisel, avlu, radyal, dallanma ve küme olmak üzere 5 grupta incelenmektedir: (Reynolds 1988)

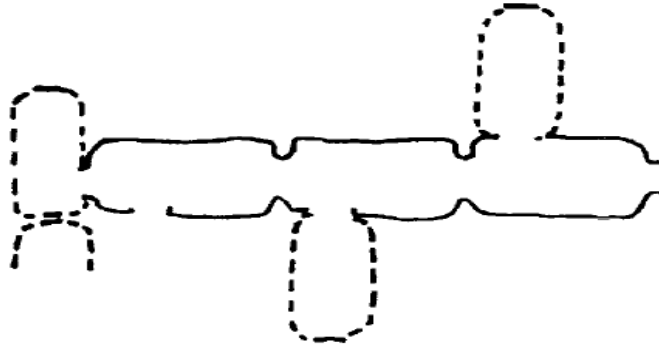
2.3.5.1 Çizgisel

Diğer şemalar içinde en basiti olan bu yapılandırma, ana dolaşım aksına sahip modüllerin tekrarından oluşmaktadır. Basamaklı, engebeli veya düz olabilen bu modüllerin bir ucundan diğer ucuna olan iç mesafeler maksimize edilmektedir (Şekil 2.6, 2.7)



Şekil 2.6 Çizgisel şema (Reynolds 1988)

En belirgin mekansal özellikleri öncelikli olarak ortak kullanılan gürültülü kamu tipi mekanlar olan bu tür modüllerin en büyük problemi güvenlik unsurudur.

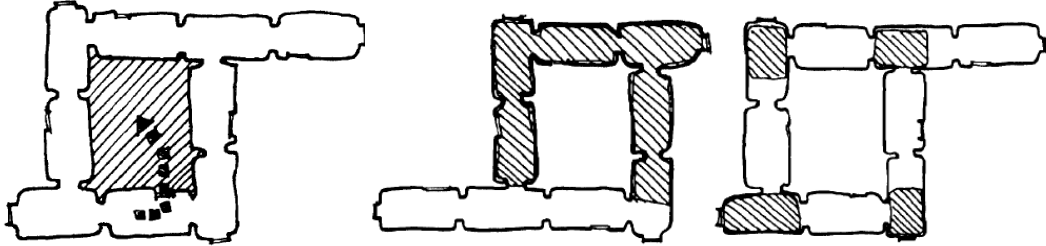


Şekil 2.7 Çizgisel şema (Reynolds 1988)

2.3.5.2 Avlu

Çizgisel şema kendi içinde kapandığında temel özellikleri değişmekte, kapsama alanı genişlemekte ve tanımlanabilir bir mekan haline gelen avlu şeması oluşmaktadır. (Şekil 2.8)

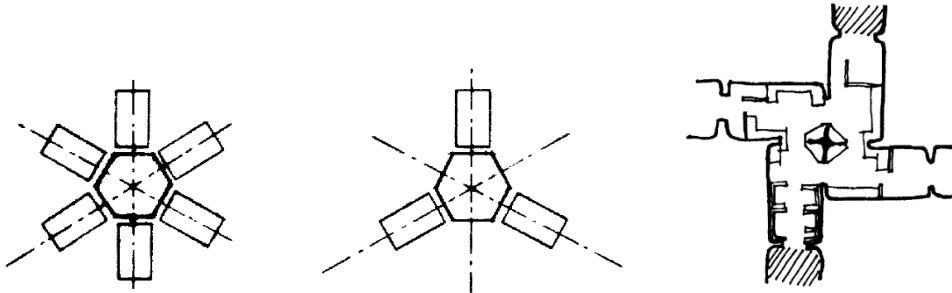
Hala tek bir ana dolaşım aksına sahip olsa da, kapalı bir döngü ağına sahip olan bu yapılandırmada, diğer yapılandırmalardan ayırt edilebilen dahili çift çıkış sistemi bulunmaktadır.



Şekil 2.8 Avlu şeması (Reynolds 1988)

Ayrıca iki yönlü köşe veya düğüm noktalarını içere fonksiyonel organizasyonlar da bu yapılandırma için mümkün olan durumlardır. Ancak bütün bunlara ek en önemli nitelik ise bakım ve onarım için bütün modüle ulaşım imkanı sağlayan ve gelecekteki olası fonksiyonlara göre değiştirilebilme olanağı sunan avlunun kendisidir.

2.3.5.3 Radyal



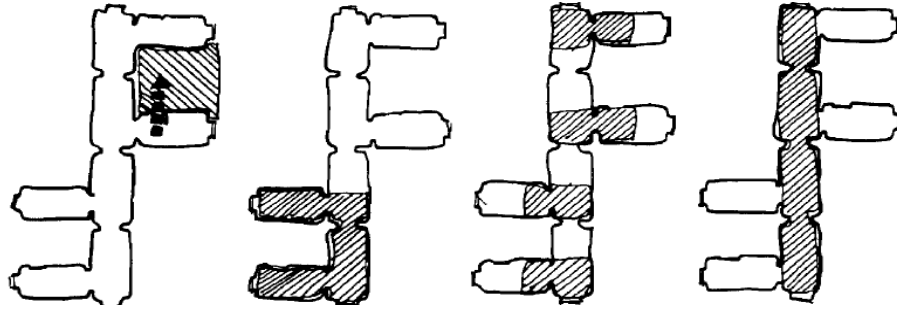
Şekil 2.9 Radyal şema (Reynolds 1988)

Radyal yapılandırma, iki yönden fazla uzantıları olan, merkezi bir alandır. (Şekil 2.9). Merkezi alan tali uzantılara yayılan ana fonksiyonel mekanı barındırmaktadır. Bu ikinci mekanlar sessiz, özel mekanlar olabilmekle birlikte ek fonksiyonel bölgelere ana dolaşım rotaları olarak da kullanılabilir. Radyal yapılandırmanın en önemli avantajı merkezi bölgeye ulaşımın kolay ve kısa olmasıdır.

Ancak bu yapılandırmayla ilgili en büyük sorun her bir uzantıya olan ulaşımın merkezi bölgeden geçmesidir. Habitat güvenliği açısından çıkışlarda tehlike arz eden bu yapılandırma için uzantılarda döngü yaratacak şekilde ikincil bir acil dolaşım sistemi oluşturmak bu sorun için bir çözüm olacaktır.

2.3.5.4 Dallanma:

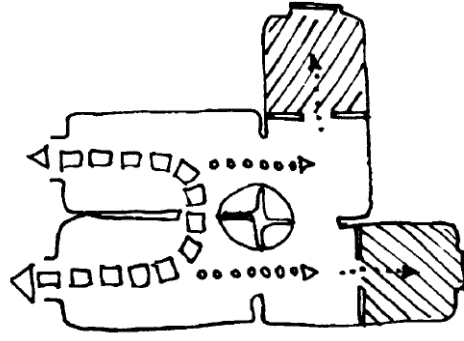
Ana çizgisel akstan, ikincil yolların uzamasıyla genişleyerek doğrusal bir büyüme kurgusuna sahip olan bu yapılandırma, dallanma karakterine sahiptir. (Şekil 2.10). Bu dallanma alanları ortak alandan özele, gürültülü ortamdaki sessize ve birincil alandan ikincil alanlara geçişi sağlamaktadır. Ayrıca ikincil mekanlar arasında da mümkün olmak üzere çok sayıda genişletme seçeneğine sahiptir.



Şekil 2.10 Dallonma şeması (Reynolds 1988)

2.3.5.5 Küme

Küme yapılandırmaları baskın bir dolaşım alanına sahip değildir. Genel olarak geniş alanlar yaratma amacı güdülen bu yapılandırmada merkezi bir alan yaratılmakta ve kapalı bir döngü sirkülasyonu elde edilmektedir. (Şekil 2.11). Özel ve sessiz alanlar, ortak, gürültülü mekânlardan ayrılabilir. Ancak birbirine bitişik modüller onarım ve bakım aşaması için sorun teşkil etmektedir. (Reynolds 1988)



Şekil 2.11 Küme şeması (Reynolds 1988)

SICSA tarafından yapılan çalışmalarda ise habitat yapıları yatay ve dikey olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Her iki sınıf da konvansiyonel modüller, teleskopik “sert” modüller ve yayılıp açılabilir şişme “yumuşak” modülleri içermektedir. Bu modül türlerinin değerlendirilmesi, modüllerin hacimsel kapasiteleri, basınçlandırılmaları, taşınabilirlikleri ve büyüme olanaklarına dayanmaktadır. (Bannova, 2008)

Modül türleri yapılandırma ve büyüme olasılıklarına göre ele alındığında;

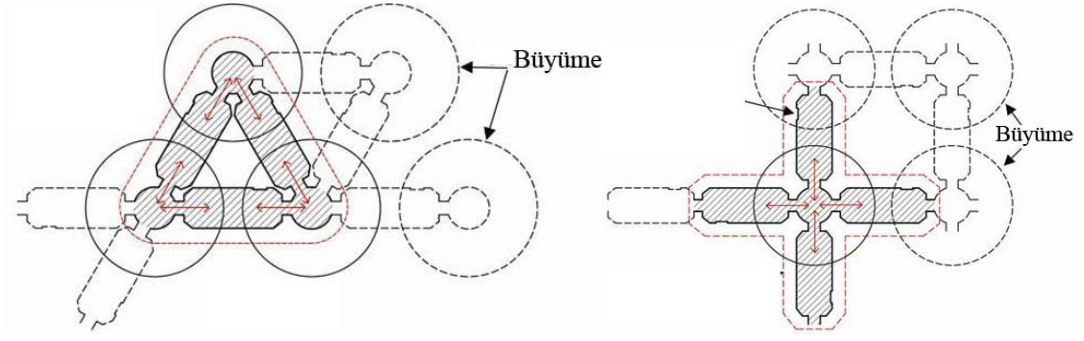
- Konvansiyonel yatay modüller gereksinimler doğrultusunda çeşitlilik gösteren farklı bağlantı noktalarına sahip olabilmektedir.

-Dikey modüller sınırlı olanaklara sahiptir ve uzun transfer tünelleri gerektirmektedir.

-Bitiş bağlantıları teleskopik modüllerde standarttır ve aksel bağlantılar teleskopik kesitlerde ortaya çıkmaktadır. Bu alanlarda modülün çapı azalmaktadır.

-Dikey şişme modüllerde, bağlantılar sert kabuk kesitiyle sınırlıdır ve uzun transfer tünelleri gerektirmektedir.

Şekil 2.12’de iki geometrik farklı modül birleşimi ve yüzey giriş- çıkışları gösterilmektedir. (Bannova, 2008)



Şekil- 2.12 Üçgen ve dörtgen şema

Buna göre üçgen şema daha komplike montaj işlemleri ve sınırlı büyüme seçenekleri sunmakta ve üç modülün bir araya gelmesiyle habitat içinde giriş çıkış döngüsü yaratılabilmektedir. Haçvari plan şeması ise kapalı bir döngü planına sahiptir ve en büyük dezavantajı bu döngünün 4 modül de bir arada olmadan gerçekleşememesidir.

BÖLÜM ÜÇ

AY YAPILARININ STRÜKTÜREL TASARIMI VE YAPIM SİSTEMLERİ

Ay ortamında inşa edilecek bir yapının dünya ortamındakine kıyasla kendi karakteri, sınırları ve farklılıkları olacaktır. Bu doğrultuda, yapılan çalışmalarda izlenen yapım süreci şu şekildedir:

3.1 Malzeme Seçimi

Gelecekte yapılması planlanan büyük uzay yapısı projelerinde, kullanılacak malzeme ağırlığının yaklaşık olarak yüz bin tonu aşacağı tahmin edilmektedir. Yapı malzemeleri yüksek mukavemet, süneklik, dayanıklılık, sertlik, yüksek yırtılma ve delinme direnci, düşük ısıl genleşmesi gibi özelliklere sahip olmalıdır. Ancak bu malzemeler nelerdir, nasıl elde edilmektedir ve gereksinimler doğrultusunda bu malzemelerin işlenme süreci nasıl olacaktır? Bu sorulara yanıt bulmak ve gerekli malzemeleri elde etme, işletme, nakliye ve yapım aşamasında ortaya çıkacak zorlukları ve yüksek maliyetleri en aza indirmek amacıyla, bir çok çalışma ve analiz yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde dünya dışı zorlu koşulları için kullanılması planlanan malzemeler dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olmak üzere iki sınıfta incelenmiştir.

3.1.1 Dünya Kaynaklı Malzemeler

3.1.1.1 Çelik

Çelik, ısıl işlemlere karşı duyarlı, istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyon ve yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri verebilen bir yapı malzemesidir. Haddeme, presleme ve dövme işlemleri sonucunda istenen şekle sokulabilen bu malzeme, kimyasal bileşimine göre üç ana grupta incelenmektedir.

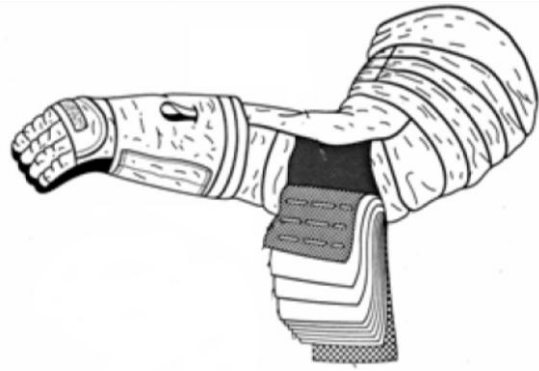
- Karbon çeliği
- Paslanmaz çelik

- Alaşımli çelik

Karbon çeliği maliyet bakımından uygun olması ve verimli bir malzeme olması sebebiyle, bütün dünyada inşa alanında tercih edilen bir malzemedir. Mühendislerin bu malzeme hakkında daha çok tecrübeye sahip olması da söz konusu bir ay habitatu uygulamasında bu malzemeyi ilk tercih konusu yapacaktır. Ancak bu malzemenin yüksel özgül ağırlığının nakliyat maliyetini artırması bu tür yapılar için bir dezavantaj oluşturacaktır. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006)

3.1.1.2 Alüminyum

Alüminyum çok yönlü bir metaldir ve istenen herhangi bir forma dönüştürülebilmektedir. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunan bu malzeme oksidasyona karşı üstün direnciyle tanınmaktadır. Bu direncin temelinde pasivasyon özelliği yatmaktadır. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde önemli bir yere sahiptir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde geniş kullanım alanlarına sahip olan alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Özellikle uzay giysilerinde ışınım ve mikrometeoritlere karşı koruyucu tabaka olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.1) (Karahan, Utkun ve Toprakçı, 2009)



Şekil 3.1 Alüminyumun uzay giysilerinde kullanımı (Karahan, Utkun ve Toprakçı, 2009)

Üreticiler diğer metallere göre yüksek güç/yoğunluk oranına sahip bu malzemeye lityum ekleyerek bu oranı daha da artırmayı başarmışlardır. %1 oranında eklenen lityum atomları alaşımın alüminyumun yoğunluğunu %6 oranında azaltırken aynı zamanda direncini artırarak bu malzemeyi daha dayanıklı ve hafif bir hale getirmektedir. Yapı teknolojisinde en çok tercih edilen alaşımlar 2XXX, 6XXX ve 7XXX alüminyum serileridir. (Ruess, Schaenzlin ve Benaroya, 2006)

Bunlardan 2XXX alaşımı yüksek mukavemet özelliğine sahip olması sebebiyle yapı alanında tercih edilen bir malzemedir. Isıl işleme şekil verilebilen 2XXX serisi alüminyumları 2011, 2014, 2017, 2018 ve 2024 alaşımlarını içermektedir. Ancak bunlardan 2024 alaşımının verimi diğerlerine göre daha düşük olduğu için fazla kullanım alanına sahip değildir.

6XXX alaşımı ise 2XXX'e göre orta düzey mukavemet gücüne sahip bir alaşımdır. Ancak uzay uygulamalarında tercih edilme sebebi bu alaşım serilerinin 50-380 MPa arası basınç dayanımına sahip olmasıdır. Isıl işleme işletilebilen bu alüminyum sınıfının alaşımları ise 6061, 6062, 6063 ve 6151 serisinden oluşmaktadır. Bunların içinde 6061 ve 6063 2XXX serisine göre daha kolay kaynaklanabilmekte ve istenilen forma daha rahat ulaşabilmektedir. (Cameron, Duston ve Lee,1990).

7XXX serisi alüminyum ise 95-625 Mpa basınç dayanımına sahip, yüksek mukavemetli bir alaşımdır. Yine ısı işleminden geçen ve 7075, 7079 ve 7178 alaşımlarına sahip olan bu seride en çok tercih edilen alaşımlar kolay kaynaklanabilme ve şekle girebilme özelliği sebebiyle 7075 ve 7178 serisidir. (Cameron, Duston ve Lee,1990).

3.1.1.3 Titanyum

İlk kez 1791 yılında İngiltere'de William Gregor tarafından keşfedilen titanyum, yerkabuğunda demir, alüminyum ve magnezyum metallere sonra en çok bulunan malzemedir. Ancak, titanyumun bu kadar çok bulunmasına karşı ticari amaçla

kullanılmaya başlaması 1950'lerden sonra gerçekleşmiştir. Titanyumun bu kadar geç kullanılmaya başlamasının sebebi rutil (TiO_2), ilmenit ($FeTiO_3$), titanit ($CaTiSiO_5$) gibi mineraller halinde bulunan bu metalin ayrıştırılıp saf hale getirilme yönteminin geliştirilmesinin uzun sürmesidir. Gereksinimler doğrultusunda alüminyum, vanadyum, molibden, krom ve demir gibi metallerle alaşım olarak da kullanılabilen titanyum genel olarak mimari uygulamalarda saf halde tercih edilmektedir. Lineer genleşme katsayısı ($20-300^{\circ}C$ arası, 85×10^{-6} her $^{\circ}C$) yaklaşık olarak çelik ve bakırın yarısı, alüminyumun ise $1/3$ 'ü kadar olan titanyum, güç ve dayanım açısından daha sağlam, hafif, parlak ve korozyona karşı dirençli bir malzemedir. Titanyumun korozyona karşı bu yüksek dayanımı oksijene karşı açıklığı sebebiyle hava veya nem ile temas eden yüzeyde oluşan kalıcı oksit film tabakasından kaynaklanmaktadır. Oluşan bu oksit film tabakasının kalınlığı anotlama işlemi ile artırılabilir. (Orhon, 2005)

Titanyum günümüzde uzay ve havacılık uygulamalarında en çok tercih edilen malzemedir. Moskova'da Lenin Caddesi üzerinde bulunan Yuri Gagarin'in titanyumdan yapılmış heykeli, uzay çağının başlamasının bu malzemeye bağlı olduğunu ifade etmektedir. (Şekil 3.3) (Orhon, 2005).

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) 'nın Ay keşif uydusu (LRO), 'Maria Bölgesi' adı verilen bölgede zengin titanyum yatakları görüntülemiştir. Bu durum Ay yapılarında titanyum malzemesinin kullanılabilirliğini artırmaktadır. (Ay'da Zengin Titanyum Yatakları Bulundu, b.t)



Şekil 3.2 Yuri Gagarin'in titanyumdan yapılmış heykeli (Aleksiyeviç Yuri Gagarin, b.t)

3.1.1.4 Membranlar

Membran kumaşlarının üretimi elyafların bir kanvas içine yerleştirilmesi ve kaplanması şeklinde olmaktadır. Kevlar lifleri bu tür tekstil yapılarında kullanılan elyaflar arasındadır. Bunların içinde kevlar, düşük ağırlığına oranla yüksek dayanıma sahip olması sebebiyle, Ay yapıları için uygun bir malzemedir.

Membranlar, bir çok alanda, rijit strüktürlere oranla daha optimum özelliklere sahip, esnek, hafif, düşük maliyetli ve dayanıklı malzemelerdir. Sahip oldukları avantajlar açısından bir çok uzay projesinde öncelikli tercih konusu olmalarının en önemli sebepleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- Membran malzemesi depolama aşamasında katlanarak ve paketlenerek diğer strüktürlere oranla %25 daha az yer kaplamakta ve istenilen her hangi şekle kolaylıkla girebilmektedir. Bunun dışında hafif bir malzeme olması üretim süreçlerini en aza indirmektedir. (Cassapakis ve Thomas, 1995)
- Bu malzemenin uygulama aşamasında genişleme kapasitesi ve esnekliği uzay mürettebatı için psikolojik rahatlık sağlamaktadır. (Roberts, 1993)

- Esnek bir malzeme olması sayesinde eğrisel formlara rahatlıkla adapte olmakta ve bunun için takviye bir elemana ihtiyaç duymamaktadır.

Bu özelliklerinin yanında, şişme strüktürlerin genişleyebilme olanağı, gelişen ihtiyaçlar çerçevesinde iç mekân düzenlemeleri açısından kolaylık sağlamaktadır. Fırlatma aracının gövdesine takılan ve depolanan rijit silindirler, hacimsel açıdan, paketlenildiğinde aynı alanı kaplayan, ancak açıldığında daha geniş alanları örtebilen şişme strüktürler kadar verimli olamamaktadır. (Cassapakis ve Thomas, 1995)

Uzay yapıları için membran malzemesiyle yapılan şişme strüktürler yapım aşamasını hızlandırırken yapımın maliyetini en aza indirmektedir.

3.1.1.5 Kompozitler

Kompozitler farklı özelliklere sahip malzemelerin, birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek daha iyi özelliklere sahip bir sonuç ürün elde etmek amacıyla bir araya getirildiği, yapılarında bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazdan oluşan malzeme sistemleridir. Kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılan bir elyaf malzeme bulunmakta ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris (reçine) malzemesi bulunmaktadır. Bu iki gruptan, elyaf malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini arttırıcı, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamaktadır. (Cameron, Duston ve Lee,1990).

Kompozit malzemeler düşük özgül ağırlığına sahip malzemeler olmaları sebebiyle yapı alanında büyük avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında korozyona karşı dayanıklı olması, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlaması, kolay şekil alabilmesi, gerektiğinde iyi bir elektrik iletkeni ve iyi bir yalıtkan olması, ısıya ve ateşe dayanıklı olması ve titreşim sönümlenme gibi önemli özelliklere de sahiptirler. (Kompozit Malzemeler, b.t)

Yüksek özgül mukavemet ve yüksek özgül elastisite özelliğine sahip polimer kompozitlerinin bünyesinde bulunan pekiştirici liflerin oranının artırılması malzemenin mukavemetini artırmaktadır. Yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm / gr olmasına karşın cam lifi – polyesterlerde özgül mukavemet 620 Nm/gr, karbon lifi epoksida 700 Nm/gr ve kevlar epoksida ise 886 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına oranla daha fazla tercih edilmektedir. Havacılık sanayisinde kompozitler gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında kompozit malzemeler başarıyla kullanılmaktadır. Daha dayanıklı ve hafif malzemeyle atmosfer şartlarına karşı daha dayanıklı ve yüksek mukavemetli olmaktadır. (Kompozit Malzemeler, b.t) (Tablo 3.1)

Cam elyafı poliyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan malzemeler bunlara örnektir. Kompozitler polimer, metal ve seramik kompozitler olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 3.1 Pekiştirici liflerin özellikleri (Kompozit Malzemeler, b.t),

Malzeme	Özgül ağırlık gr / cm ³	Çekme mukavemeti N / mm ²	Elastisite modülü N / mm ²
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Bunlardan cam, karbon kevlar ve boron lifleriyle pekiştirilen polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. (Kompozit Malzemeler, b.t)

Metal kompozitler ise bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difzyon kaynağı gibi işlemlerden geçirilerek elde edildiği malzemelerdir. Metal kompozitler daha çok uzay ve havacılık alanlarında,

uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları gibi yerlerde kullanılır.

Son olarak, sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar ile uzay araçları imalatında kullanılan seramik kompozitleri değişik yapılara sahip Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN bileşiklerinin bir veya birkaçının beraber kullanılmasıyla elde edilen bir malzemedir.

3.1.1.6 Karbon Nanotüpler

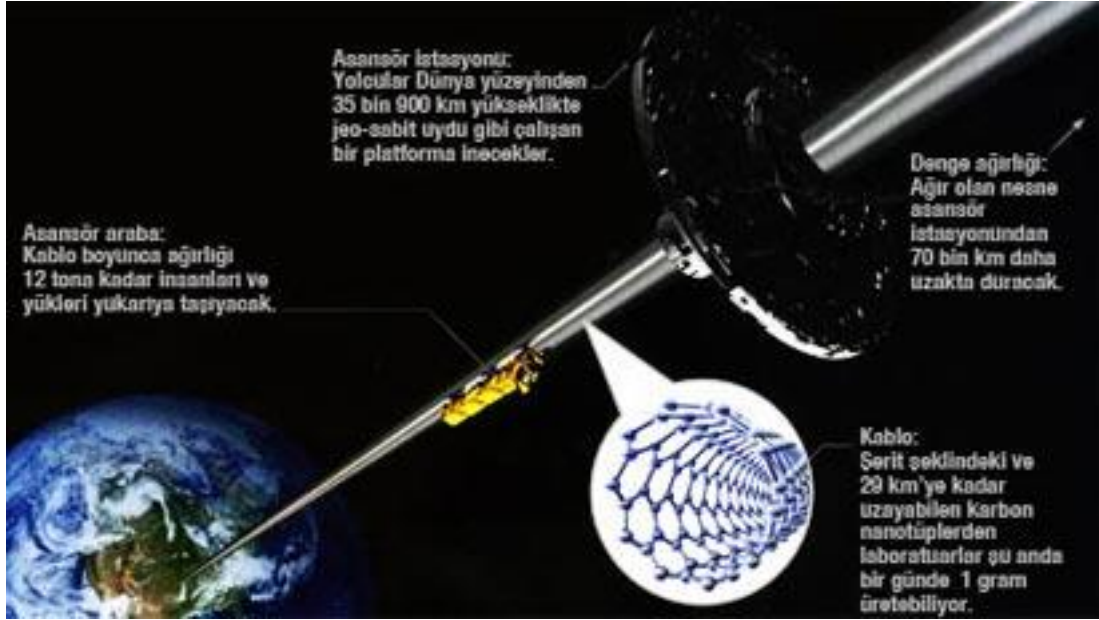
1991 yılında NEC Firmasında mikroskopist olarak çalışan Japon araştırmacı Sumio Iijma, karbon nanotüpler olarak adlandırdığımız yeni bir malzeme elde etmiştir. (Dinçer, 2003) (Şekil 3.3)

Karbon nanotüpler çok genç bir araştırma alanıdır. Bu sistemler bal peteğini andıran atom düzleminin bir silindir üzerine hiçbir kusur oluşturmadan kesiksiz olarak sarılmış bir şekli olarak düşünülebilir. Bilinen en güçlü fiberler olan karbon nanotüplerin çapı birkaç nanometredir.

Yapılarına göre iletken ve yarı iletken olarak görev yapmaktadırlar. Karbon nanotoplar içerisinde en sağlam ve en iyi bilinen C60 nanotopu, kendi ağırlığının 300 milyon katı bir ağırlığa dayanabilmektedir. Karbon nanotüpler tek ya da iç içe geçmiş, uçları açık ya da kapalı silindirler biçiminde değişik çaplarda olabilmektedir. Yapılan deneyler neticesinde tek duvarlı küçük çaplı karbon nanotüplerin gerilme mukavemeti 45.000 Mpa olarak belirlenmiştir. (Orhon, 2007)

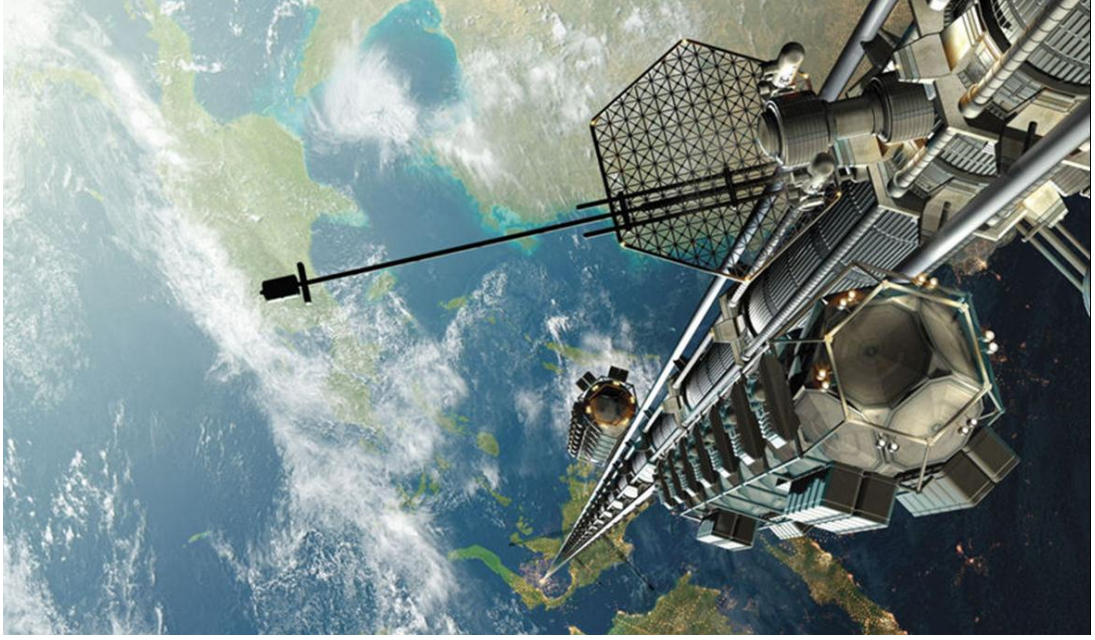
Günümüz teknolojisi artık gereksinimler doğrultusunda, istenen bir amaca hizmet edebilecek ve malzemenin niteliğini değiştirebilecek şekilde atom boyutlarında düzenleme yapabilen bir seviyeye gelmiştir. Gelecekte karbon nanotüp demetleriyle yapılan karbon nanotüp lifler, üstün dayanımları ve esneklikleri ile çok geniş yüzeyleri örtebilecek olağanüstü malzemeler olacaktır. Ayrıca Karbon nanotüp liflerin, beton ve yapı plastikleri içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanıldığı karma malzemelerle bugün yapımı imkansız olarak görülen mimari

yapılar hayat bulacaktır. Orhon, 2007) Çağımızda karbon nanotüpler uzay asansöründen ilaçlara, elektronik devrelerden inşaat malzemelerine kadar pek çok işlev alanına sahip olacaktır.



Şekil 3.3 Uzay Asansörü Projesi, (Uzaya Asansörle Çıkılabilecek, 2009)

1950'li yıllarda Rus mühendis Yuri Artsutanov tarafından ortaya atılmış, daha sonra Amerikalı Deniz Bilimci John Dsaacs tarafından geliştirilmiş ve günümüzde NASA'nın çalışmalarını sürdürdüğü Uzay Asansörü projesi, karbon nanotüpler sayesinde tekrar gündeme gelen bir projedir. (Şekil 3.4) Bir ucu yeryüzünde diğer ucu dünyanın jeosantrik noktasından ötede bulunan, dünyayla eşdeğer açısal hız ve sabit bir yörünge uzaklığında hareket eden, yaklaşık 100.000 km uzunluğunda bir kablo ve ek sistemlerle oluşturulması düşünülen taşıyıcı bir sistemden oluşan bu projenin günümüze kadar yapılamamasının sebebi bu uzunlukta kullanılacak ve ihtiyaca cevap verebilecek özelliklerde bir malzemenin var olmadığı gerçeğiydi. (Şekil 3.6). Ancak hem hafiflik hem de çok yüksek mukavemet değerlerine sahip olması bakımından karbon nanotüpler bu tür ekstrem bir proje için beklentileri önemli ölçüde karşılayan bir malzemedir.



Şekil 3.4 Uzay Asansörü Projesi (Yıldırım, 2008)

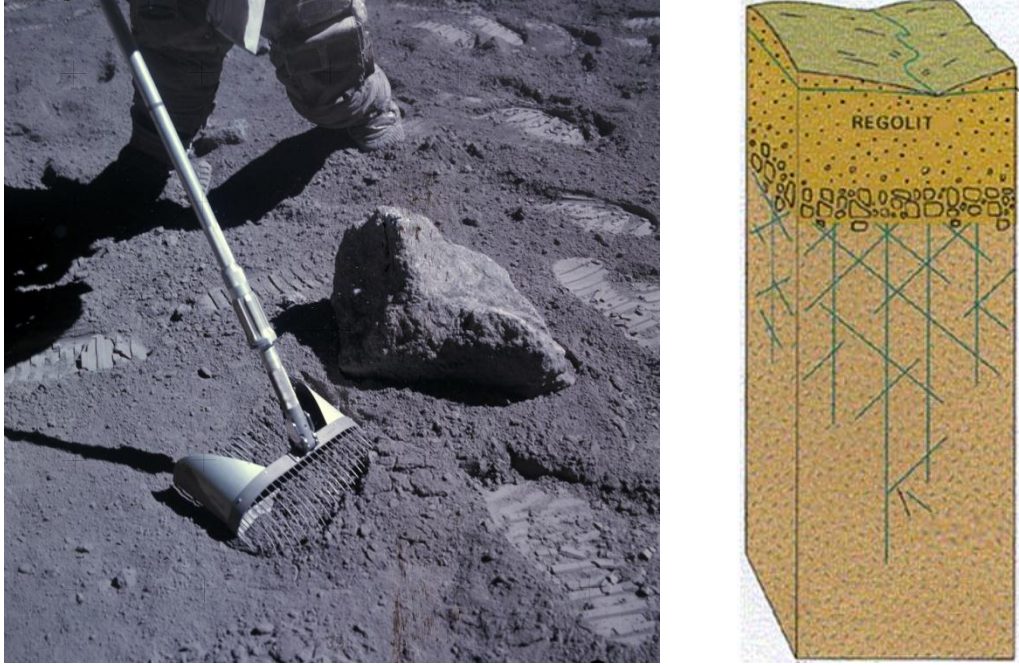
3.1.2 Ay Kaynaklı Malzemeler

Yapılan analizler ve çalışmalar neticesinde büyük ölçekli uzay projeleri için ay yerel kaynaklarının, dünyadan çıkarılan hammaddelere oranla maliyet açısından daha ekonomik ve daha az işgücü gerektirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Uzay ortamına dünyada üretilen malzemelerin nakliyesi ve bu malzemelerin zorlu koşullara olan uyumunun tartışılabilir olduğu varsayımları, bilim adamlarını ay yüzeyinden elde edilebilecek yerel malzemelerin keşfine çıkarmıştır. Yapılacak projelerde kullanılması öngörülen yerel ay malzemeleri şu şekilde sıralanmaktadır:

3.1.2.1 Gevşek ve Sıkıştırılmış Regolit

Ay toprağı ve regoliti, ay yüzeyinde en çok bulunan malzemelerdir. Regolitin en üst katmanı yaklaşık 15 cm kadar gevşek toprak parçasıyla kaplıdır. (Şekil 3.7).Yüzeye çarpan gök cisimleri sebebiyle oluşan regolit eski yüzeylerde yeni yüzeylere nazaran daha kalın bir tabaka halinde bulunmaktadır. Çok ince toz halinde bulunan regolit tabakasının altında onlarca kilometre kalınlığında oldukça parçalanmış kayalardan oluşan megaregolit tabakası bulunmaktadır. Regolit, yapılacak olan projelerde habitatları ışınım ve göktaşları gibi etkenlere karşı koruyucu

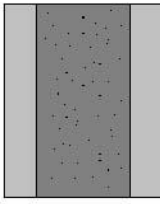
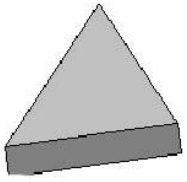
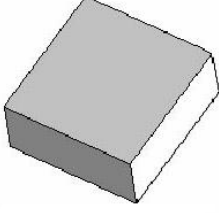

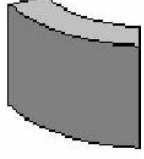
katman olarak kullanılacaktır. Regolit yüksek açılarda sıkıştırıldığında kırılabilir bir malzemedir. Bu yüzden strüktürel açıdan kullanımı çok sınırlıdır. (Cameron, Duston ve Lee,1990).



Şekil 3.5 Regolit tabakası, (Can Regolith go through the skin, b.t)

3.1.2.2 Sinterlenmiş Regolit

Gevşek regolit toplanabilmekte, herhangi bir forma dönüştürülebilmekte ve eritilip sinterlenmek için güneş enerjisi veya mikrodalgalarla ısıtılabilir. Sonuç ürün, (tuğla, blok veya diğer formlar) dünyada yapılan yığma yapım mantığıyla, inşa edilecek bir ay yapısında kullanılabilir. (Şekil 3.6) Birbirine uygun kilitleme ve donatı takviyesiyle bu tuğlalar basınçlı ortamlarda bile kullanılabilir ve hatta ön germe vermek suretiyle giriş ve döşeme bile üretmek mümkün olabilmektedir. Ancak ön germe işlemi çok hassas bir uygulama olduğu için bu malzemede uygulanması çeşitli zorlukları da beraberinde getirecektir. (Cameron, Duston ve Lee,1990)

 <p>Regolit sandviç: İki eritilmiş regolit tabakası kaba regolit tabakasını sarmakta ve ışınım karşı ekonomik bir koruma sağlanmaktadır</p>	 <p>Jeodezik kesit: poligonlar jeodezik kubbelerde olduğu gibi kullanılabilir.</p>	 <p>Düz levha: İnsanların en çok aşına olduğu bu form dörtgen yapıları inşa etmede yığma yapım elemanı olarak kullanılabilir.</p>	 <p>Küresel kesit: kubbesel formları yaratmakta kullanılabilir.</p>	 <p>İlindirik kesit: Eğrisel yapıları oluşturmada kullanılabilir.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Şekil 3.6 Sinterlenmiş regolitle yapılmış yapı malzemeleri (Hsu, 2005)

Sinterlenmiş regolit ve benzerleri genellikle düşük ve son derece değişken mekanik dayanıma sahiptir. Son derece heterojen olan bu malzemenin özelliklerini tam olarak karakterize etmek çok zordur. Modüllerin belirtilen kopma değerleri 9-18 MPa arasında değişirken basınç güçleri hemen hemen aynı görünmektedir. Henüz ay yapısına uygulayabilecek kadar yeryüzünde bu malzemeyle ilgili yeteri kadar deneyim bulunmamaktadır. Bu güne kadar yapılan araştırmalar çerçevesinde, ortaya çıkan sonuca göre, bu malzemenin yapısal tasarımda kullanılması mümkün değildir. Ancak sinterlenmiş bloklar ışınım kalkanı, siperler, bariyerler gibi yapısal olmayan kullanımlar için uygundur. (Cameron, Duston ve Lee,1990).

3.1.2.3 Ay Camı ve Cam-Cam Kompozitleri

Ay camı ürünleri ay kökenli yapı ürünleri içinde dikkat çeken bir malzemedir. Bu malzeme yapılacak olan bir Ay yapısında pencere olarak ve hatta taşıyıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca çok yüksek mukavemetli cam elyaf imal edilebilir ve beton içinde takviye malzemesi olarak kullanılabilir. Ay camı bunun yanında, başka bir

cam ile kompozit oluşturarak yüksek mukavemet ve yüksek erime noktasına sahip bir kompozit malzeme oluşturulabilmektedir. Bunun yanı sıra düşük dayanıma sahip cam elyaf ve düşük erime noktasına sahip cam matrisi birleştirilerek başka bir kompozit malzeme oluşturulabilmektedir. (Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya, 2006)

Cam üretimi için gerekli olan hammadde ay yüzeyinde mevcuttur. Bazı alanlarda regolitin %40'ını cam oluşturmaktadır. Regolitin kendisi bile eritilip çabucak soğutulduğu zaman cam şeklini almaktadır. Yüksek dayanıma sahip bir cam üretimi metal üretiminden çok daha kolaydır. Bu yüzden ay tozlarının güçlendirilmiş bu camların üzerinde ihmal edilebilecek kadar az bir zarar vermesi düşünülmektedir. (Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya, 2006)

Cam kırılğan bir malzemedir. Bu yüzden gerilme yüklemeleri içeren uygulamalarda dökme cam kullanımı gerçekleştirilecek olası çatlaklara karşı tercih edilmemektedir. Ancak bu sınırlamanın cam kompozitler veya cam lif demetleri kullanılarak aşılması düşünülmektedir. Bunun yanında ay camlarından yapılmış kablolar da cam fiberin yüksek dayanımı sebebiyle ümit vadeden uygulamalara dönüşmektedir. (Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya, 2006)

3.1.2.4 Dökme Regolit (Dökme Bazalt)

Dökme regolit, dünya yüzeyindeki dökme bazalt ile benzerlik göstermektedir. Bu terimler literatürde aslında aynı malzemeye karşılık gelmektedir. Dökme regolit, ay üzerinde eritildikten sonra cama dönüştürülmesi yerine yavaş yavaş soğutulup kristalleştirilerek üretilir. Bu işlem için aslında sadece fırın, kepçe ve kalıplar yeterlidir.

Dökme bazalt son derece yüksek basınç ve orta düzeyde çekme gücüne sahiptir. Prefabrik yapılarda hazır kullanım için, kiriş, kolon, döşeme, kabuk, kemer, silindir gibi birçok yapı elemanı olarak dökülebilmektedir.

Bu malzemenin basınç ve çekme güçleri betona göre on kat daha büyüktür. Bu olumlu özelliklerine karşılık dökme bazaltın en büyük dezavantajı kırılabilirliğidir. Bu yüzden uygulama aşamasına geçmeden önce kırılma ve yorulma özelliklerinin daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Dökme regoliti yüksek çekme gücü sebebiyle taşıyıcı sistem uygulamalarında çekmeye çalışan takviye elemanı olmadan kullanmak mümkündür. Ancak, güvenli taşıyıcı sistem için minimum ölçüde takviye eleman kullanmak yararlı olacaktır.

Dökme regolit çok sert olduğundan yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu durum tozlu ay ortamında büyük bir avantaj teşkil etmektedir. (Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya, 2006)

3.1.2.5 Ay Betonu

Ay betonu üretebilmek için gerekli temel malzemeler dünyadakiyle aynıdır; su, çimento ve agrega. Yapılan laboratuvar çalışmalarında agrega olarak Ay regoliti kullanılmış ve bu durum betonu daha kaliteli hale getirmiştir.

Çimento üretimi Ay kayalarının içinde bulunan yüksek kalsiyumla zenginleştirilerek gerçekleştirilebilir. Su ise mevcut olmadığı için ay toprağından çıkarılan ay oksijeni ve hidrojenin birleştirilmesiyle üretilebilir. Ancak Ay betonu vakumlu ortamda dökülemez. Bunun için basınçlı bir ortama ihtiyaç vardır. Çünkü vakum betonu sertleştiren, kimyasal reaksiyon için gerekli olan suyu geri çekmektedir. Bu durum malzeme kalitesini düşürmektedir.

Beton çekmeye karşı dayanıksız olan bir malzemedir. Birçok taşıyıcı sistem uygulamasında çelik gibi yüksek çekme dayanımına sahip bir malzemeyle güçlendirilmektedir. Ay camı elyafı bu güçlendirilmede kullanılacak uygun bir malzemedir.

3.2 Ay Ortamında Kullanılabilecek Yapım Sistemleri

Ay ortamında yapılacak olan bir inşaatın, dünya ortamındakine kıyasla birçok farklılıkları ve çalışanların maruz kalacakları zorlu çevresel koşullar vardır. Öncelikle inşaat ekibi yapım aşamasında uygun basınçlı uzay elbiseleriyle çalışmak zorunda kalacaktır. Bunun yanında yerçekimi azlığı, güneş ve kozmik ışınım, havada asılı olan Ay tozu gibi etkenler de inşaat sürecinde çalışanların maruz kalacakları problemler arasındadır. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

Uzay mimarları Ay'da yapılacak projelerin inşası için 3 farklı yapım sistemi önermektedir. (Howe, Spexarth, Toups, Howard, Rudisill ve Dorsey, 2010) (Tablo 3.2)

a) Konvansiyonel Yapım Sistemi: Hemen kullanıma hazır, önceden entegre edilmiş ancak boyutları fırlatma aracının kapasitesiyle sınırlı modüllerden oluşan yapım sistemi.

b) Prefabrik Yapım Sistemi: Alanda birleştirilebilen ve boyut sınırı olmayan prefabrike parçalardan oluşan yapım sistemi.

c) Ay Kaynaklarıyla Yapım Sistemi: Yerel malzemelerin kullanıldığı yapım sistemi.

Önceden entegre edilmiş yapılar ışınımına karşı kendi özel koruyucu tabakalarını içermek zorundadır. Buna karşı Ay kaynağı kullanımında koruyucu kalkan olarak regolit kullanılmaktadır. Prefabrik yapıda yine ışınım kalkanı olarak regolit içeren tabakalar kullanılmaktadır.

Tablo 3.2 NASA tarafından yapılan 3 farklı strüktür tipinin karşılaştırılması (Cohen, 2002)

YAPIM SİSTEMİ	TANIM	AVANTAJLAR
1- Konvansiyonel Yapım: Sert Kabuk Modülü	Ay yüzeyinde bağımsız olarak inşa edilebilen, bütün bileşenleri önceden entegre edilmiş, kompozit strüktürlerdir.	- Yüksek dayanım, onarım ve bakım kolaylığı - Mevcut teknolojiyle uyumlu -Daha büyük modüller ekleyebilme imkanı
2- Prefabrik Yapım: Şişme ve karma, şekil değiştirebilen veya sonradan birleştirilebilen strüktürler	Bileşenleri kısmen entegre edilmiş, kendi kendini onarabilen akıllı habitat özelliğinde esnek strüktürlerdir.	- Geniş hacim -Mürettebat için kaliteli, konforlu, yüksek yaşam standartlarına sahip iç ortam - Yüksek dayanım, onarım ve bakım kolaylığı
3- Ay Kaynaklarıyla Yapım -Ay betonu -Yığılma yapım, -Yerinde vitrifiye mağaralar, -Tüneller veya lav tüpleri	Aydaki yerel malzemelerin kullanılarak üretildiği strüktür tipidir.	- Dünyadaki malzeme kaynaklarına en az gereksinim - Üretim, servis ve onarım imkânı

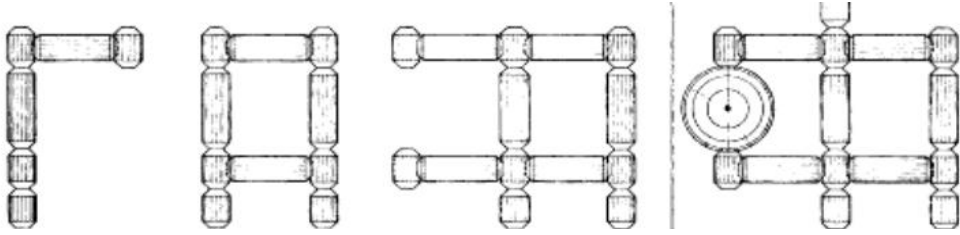
Tablo 3.2’de de görüldüğü gibi, Ay yapısı projelerinde gerektiği durumlarda verimliliği artırmak ve belirtilen bu üç yapım sisteminin avantajlarından yararlanmak için yapım sistemlerinin kombinasyonları uygulanabilmektedir. (Cohen, 2002)

3.2.1 Konvansiyonel Yapım Sistemleri

Konvansiyonel yapım sistemleri Ay ortamının zorlu koşullarına karşı dayanıklı, strüktürel etkinliği ve bütünlüğü sunan, geleneksel malzemelerin ve yöntemlerin kullanıldığı yapım sistemleridir. Tasarlanması ve üretimi komplike yöntemler

gerektirmeyen ve acil durumlarda hızlı şekilde kurulabilen bu sistemler, her türlü teknik ve ekipman sistemlerinin ve pencere, kapak ve kapı gibi elemanların bağlantılarını en kolay ve en güvenilir şekilde sağlayabilmektedir. (Bell, 2006)

Konvansiyonel modüllerin çok yönlü uygulama alanı olmasına karşın, diğer sistemlerle karşılaştırıldığında yapım aşamasında birçok kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir:



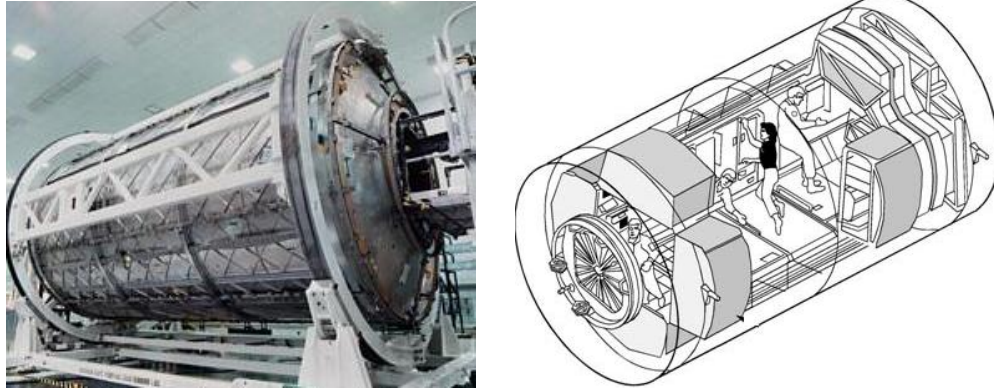
Şekil 3.7 Konvansiyonel modüllerin bir araya geliş şemaları (Moore, Baschiera, Fieber, ve Moths, 1990)

- İç mekan kapasitesini artırmak ancak başka modüllerin eklenmesiyle mümkündür.
- Her modüldeki habitat hacmi fırlatma aracının izin verdiği ölçülerle sınırlıdır.
- Küçük hacimli modüllerin kullanımı daha fazla montaj işlemi, bakım ve onarım gerektirmektedir.



Şekil 3.8 Skylab Orbital Facility ve Nuclear SNAP Space Art Uzay İstasyonu

Konvansiyonel modüller yapısal bütünlüğün ve ek işlevlerin sağlandığı ana strüktürlere sahiptir. Bunlar: (Bell, 2006)



Şekil3.9 U.S. Laboratuar Modülü , lonjeron (Bell, 2006)

1. Lonjeron: Basıncılı kabuk panellerin yük taşıma kapasitesini ve dayanıklılığını artırmak amaçlı kullanılan, hava aracı gövdesinin bir ucundan diğerine uzanan ana yapıdır. (Şekil 3.9)
2. Halka Çerceve Sistemi: Lonjeron ve panellerin bağlantısını sağlayan sistemdir.
3. Kabuk Paneller: Atmosfer basınç yüklerini içermektedir.
4. Pencere ve Kapak Çerçeveleri: Basınç ara yüzünü oluşturmaktadır.
5. Muylu: Başka bir parça için dönme eksenini görevini yapan silindirik biçimindeki bu parça fırlatma aracı içindeki modülün güvenliğini sağlamaktadır.

3.2.2 Prefabrik Yapım Sistemleri-

Prefabrik yapım sistemleri, inşa aşamasında kullanılacak bütün bileşenlerin yeryüzünde üretildiği ve bu bileşenlerin fırlatma aracına istiflenerek Ay'a gönderildiği, şişme veya karma yapım sistemleridir. Depolama aşamasında hacimden tasarruf etmek amacıyla katlanabilir ve şekil değiştirebilir özellikte üretilen bu bileşenler, uzay ortamında yapıyı dikme aşamasında uzaktan kumandayla veya

otomatik olarak açılabilme teknolojisine sahiplerdir. (Cohen, 2002) Prefabrik sistemlerin şekil değiştirmeleri katlanarak, rulo yaparak ve teleskopik olmak üzere 3 şekilde olmaktadır.

3.2.2.1 Şekil Değiştirebilen Sistemler

a) Katlanarak Sekil Değiştirebilen Sistemler:



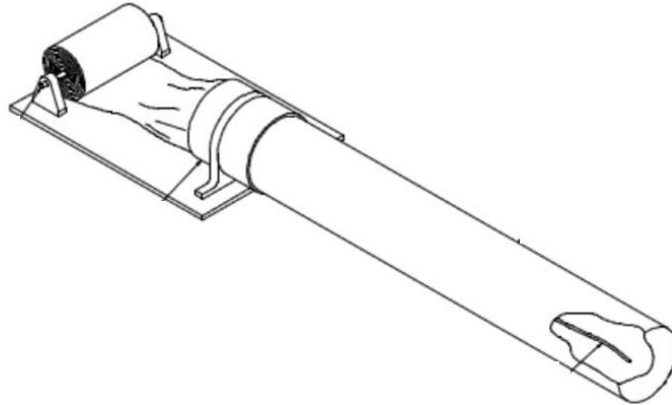
Şekil 3.10 Katlanabilir bir strüktür önerisi. (Gruber, 2008)

Bu tip sistemler nakliye aşamasında kolaylık sağlayacak şekilde modüllerin daha kompakt tasarlandığı ve inşa edileceği yere getirildiğinde katlanmış mekanizmanın açılarak alana yayıldığı sistemlerdir. (Balkaza, 2008). Kullanım aşamasında bir akordeon gibi açılarak genişletilebilen bu strüktürler, esnek birleşim noktalarına sahip sert paneller ve tamamı katlanmaya müsait materyalden yapılmış esnek strüktürler şeklinde olabilmektedirler. (Merchan, 1987) (Şekil 3.10)



Şekil 3.11 Katlanma tekniği (Bell, 2006)

b) Rulo Yöntemiyle Şekil Değiştiren Sistemler:



Şekil 3.12 Rulo yöntemi (Cadogan, Grahne ve Mikulas, 1998)

Genel olarak Şişme strüktürlerin nakliye aşamasında tercih edilen rulo yapma yönteminde 2 farklı yaklaşım bulunmaktadır:

1- Rulo işlemi şişme habitat tüpünün tabanına en uzak noktadan başlanarak yapılmaktadır. (Cadogan, Grahne ve Mikulas, 1998) Rulo yapılan şişme habitat tüpünü açma işlemi tabandan hava verilerek yapılmaktadır. Bu yaklaşım basit, güvenilir ve kompakt bir işlemdir ancak en önemli dezavantajı ruloyu açma işlemi sırasında membran veya diğer arayüzlerde ortaya çıkan komplikasyonlardır.

2- Ters rulo: Şişme tüp diğer işlemin aksine strüktüre monte edilmiş dönen bir mil yardımıyla tabandan başlayarak rulo yapılmaktadır. Açma işlemi sırasında şişirme gazı tüpün baş kısmından verilmektedir. Rulo esnasında sabit bir tüp şişme tüpün açılış yönünün kontrolünü sağlamaktadır. (Gruber, Häuplik, Imhof, Özdemir, Waclavicek ve Perino, 2007) (Şekil 3.12)

c). Teleskopik Sistemler:

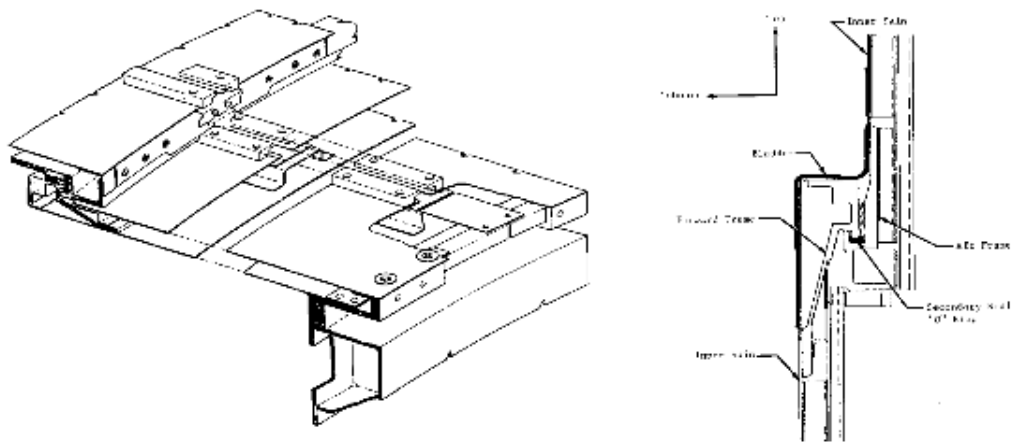
Kaydırılarak şekil değiştiren (teleskopik) sistemler, modüllerin uçuş süresince boyutlarını kısaltmak amacıyla teleskop mantığıyla kaydırılarak iç içe geçirildiği sistemdir. (Şekil 3.13). Kaydırma veya sürme işleminin yatay veya düşey yönde yapılabildiği bu sistemlerde, habitatın biçimsel değişikliğinin yanı sıra iç mekân dış

mekan kullanımlarında da farklılıklar yaratılabilmektedir. Önceden entegre edilmiş ekipmanları barındıran, iç içe geçmiş bu modüller, gereksinimler doğrultusunda açılabilen ve geniş bir iç hacim elde edilebilmektedir. Kaydırma işleminin en büyük avantajlarından biri nakliye aşamasında modülün boyutunun küçültülerek hacimden tasarruf edilmesidir. (Knox, Moses 1965)



Şekil 3.13 Teleskopik sistem (Bell, 2006)

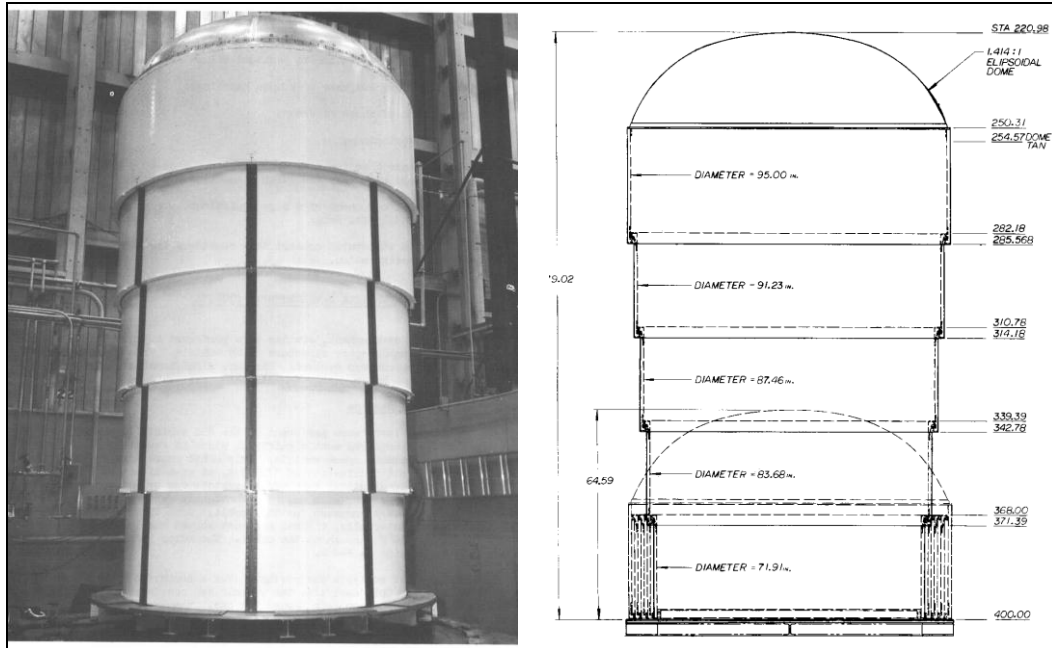
Birçok avantaj sağlamasına karşın, teleskopik modüllerde çeşitli kısıtlamalar ve dezavantajlar bulunmaktadır



Şekil 3.14 Teleskopik uzay strüktürü, şekil değiştirme mekanizması. (Knox, Moses 1965)

- Şişme modüllerden farklı olarak teleskopik modüllerde genişleme doğrusal olmaktadır. Bu durum da daha az hacim artışına sebep olmaktadır.(Şekil 3.14)

- Teleskopik modülde basınç sızdırmazlık ihtiyaçlarına bağlı olarak strüktürel sorunları engellemek için açıklıklarda kısıtlama yoluna gidilmektedir
- Teleskopik modüllerde pencereler sadece modül uçlarına ve ekipmanın olmadığı yerlere konumlanabilmektedir. (Bannova, 2006)



Şekil 3.15 Teleskopik yöntemle şekil değiştiren, genişletilebilir bir uzay strüktürü önerisi (Knox, Moses)

3.2.2.2 Şişme Yapım Sistemleri

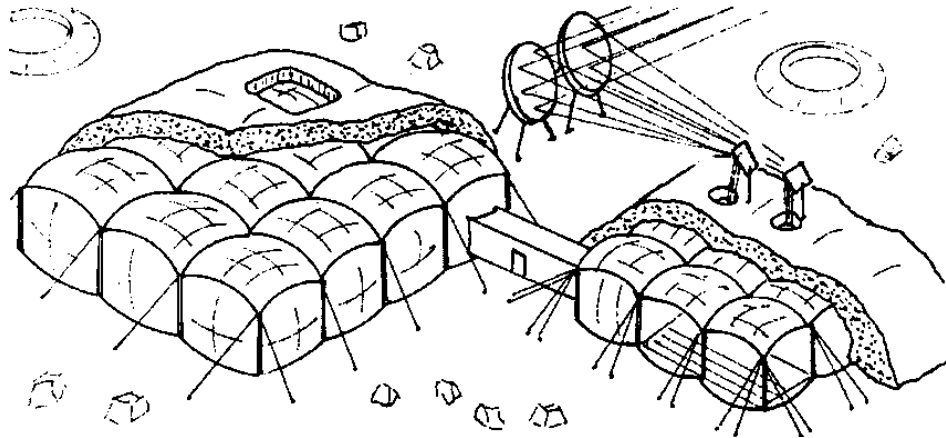
Şişme yapılar günümüzde teknolojik gelişmeler doğrultusunda geniş bir kullanım alanına sahip olan esnek yapılardır. Büyük alanları düşük bir maliyetle örtme kapasitesine sahip olan şişme yapım sistemleri, gerilmeye çalışan bir yüzeyin basınçlı hava ile şişirilerek kurulduğu sistemlerdir. Bu sistemlerde ana taşıyıcı basınçlı havadır. Bu tür yüzeyler genel olarak küresel formlara sahiptir.

1960-1970 yılları arasında NASA ve birçok sanayi kuruluşu uzay giysilerinden uzay habitatlarına kadar şişme uzay sistemlerini geliştirmek için işbaşına geçmiştir. Bu gelişim programları büyük ölçekli bir çok prototipin test edilmesi ve üretimini içermektedir. Ancak, uzay giysileri geliştirme çalışmaları ilk günden bugüne kadar

büyük bir titizlikle devam etse de, şişme habitatlarda aynı performans yakalanamamıştır. (Vogler, 2002)

Şişme yapıların uzay programlarında kullanılması 60'lı yılların başlarına uzanmaktadır. Bunlardan Echo Uydu Programı'nın iletişim deneyleri için yörüngeye yolladığı, 1 metre çapında bir kürenin içine yerleştirilebilen, açıldığında ise 30 metre çapına gelen balonlar o döneme damgasını vuran önemli projelerden olmuştur. (Roberts, 1993)

1960'lı yılların başında şişme yapı sistemleriyle ilgili bir diğer önemli gelişme ise NASA Langley Araştırma Merkezi'nde kaydedilmiştir. Goodyear lastik şirketiyle birlikte 7.3 metre çapında inşa edilen şişme uzay istasyonu ve Merkür Mark I Programı'nda çalışılan tek kişilik uzay kapsülü projeleri o dönemde yapılan önemli çalışmalar arasındadır. 1980 ve 1990'lara gelindiğinde ise şişme yapı sistemleri NASA ve Havacılık & Uzay Sanayi tarafından yürütülen birçok çalışmaya dahil edilmiş ancak tasarlanan prototip birimlerinin imalatına son zamanlarda geçilebilmiştir. (Roberts, 1993)



Şekil 3.16 Vanderbilt tarafından önerilen şişme uzay üssü projesi. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

Yapılan çalışmalardan sonra şişme yapılar, uzay keşif girişimlerinin bir parçası olarak önerilen NASA Ay Üssü Projeleri için de kabul gören bir sistem olmuştur. 1988 yılında Vanderbilt ve ekibi tarafından kalıcı bir Ay üssü için önerilen bir projede, fiber kompozitlerinin kullanıldığı çekmeye çalışan şişme bir yapı

tasarımı yapılmıştır. (Şekil 3.16). Güneş ışığının zararlı etkilerine karşı koruyucu tabakanın regolit bir örtüyle sağlandığı bu çalışmanın devamı 1990 yılında Nowak ve ekibi tarafından yapılmıştır. Nowak önerdiği şişme uzay üssü projesinde temel problemini dikkate almış ve çalışmalarını bu yönde yoğunlaştırmıştır. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

Strüktürel Tasarım: Ay ortamı için tasarlanacak şişme strüktürlerde göz önüne alınması gereken birçok faktör söz konusudur. Bunlar; fonksiyonel açıdan kullanımı, strüktürel açıdan karşılaması gereken yükler ve uygulamada maruz kalınacak çevresel koşullardır.

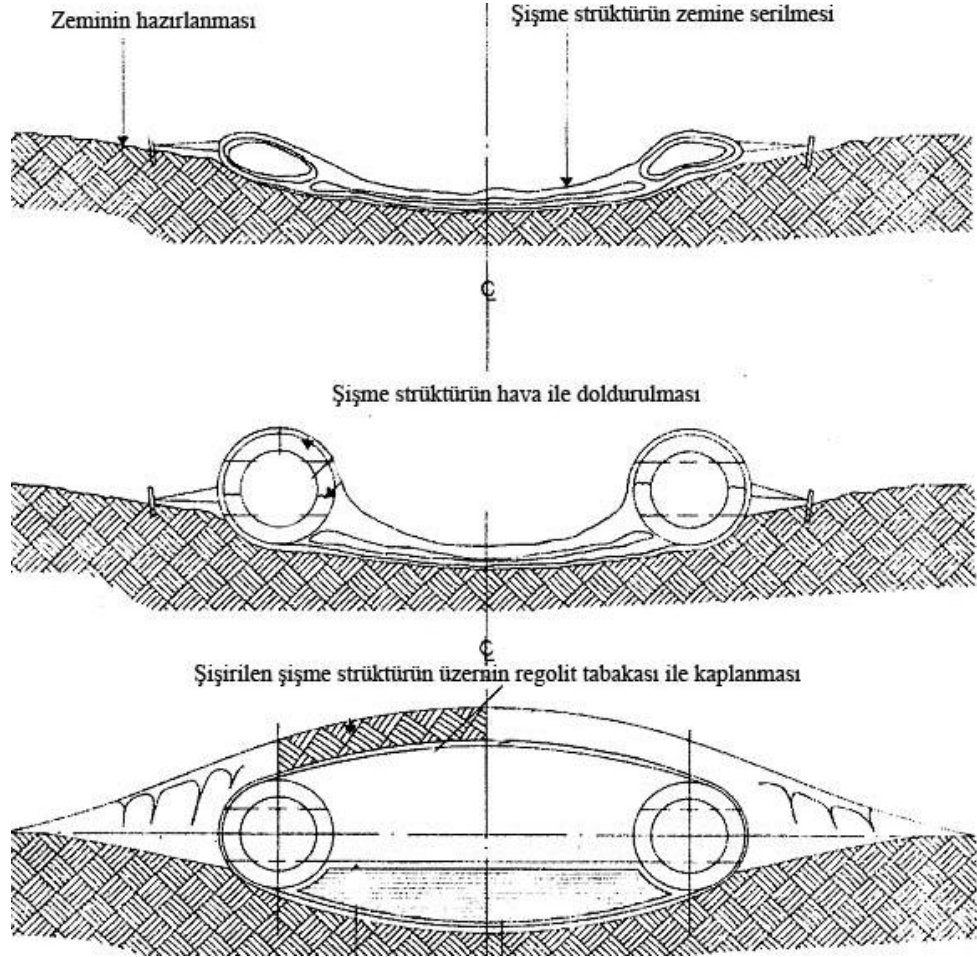
Membran kumaşları etkili bir biçimde iç basınç yüklerini desteklemektedir. Desteklenmemiş bir şişme sistem basınç kaybında kendi ağırlığından dolayı çökeceğinden tasarım sürecinde şişme sistemin delinme olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Günümüzde dünyada kullanılan membran kumaşları Ay yapılarının gerektirdiği malzeme ihtiyaçlarını karşılayacak kapasitede değildir. Taşıma ve inşaat sırasındaki her türlü yüke karşı dirençli bir malzeme, ancak çok katmanlı ve kompozit çözümlerle mümkün olacaktır.

Uzay için önerilen şişme sistemler ultraviyole ışınlar karşı korumalı membran içeren sistemlerdir. İkinci bir katman ise içerde bir tabaka daha oluşturmak üzere şişirilmekte ve aradaki boşluk poliüretan ile doldurulmaktadır. Böylece bina oldukça kompakt bir durumda taşınmakta ve Ayda büyük ve korunaklı birimler kurulabilmektedir.

Şişme bir strüktür 100 kPa basınç gerektirmektedir. Öncelikle kendi iç basıncıyla gerilen strüktürde, iç basınç duvarlarda membran gerilmesi yaratmaktadır. Bu yüzden duvar malzemesi bu gerilmeye karşı koyacak dayanıklılıkta ve esneklikte olmalıdır. Çok büyük alan kaplayan şişme yapılarda membran gerilmesini azaltmak için kablo ve kasnak gibi takviye elemanlar gerekmektedir. Ancak bu elemanlar tasarımda

çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Membran gerilmesine karşı dayanıklılığının yanı sıra, şişme strüktürler olası sızıntılara karşı geçirimsiz olmalıdırlar. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).



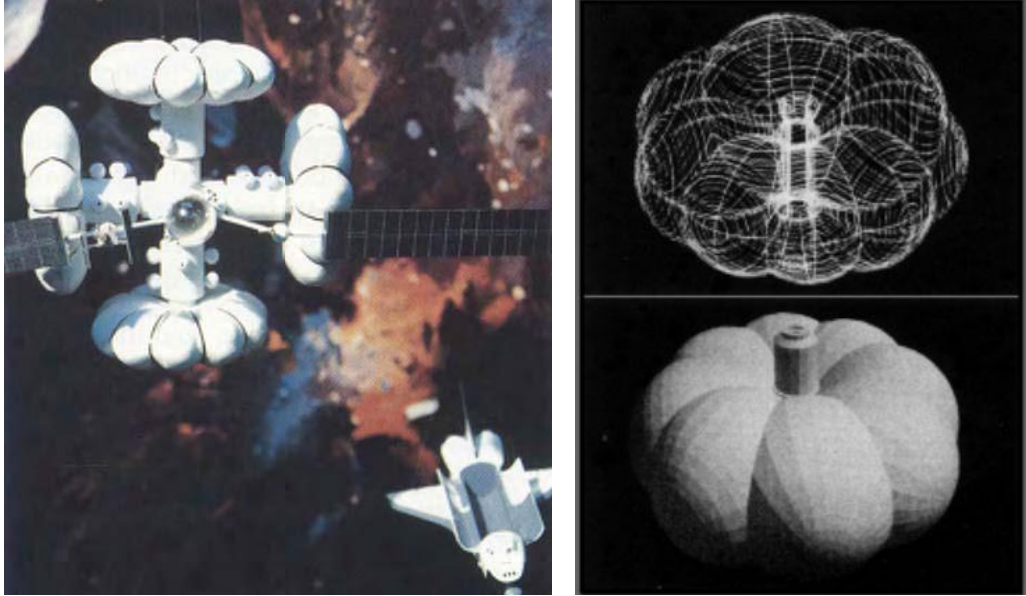
Şekil 3.17 Şişme ay üssü projesi, inşa süreci (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

1988-1989 yıllarında Chow ve Lin tarafından kalıcı bir ay üssü projesi için çalışmaları yapılan diğer bir basınçlı membran ise arası strüktürel köpük ile doldurulmuş iki tabakalı membrandır. (Şekil 3.17) Basınçlı halka şeklindeki altyapı, kenarları desteklemekte ve regolit örtüsü de koruyucu olarak görev yapmaktadır. İnşa sürecinde zemin hazırlanmalı ve şişirilmemiş strüktür zemine yayılmalı, daha sonra torus formundaki altyapı basınçlandırılmalıdır. Strüktürel köpük ise son aşamada şişme strüktürün için enjekte edilmelidir. Şişme strüktürün tabanı ise stabiliteyi

sağlamak amacıyla ve tesviyeli bir iç zemin yaratmak amacıyla sıkıştırılmış toprak ile doldurulmalıdır. (Benaroya, Bernold ve Chua, 2002).

3.2.2.3 Karma Yapım Sistemleri

Karma yapım sistemleri konvansiyonel ve şişme yapım sistemlerinin bir araya gelerek oluşturduğu, her iki sistemin de avantajlarını barındıran karma sistemlerdir. (Şekil 3.18). Karma yapım sistemlerinde, yapının yumuşak şişme kesiti daha geniş iç hacim sağlayarak habitat yaşamını optimize ederken, sert kabuktan oluşan bölümü ise teknik ekipmanları, kapak, kapı ve pencere gibi ara yüzleri ve diğer strüktür sistemlerini içermektedir. (Bell, 2006)



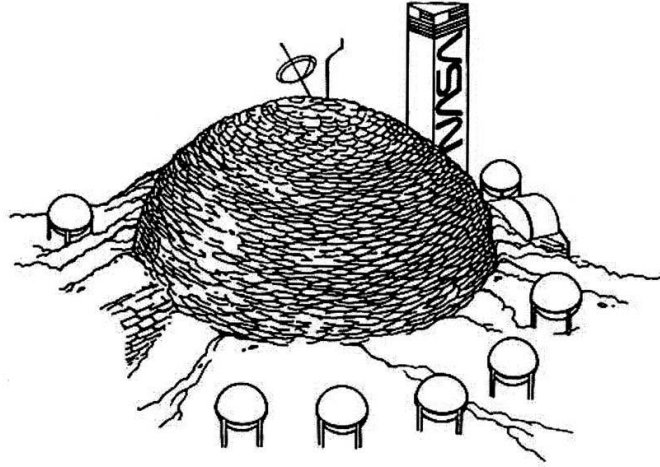
Şekil 3.18 SICSA Uzay Habitatu (Bell, 2006)

Karma yapılar 1980 yılında tasarlanan SICSA Uzay Habitatu örnek olarak gösterilebilir. Yaklaşık 2.13 m çapında küresel modüllerden oluşan habitatta, içte alüminyum bir çerçeve sistemi ve dışta ise şişme bir kabuk bulunmaktadır.

3.2.3 Ay Kaynaklarıyla Yapım

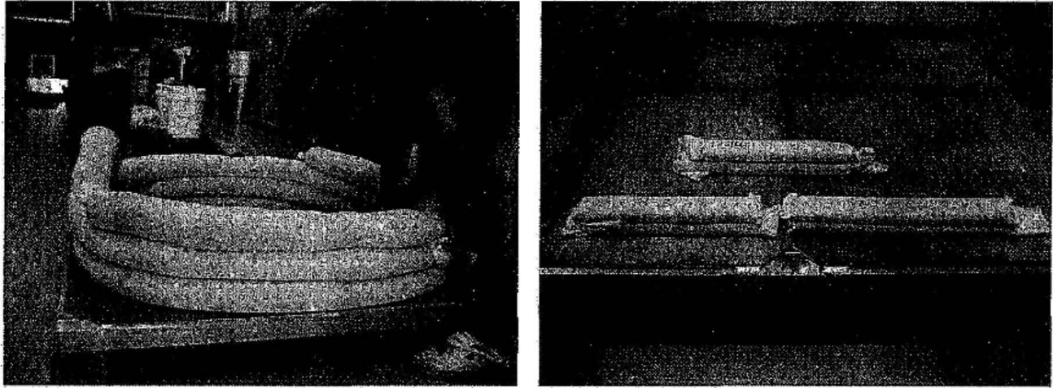
3.2.3.1 Yığma Yapım

Ay yapısı duvarını inşa etmek veya desteklemek amaçlı, yığma yapım tekniğinin uygulandığı bu sistemde, yapı malzemesi olarak belirli boyutlarda içi regolit dolu paketler kullanılmaktadır. (Bodiford, Burks, Perry Cooper ve Fiske, 2006) (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Yığma yapım (Roberts, 1993)

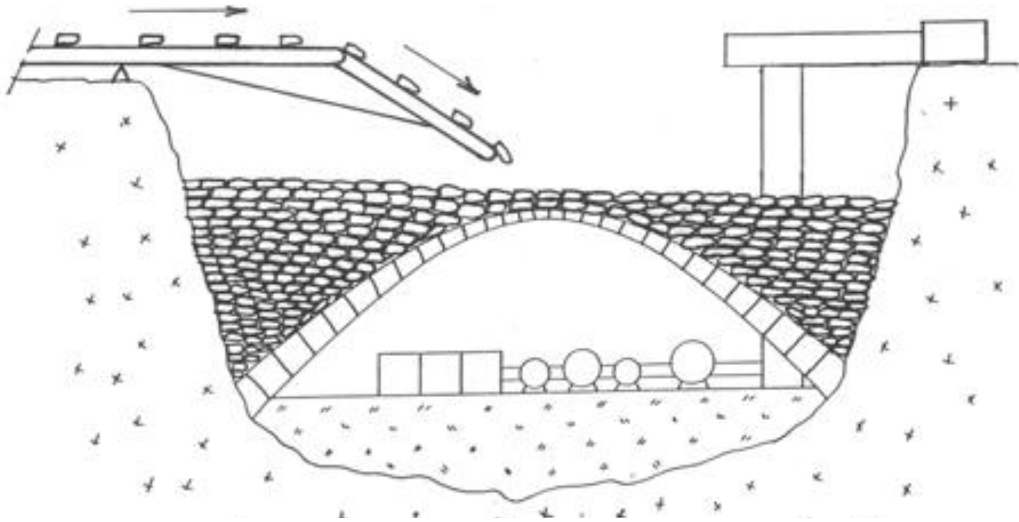
Dünyada hazırlanarak Ay'a gönderilen bu paketler, ay yüzeyinde regolit ile doldurulmakta ve kısa sürede inşa aşamasına geçiş yapılabilmektedir. Ancak, ortam koşullarına dayanıklı ve ışınımaya karşı korunaklı olan bu regolit paketleri her ne kadar kullanıma hazır, kolay elde edilebilir bir malzeme olsa da, çok ince olan regolitin aşındırıcı özelliğine karşı sızdırmazlık ve koruyuculuk açısından daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir. NASA- MSFC (Marshall Space Flight Center) ortaklığında yürütülen çalışmalarda bu konu üzerine yoğunlaşmış ve regolit paketi malzemesi, tasarımı, potansiyel regolit bağlayıcı bileşimleri ve otomatik doldurma - yerleştirme teknikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. (Şekil 3.19) (Bodiford, Burks, Perry, Cooper, ve Fiske, 2006)



Şekil 3. 20 Regolit paketleri üretim aşaması (Bodiford, Burks, Perry Cooper ve Fiske, 2006)

Yakın geçmişte yapılan başka bir çalışmada ise Ay kaynaklarını kullanmak üzere farklı bir öneri getirilmiştir. Boldoghy, Kummert ve ekibinin getirdiği bu öneriye göre: (Boldoghy, Kummert, Varga, Szilágyi ve Bérczi, 2007)

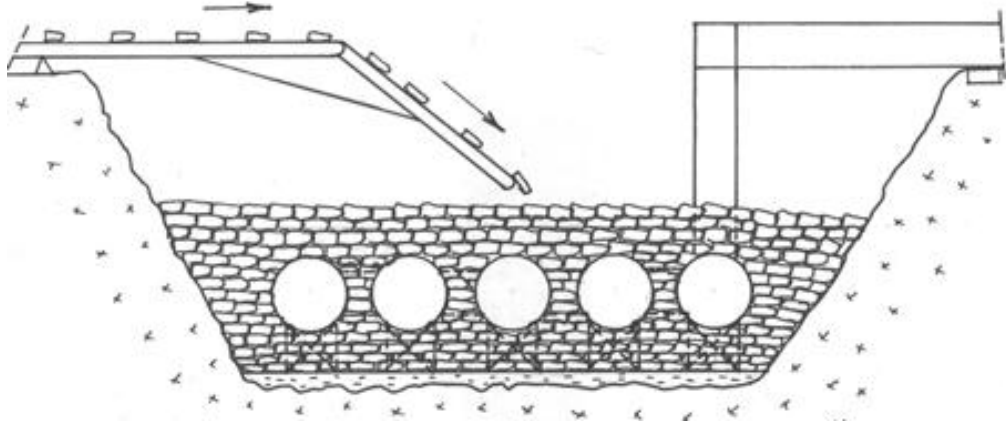
- Önceden hazırlanan regolit paketleri ay hendeği, vadisi veya kraterinde yapılacak olan habitatın meteorit ve ışınım etkilerine karşı koruyuculuğunu yapan ve yapının iç sıcaklığını dengeleyen, kaplama malzemesi olarak görev yapmaktadır. (Şekil 3.21)



Şekil 3.21 Yığma yapım şematik gösterimi (Boldoghy, Kummert, Varga, Szilágyi ve Bérczi, 2007)

- Regolit paketlerini doldurma işlemleri, habitatın inşa edileceği krater, vadi veya hendeğe yakın bir arazide yapılmalıdır. Bu durum inşa süreci ve malzeme hazırlığının eş zamanlı yürütülmesini sağlayarak, yapım süresini kısaltacaktır.

- Uygun kalitede ve parametrede regolitle doldurulan paketler taşıyıcı araçlar veya bantlar yardımıyla yapının üzerine yerleştirilmelidir. (Boldoghy, Kummert, Varga, Szilágyi ve Bérczi, 2007) (Şekil 3.22)



Şekil 3.22 Regolit torbalarının araçlar yardımıyla yerleştirilmesi (Boldoghy, Kummert, Varga, Szilágyi ve Bérczi, 2007)

- Kaplama işlemi esnasında, yükmeden kaynaklanan gerilimi dağıtmak ve yapı için gerekli koşulları sağlamak amacıyla yüklerin binaya dengeli bir şekilde yayılması sağlanmalıdır.

Hazırlanan paketlerin ağır mekanik görevlere maruz kalacağı göz önünde bulundurulursa, bantlarla alana bırakma işleminde ortaya çıkacak patlama, yırtılma gibi problemleri önlemek amaçlı paketlerin çok büyük boyutlarda yapılmaması gerekmektedir. Buna göre Boldoghy, Kummert ve ekibi yaptıkları çeşitli hesaplamalar neticesinde uygun paket boyutunu şu şekilde belirlemişlerdir:

Pratik bir toprak büyüklüğü ele alınırsa; ortalama bir çimento paketi yaklaşık 40 litredir. Buna göre ortalama yoğunluğu 3.1 g/cm^3 olan 40 lt' lik regolitin ağırlığı;

Dünya ortamında yaklaşık: 1200 N, 120 KP

Ay ortamında ise yaklaşık: $1200/6= 200$ N, 20 KP olacaktır.

Buna göre, nakliye olanakları açısından uygun görülen bu miktar için 35x70x16 cm boyutlarında dikdörtgen prizma şeklinde paketler önerilmiştir. Paket malzemesi olarak ise tercihen kevlar , plastik ve dokuma ipi veya bunların kombinasyonundan oluşan ipliklerden üretilen bir malzeme öngörülmektedir.

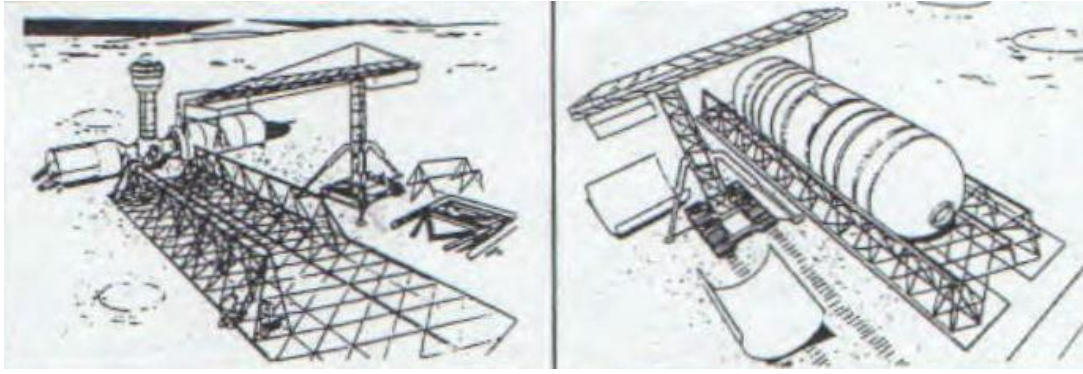
Regolit paketlerini tamamen doldurmak paketlerde gerilme yaratarak patlamalara ve yırtılmalara yol açacağından %80-90'lık kısmını doldurarak regoliti gevşek tutmak daha uygulanabilir olmaktadır. Paketleri doldurma işlemi otomatik yapılabileceği gibi, küçük boyutlarda olduğundan elle yapılması da mümkündür.

3.3 Yapı Elemanları

3.3.1 Temeller

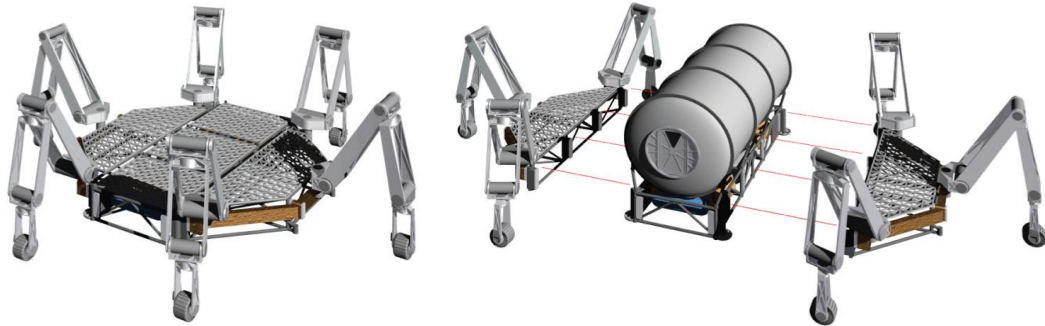
Günümüzde regolit/zemin mekaniğinin tam olarak anlaşılabilmesi ve malzeme nakliyesinin pahalı olması sebebiyle başlangıç aşaması için büyük ve karmaşık temeller uygulanabilir kapasitede değildir. Yapılacak olan ilk örneklerde temel ayakları en iyi çözüm olacaktır.

Genel olarak araştırma ve keşif yapma amaçlı Ay'a gönderilen habitatlar, hareketli ve yarı hareketli olmakta ve bu durum da kalıcı bir temel ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Yapılan yarı hareketli projelerde araştırma yapılacak bölgelere kolay taşınımı sağlayacak şekilde, montajı ve demontajı yapılabilen kafes strüktürler inşa edilmekte ve habitat modülleri bu strüktürün üzerine konuşlanmaktadır. (Şekil 3.23)



Şekil 3.23- Kafes strüktür (Kronenburg, 1995)

Hareketli habitatlar için ise önerilen çözüm ise ATHLETE adı verilen hareketli platformlardır. Açılımı All Terrain Hex Legged Extra Terrestrial Explorer (ATHLETE) olan bu robotik elemanlar, 6 ayaklı, Ay yüzeyinde yürümeye programlı araçlardır. Habitatın araştırma yapılacak bölgeye ulaşımını sağlayan bu araçlar aynı zamanda Ay yapıları için potansiyel bir platform oluşturmaktadır. (Kennedy, Touns , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) (Şekil 3.24)



Şekil 3.24- ATHLETE aracı . (Kennedy, Touns , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

3.3.2 Açıklıklar

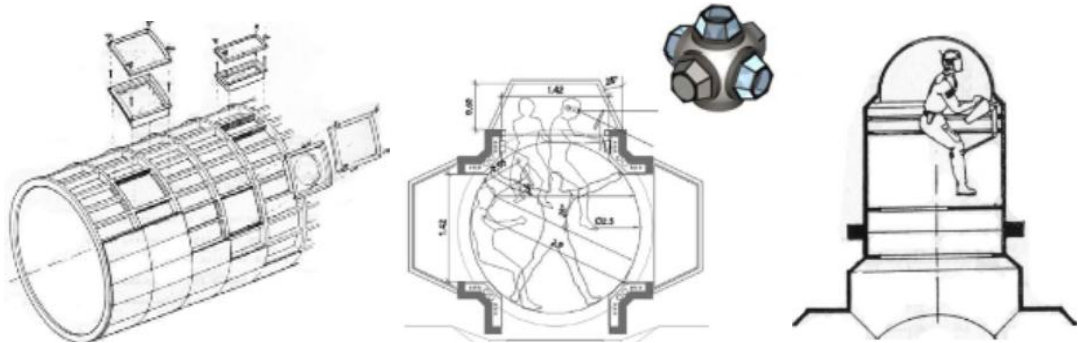
Ay habitatlarındaki iç mekân uzay mürettebatının yeryüzünde yaşadığı deneyimden çok daha farklı bir atmosfere sahiptir. Genel olarak küçük olan bu habitatlara sabit sıcaklık, sabit iklim, gün ışığı yoksunluğu gibi faktörler de eklenince klostrofobik problemler ortaya çıkmakta ve bu kapalı ortam mürettebat üzerinde hapis etkisi yaratmaktadır.

Bu tür kloströfobik sorunları ortadan kaldırmak ve mürettebat için daha insani ve yaşanabilir ortamlar yaratmak, uzay ve iç mekan ortamını birbirine entegre ederek kapalılık olgusunu ortadan kaldırmakla mümkündür. Bunun için ise en basit yöntem habitat yüzeyinde dış ortama bakan pencere ve açıklıklar tasarlamaktır.

Pencere ve açıklıklar, mürettebat için kapalılık olgusunu ortadan kaldırmanın dışında başka önemli görevlere de sahiptir:

- Habitatın yerleşme, hareket etme aşamasında kontrolünün sağlanması,
- Robotik cihaz operasyonlarının gözlemlenmesi,
- Doğal olayların keşfedilmesi, fotoğraflanması ve olası kazaların kontrolü

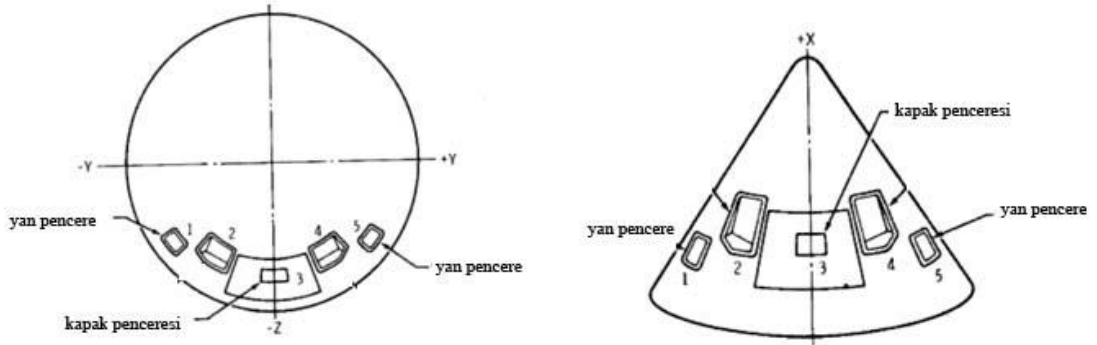
Pencere seçenekleri habitat içinde konumlandığı yere göre ve türüne göre çeşitlilik göstermektedir. Habitat modülünün silindirik duvarlarına, sonlardaki kapaklara, basınçlı kapılara ve kubbelere yerleştirilebilen pencereler, düz bir forma sahip olabilecekleri gibi, kubbe ve baloncuk geometrisinde de tasarlanmaları mümkündür. (Bell, 2006) (Şekil 3.25)



Şekil- 3.25 Pencere yerleşimleri (Bell, 2006)

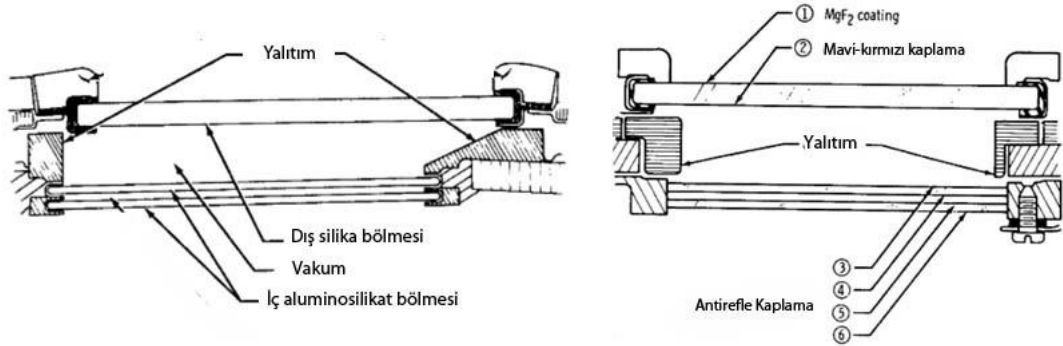
Öncelikli amacı genel görüş alanı sağlamak olan pencereler, fotoğrafik ve bilimsel uygulamalara yönelik olarak optik özellikleri de içerisinde barındırabilmektedir. Ayrıca habitat pencereleri ışınım ve meteorit etkilerine karşı, UV filtreleri ve koruyucu kalkan gibi hareketli veya sabit elemanlarla donatılabilmektedir. (Bell, 2006)

Habitat modüllerindeki pencere uygulamalarına Apollo Habitat modülü örnek olarak gösterilebilir. (Leger ve Bricker, 1972) (Şekil 3.26).



Şekil- 3.26 Pencere yerleşimleri (Pigg ve Weiss, 1978)

Şekilde projede uygulanan standart pencere çizimi gösterilmektedir. Her pencere modülü 3 katman camdan oluşmaktadır. İç taraftaki 2 cam tabakası basınçlı habitatın bir parçası konumundayken, dıştaki cam tabakası ise habitatı çevreleyen ısı kalkanının bir parçasıdır ve çeşitli durumlarda içteki tabakaları korumaktadır.



Şekil- 3.27 Pencere detay (Pigg ve Weiss, 1978)

Pencere açıklıklarındaki tabakalar 2 tür camdan oluşmaktadır. Basınçlı habitat tabakaları her yüzey yansımaya önleyici malzemeye kaplı, temperli alüminosilikatlı camdan oluşmaktadır. En dıştaki tabaka ise %100 erimiş silikadan oluşmaktadır ve magnezyum florid ile kaplıdır. (Leger ve Bricker, 1972) (Şekil 3.27).

Pencere açıklıklarında kullanılan malzeme kanıtlanmış bir teknolojiye sahip olması bakımından cam tercih edilmektedir. Ancak camın kırılabilirliği ve kütlesi

sebebiyle açılan açıklıklarda ve pencere sayısında sınırlamaya gitmek alternatif malzeme üretme ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Buna göre polietilen, su,buz ve şeffaf beton üzerlerinde çalışılan malzemelerdir.

Polietilen: Yüksek bir hidrojen konsantrasyonuna sahip olan bu malzeme, bu özelliği sebebiyle iyi bir koruyucu karaktere de sahiptir. Çizilmeye karşı dayanımı da artırıldığı takdirde pencere malzemesi olarak kullanılması mümkündür. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Su: Hidrojen yönünden zengin malzemeler gibi düşük kütleli elemanların ışınımına karşı koruyucu özellikleri bulunmaktadır. Suyun ışınımına karşı koruyuculuğu ve transparanlığı sebebiyle pencere içinde su kullanılması üzerinde çalışılan alternatif düşüncelerden biridir. Ancak inşa aşamasında ani ısı değişimlerine karşı suyun izolasyonu sağlanmalıdır. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

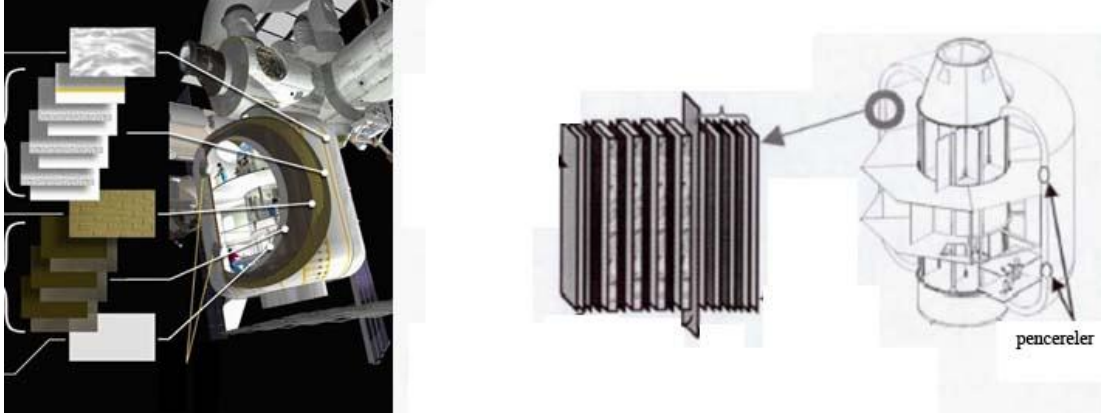
Buz: Işınımına karşı koruyuculuğu sebebiyle buz, pencere malzemesi olarak kullanılması düşünülen diğer alternatif malzemelerden biridir. Ancak suda olduğu gibi buzda da ani sıcaklık değişimlerine karşı faz değişimi ihtimali ve sonrasında ortaya çıkacak olan strüktürel problemler, bu malzemenin kullanılma fikrini çürüten unsurlardır.

Şeffaf Beton: Fiber optik içeren şeffaf betonlar tamamen transparan olmasalar da diğer taraftaki silueti göstermesi bakımından tercih konusu olmaktadır. Regolitin beton üretiminde kullanılabildiği durumlar için ideal bir malzeme konumundadır.

3.3.3 Yapı Kabuğu ve Korunum Elemanları

Uzay ortamı bir mermiden 7 kat daha hızlı hareket eden mikrometeoritler ile doludur ve bu durum habitat için büyük tehdit teşkil etmektedir Ayrıca kozmik ışınım, sürekli güneş etkisi ve aşırı sıcaklık değişimleri gibi zorlu çevre koşulları da, yapılacak olan habitatın korunaklı bir yapı olmasını gerektirmektedir. Bunu

sağlamak da yapı duvarlarının veya dış kabuğunun iyi bir şekilde yalıtılmasıyla ve dayanıklı malzemeler kullanılmasıyla mümkündür.



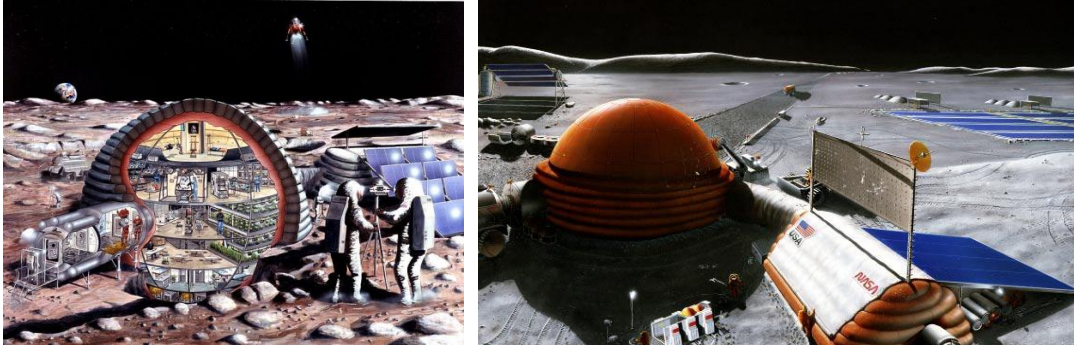
Şekil 3.28 TransHab koruyucu kalkan (Kennedy, 2002).

Yapılan projelere göz atıldığında, mühendislerin, mürettebatın hayatını tehlikeye atan bu önemli problemi göz önünde bulundurdıkları ve bu doğrultuda yapı kabuğu tasarladıkları görülmektedir. Bunun en iyi örneği bir yörüngesel uzay yapısı olan TransHab'da görülmektedir. Uzay ortamının zorlu koşullarına karşı Transhab yüzeyi dayanıklı malzemelerden imal etmişlerdir. Buna göre 30 cm kalınlığında üretilen kabuk, habitata çarpması muhtemel olan uzay partiküllerini tutmak üzere tasarlanmış 12 katmandan oluşmaktadır. (Şekil 3.28) Buna ek olarak mürettebatı yaklaşık 120 derecelik bir sıcaklıktan da koruma özelliğine sahip olan bu katmanlar, dışta çok katlı kevlardan yapılmış dokuma tabakasını takiben açık gözenekli köpükle ayrılmış 4 kat kurşun geçirmez tabakalar oluşturmaktadır. İçte ise seramik kumaş tabakasından oluşan dokuma katları bulunmaktadır (Kennedy, 2002).

Ay yapılarında ise, yapı kabuğunun korumu Ay yerel kaynaklarının kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Yapı genel olarak tercih edilen yöntemler yalıtım tabakası olarak regolit katmanının kullanılması veya herhangi bir ek yalıtıma gerek kalmaksızın yapının lav tüpleri içerisine inşası şeklinde olmaktadır.

3.3.3.1 Regolit Katmanları

Ay ortamının zorlu çevresel koşullarına karşı iyi bir yalıtım malzemesi olması sebebiyle regolit katmanının tercih edildiği görülmektedir. Genel olarak habitatın dışını saran bir katman olarak kullanılmasının yanında duvar katmanlarının arasında da kullanıldığı örneklere rastlanmaktadır.

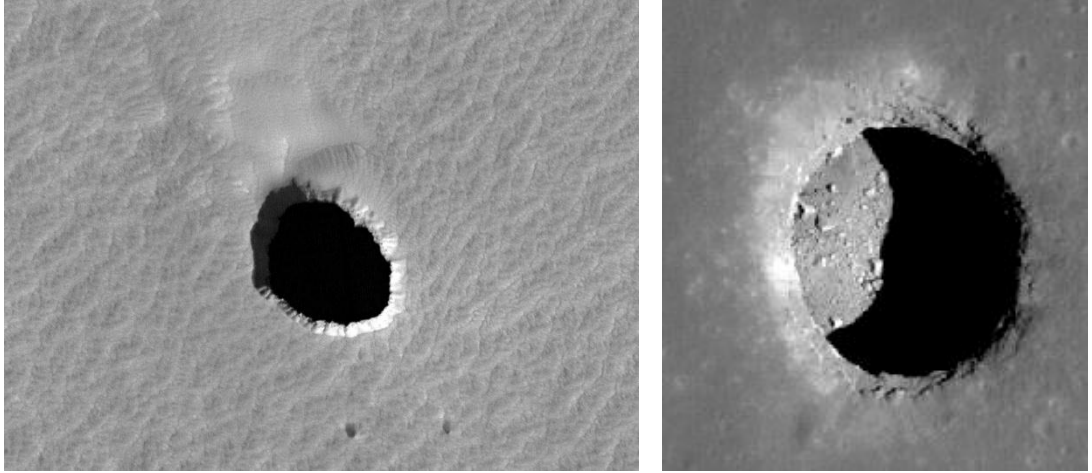


Şekil 3.29 Lacus Veris Ay Üssü (Cohen, 2002)

Regolitin torbalara doldurularak yığma yapım tekniğiyle yapının dış kabuğunu saran bir katman olarak kullanılmasının yanında (Şekil 3.29), sinterator adı verilen mikrodalga cihazlarıyla regolitin sinterlenerek yapı dış kabuğunun yalıtılmasının önerildiği örneklere de rastlanmaktadır.

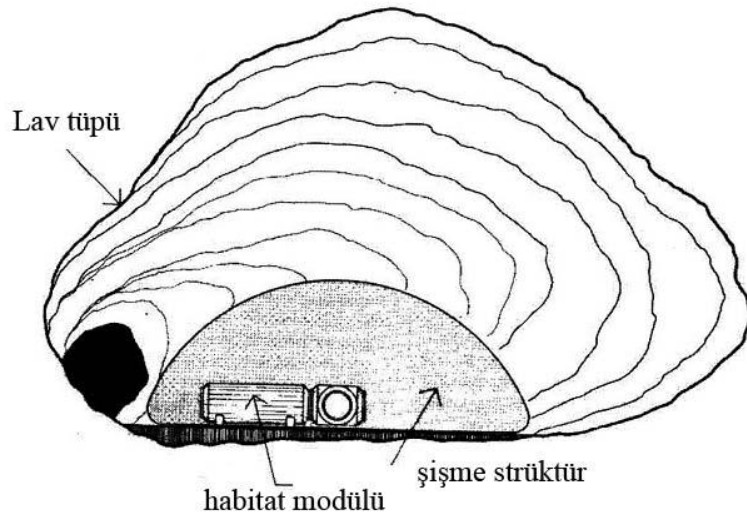
3.3.3.2 Lav Tüpleri

Yerin derinliklerinden yeryüzüne çıkan erimiş haldeki kayaların soğuyarak sertleşmesi esnasında, daha geç soğuyan iç bölümlerdeki akıntı devam etmektedir. (Mağara Türleri ve Sınıflandırmaları, Aralık 2005) Bütün lavların soğuyarak sertleşmesi sonucunda silindir şeklinde oluşan bu boşluklar, lavlardan çıkan basınçlı gaz sayesinde çökmeden ayakta kalabilmektedir. (Şekil 3.30) Bütün bu süreç sonrasında ortaya çıkan bu silindirik boşluklara lav tüpü adı verilmektedir.



Şekil 3.30 Lav tüpleri, (Visiting Martian & Lunar Lava Tubes, 2010),

Ay yüzeyinde bulunan lav tüpleri uzun, sarmal tüneller şeklinde bulunmaktadır. Yüzlerce metre genişliğinde olabilen bu tüpler muhtemel bir ay habitatu için gerekli alanı sağlayabilmekte ve ayrıca ışınım, meteor etkileri ve aşırı ısı dalgalanmalarına karşı koruyucu bir kalkan görevi yapmaktadır.



Şekil 3.31 Lav tüpü içerisine inşa edilmiş habitat önerisi Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya 2006)

Lav tüpü içerisine inşa edilen habitatlar dış etkenlere karşı herhangi bir kaplama malzemesine ihtiyaç duymayacağından, taşıdığı yük azalmakta ve son derece hafif malzemelerle inşa edilme şansına sahiptir. (Şekil 3.31). Buna göre şişme

habitattar bu tür yapım tekniklerinde en verimli sonucu vermektedir. Ancak lav tüpü içerisindeki habitata erişilebilirlik, aydınlatma ve diğer mimari sorunların her biri için tatmin edici çözümler gerekmektedir. Ayrıca habitatı kullanacak mürettebatın sağlığı ve psikolojisi de göz önünde bulundurulması gereken bir diğer araştırma konusudur. (Ruess, Schaenzlin, ve Benaroya 2006).

Lav tüplerine yapı inşa etme aşamasında yeryüzündeki konvansiyonel kazı ve yapı teknikleri ay ortamına adapte edilebilir. Buna göre traktörler, vinçler, kepçeler, vs. inşa sürecini kolaylaştıracak araçlardan bazılarıdır. Lavlar habitatlara mekan olmalarının yanında yapı malzemesi kaynağı olarak da kullanılabilme olanağına sahiptir.

Lav tüplerinin kemer, kanal ve tünel formlarına sahip olması yapım aşaması için büyük bir avantaj arz ederken, strüktürel dayanıklılığı, ışınımaya karşı koruyuculuğu, tozsuz yüzey alanı ve uygun sıcaklık koşullarını sağlaması diğer tercih sebepleridir. (Billings, Walden ve York)

BÖLÜM DÖRT

AY YAPILARI VE TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN ÖRNEKLER ÜZERİNDE İNCELENMESİ

4.1 MoonBase 2

Tablo 4.1 MoonBase 2 ilgili genel bilgiler



Genel Bilgi	
Tasarım Ekibi	Arturo Vittori ve Andreas Vogler
Tasarım Yılı	2007
Habitat Türü	Yüzeysel
Ölçüler	7.5 m çap, 6 m uzunluk, açıldığında 20 m çap, 10 m uzunluk
Habitat Formu	Kubbesel ve silindirik
Teknik Bilgiler	
Yapı Malzemesi	Membran ve regolit
Yapım Sistemi	Şişme yapım
Modül Türü	Çoklu modül
Isı, Işınım ve Mikrometeorit Yalıtımı	Regolit
Büyüme Potansiyeli	Yatay, çizgisel büyüme

Tasarım ve Form: 2007 yılında Mimar Arturo Vittori ve Andreas Vogler tarafından tasarlanan MoonBase 2, (Şekil 4.1) Ay yüzeyinde araştırma ve keşif yapacak 4 astronotun 6 ay kalabileceği şekilde kurgulanmış bir Ay üssü projesidir. Projenin konumlanacağı alan olarak Ay'ın güney kutbundaki Shackleton Krater'i tercih edilmiştir. Bu bölgenin seçilmesindeki en önemli sebep, burada gece süresinin kısa olması ve böylece enerji üretimi için gerekli güneş enerjisinin maksimum düzeyde olmasıdır.

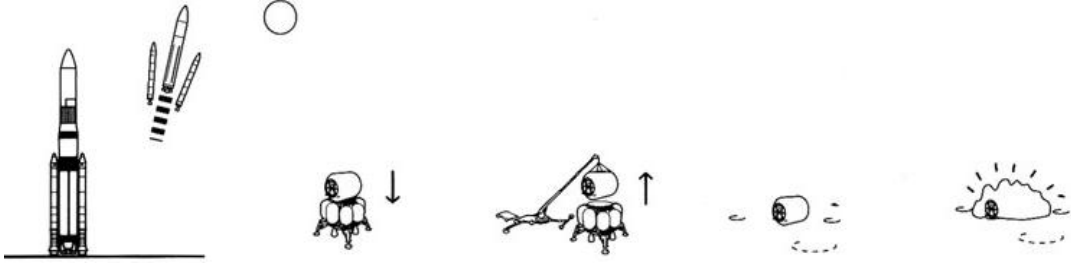


Şekil4.1 MoonBase2- 4.2- (MoonBase two, b.t)

Nakliye: MoonBase 2, uzun süreli kullanımı ve esnekliği için, boyutu ve yerleşim düzeni açısından optimize edilmiştir. Esnek bir kabuğa ve şekil değiştirebilir strüktür sistemine sahip olmasıyla nakliye aşamasında paketlenen bu modül, uygulama aşamasında yayılıp açılabilme özelliğiyle fonksiyonel açıdan büyük avantaj sağlamaktadır. Nakliyesi Ares V kargo roketiyle sağlanacak olan MoonBase 2, paketleme aşamasında 7,5 m'lik bir çapa ve 6 m'lik uzunluğa, uygulama aşamasında

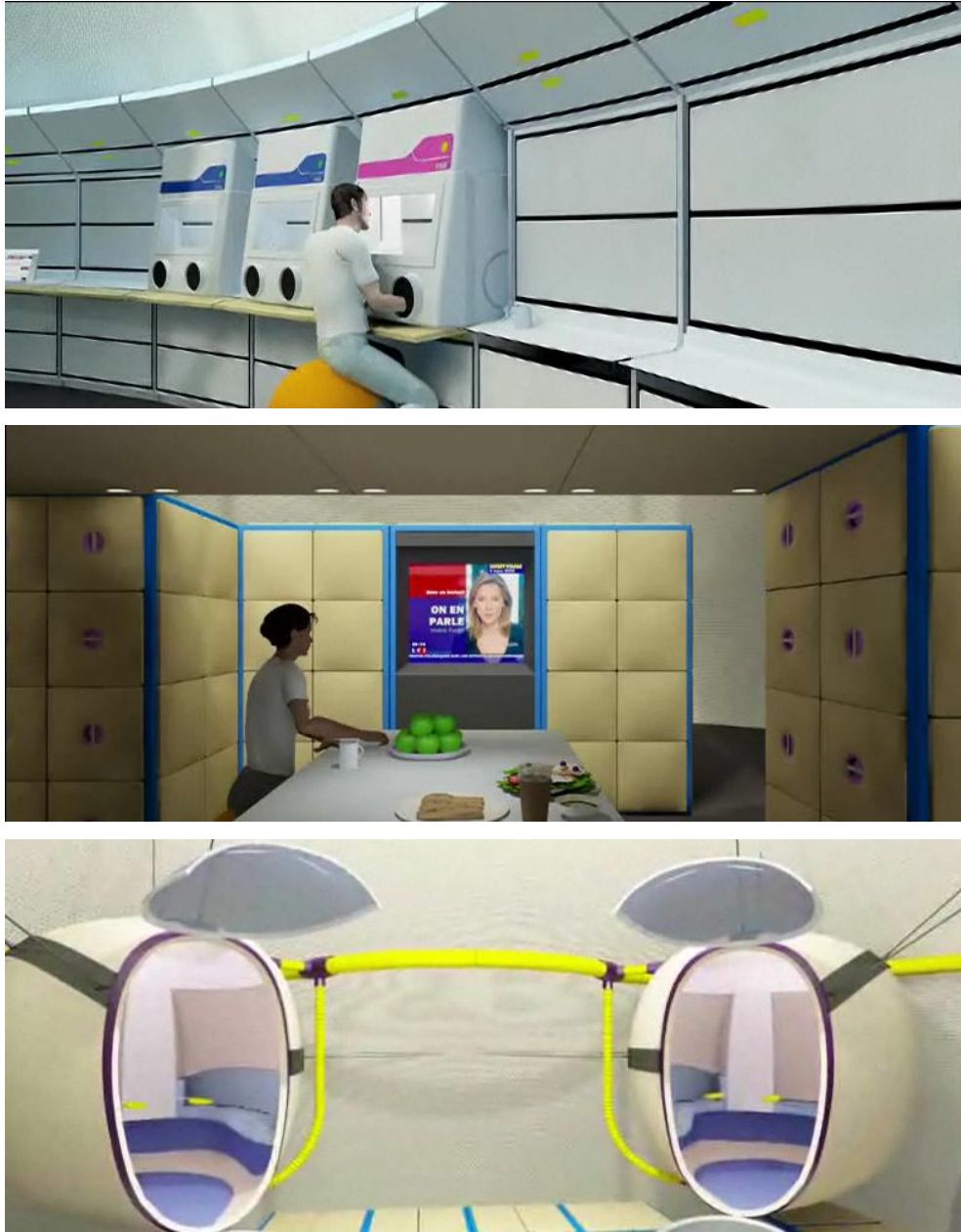
şişirilerek açıldığında ise 20 m'lik bir çapa ve 10 m'lik bir uzunluğa sahip olmaktadır.

Yapım Sistem ve Koruyucu Kalkan: 20 metre çap ve 10 metre yüksekliğe sahip olan Ay üssü projesi, şişme yapım sistemiyle kurulacaktır. Bileşenlerinin yeryüzünde üretilerek kargo roketiyle Ay yüzeyine gönderilmesi bakımından prefabrik yapım sistemleri sınıfına giren Ay üssü, biçim açısından iglo evlere benzemektedir. İglo şeklindeki habitatın sonlarında ise hava kilitleri bulunmaktadır.



Şekil 4.2 MoonBase 2 inşa süreci (The Prefabricated Lunar Architecture of the Saturn V Rocket, 2009)

MoonBase2 projesinin yapım süreci kargo roketin havalanmasının ardından modülün Ay yüzeyine indirilmesiyle başlamaktadır. (Şekil 4.2). Paketlenmiş halde 7,5X6 m ölçülerindeki modül vinç yardımıyla konuşlanacağı alana yerleştirilmekte ve modülün açılması ve şişirilmesi işlemine başlanmaktadır. Bu işlemin ardından, 20x10 m'lik boyuta ulaşan şişme strüktürün membran duvarları, Ay koşullarındaki ışınım etkilerine karşı bir önlem olarak regolit tabakası ile doldurulmaktadır. En son aşamada da silindirik hava kilidi modüllerinin Ay üssüne entegrasyonu yapılarak, inşa işlemi bitirilmektedir.

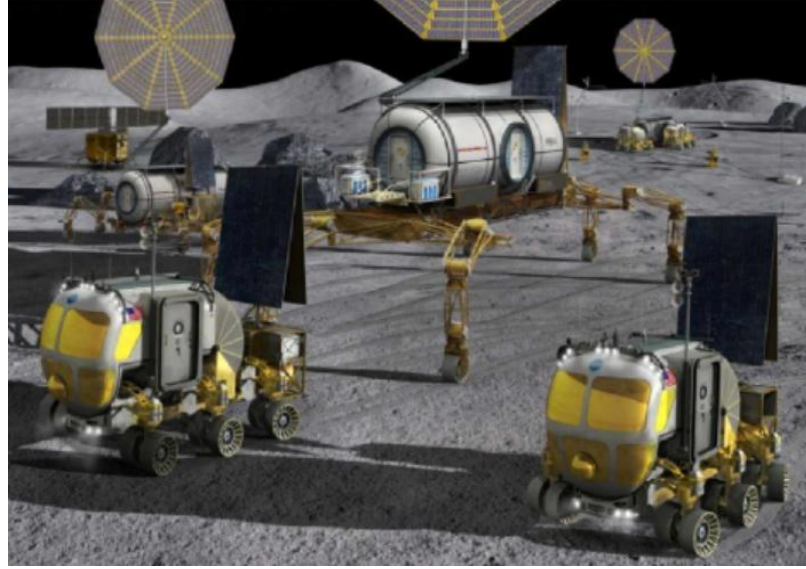


Şekil 4.3 MoonBase2 iç mekan görünüşleri (MoonBaseTwo, 2012)

Modülasyon ve Büyüme: Bütün bileşenleri dünyada üretilen habitatın, nakliye aşamasında daha az yer kaplaması ve inşa aşamasında yapının kullanım ihtiyacına göre değiştirilebilirliğinin ve esnekliğinin sağlanması amacıyla modüler bir yaklaşım ele alınmıştır. Gelecekteki gereksinimler doğrultusunda büyümeye olanak sağlayan düğüm noktalarını içeren MoonBase2, çizgisel bir modülasyon şemaya sahiptir ve gelecekteki büyüme faaliyetini yatay doğrultuda gerçekleştirecektir.

4.2 Constellation Mimarlık Ekibi – Ay Senaryosu 12.0

Tablo 4.2 Ay Senaryosu 12.0 ile ilgili genel bilgiler



Genel Bilgi

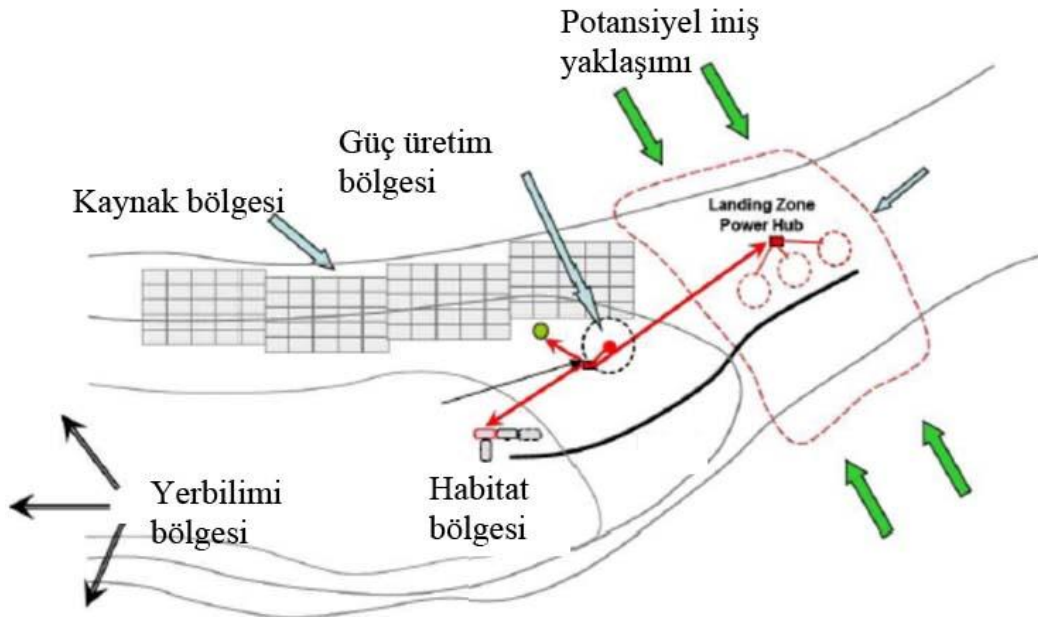
Tasarım Ekibi	Constellation Ekibi ve Ay Yüzey Sistemleri Yerleşimi Proje Ekibi
Tasarım Yılı	2009
Habitat Türü	Yüzeysel
Ölçüler	3 m çap ve 8.35m uzunlukta modüller
Habitat Formu	Yatay- Silindirik

Teknik Bilgiler

Yapı Malzemesi	Alüminyum-Lityum alaşımı
Yapım Sistemi	Konvansiyonel yapım sistemi
Modül Türü	Çoklu modül
Yatay Büyüme Potansiyeli	Yatay, radyal

Tasarım Fikri: Constellation Ekibi'nin, 2009 yılında Ay Yüzey Sistemleri Yerleşimi Proje Ekibi (Lunar Surface Systems Project Habitation Team) ile birlikte yürüttüğü Ay Senaryosu 12.0, hareketli ay üssü ve ay habitata olmak üzere iki temel modu desteklemek üzere tasarlanmış bir projedir. Çalışmadaki ana amaç, beklenen habitat özelliklerini ve gelecek vadeden habitat seçeneklerini belirlemek ve farklı habitat seçeneklerine yönelik uygulama ve kısıtlamaları araştırmaktır. (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

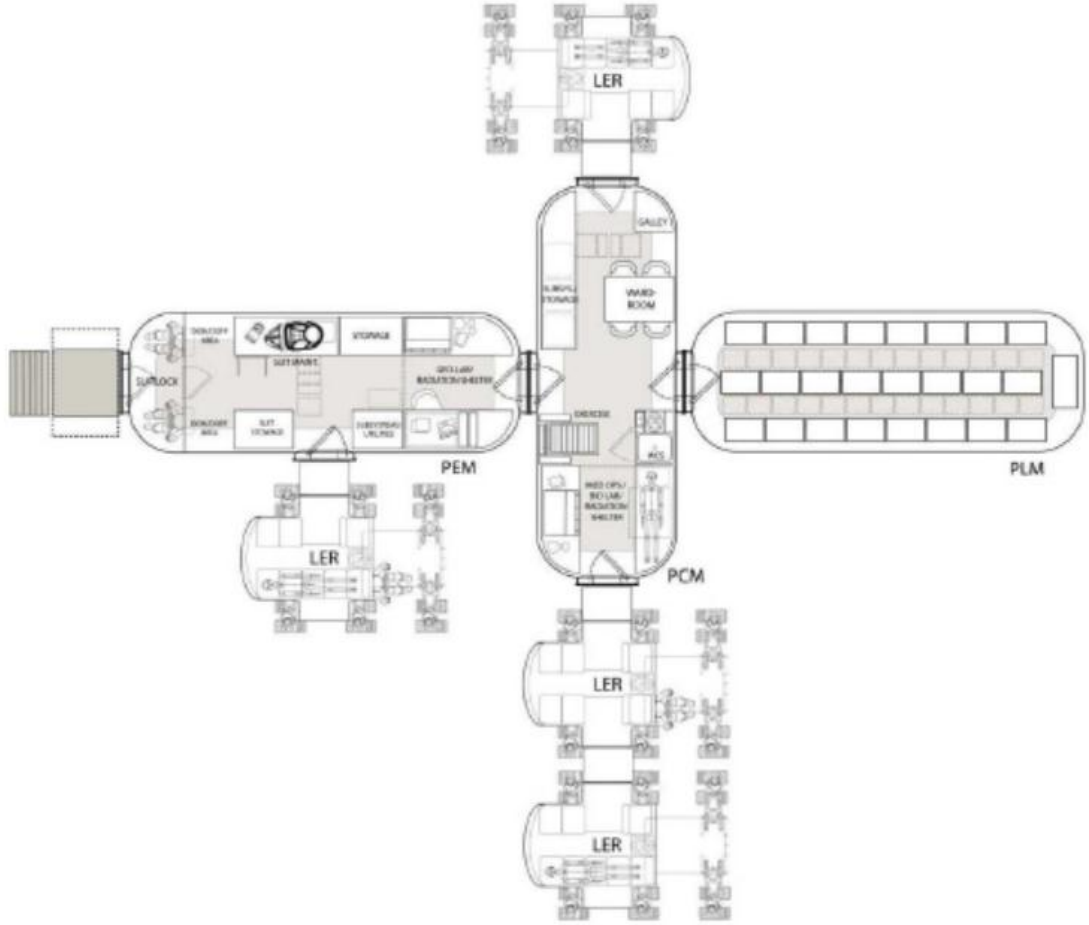
Ay yüzeyinde, çalışma yapılacak konumlar arasında geçiş yapılacak şekilde taşınabilir, basınçlı ve küçük habitatlar yapmayı amaçlayan ekip 'Ay senaryosu 12.0' mimari çalışmalarında projenin uygulanacağı alan olarak Ay kutuplarını tercih etmiştir. (Şekil- 4.7) Ay kutupları ay yerel kaynaklarının kullanılması ve dünya kaynaklarına bağılılığın azaltılması bakımından büyük önem arz etmektedir. (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)



Şekil 4.4 Vaziyet planı(Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

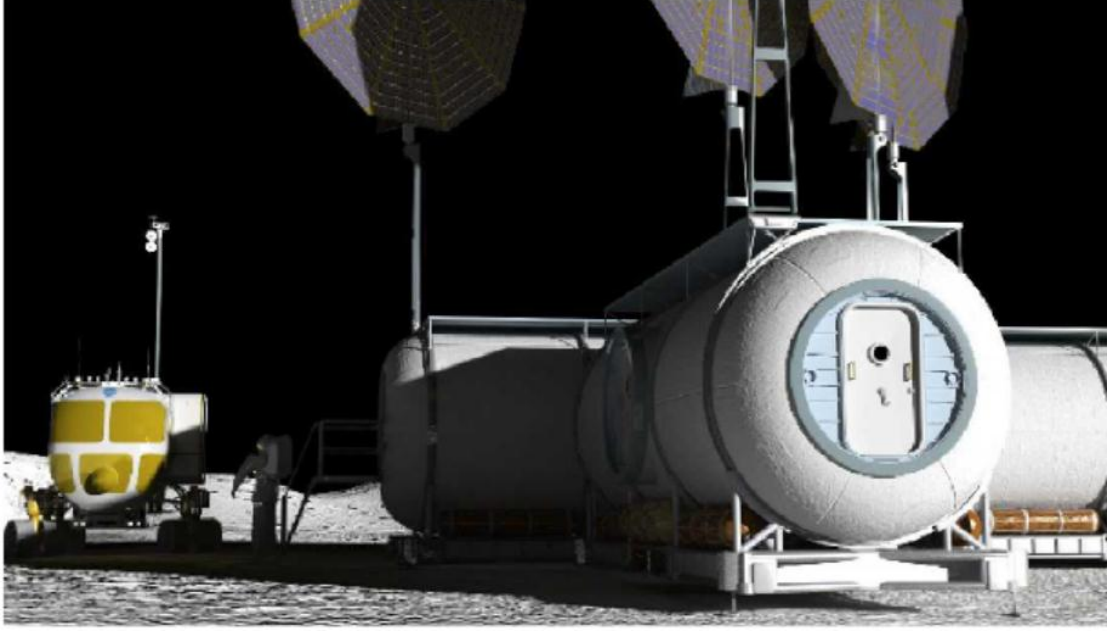
Senaryoda çok fonksiyonlu strüktürler, düşük ağırlıklı ve geri dönüşümlü materyaller, yerel kaynak kullanımı ve nakliye aşamasında kaplanan hacmi azaltmak üzere kurgulanmış paketleme sistemi üzerine yoğunlaşmıştır. Yerel kaynak

kullanımında Regolit, oksijen içeren bir malzeme olması bakımından bu projede de tercih edilen bir malzeme olmuştur.



Şekil-4.5 Plan(Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

Projenin yapılandırılmasında 3 farklı basınçlı habitat türü bulunmaktadır. (Şekil 4.5). Bunlar Basınçlı Çekirdek Modülü (PCM), Basınçlı Gezi Modülü (PEM) ve yer değiştirebilir Basınçlı Lojistik Modülleri (PLM)'dir. (Şekil-4.6) Toplam 53.35 m^3 basınçlı hacme sahip olan bu habitatlardan Basınçlı Çekirdek Modülü PCM çok yönlü genişlemeye olanak sağlayacak şekilde 4 adet kapı barındırırken, PEM gezi modülü ise 3 adet kapı barındırmaktadır. (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)



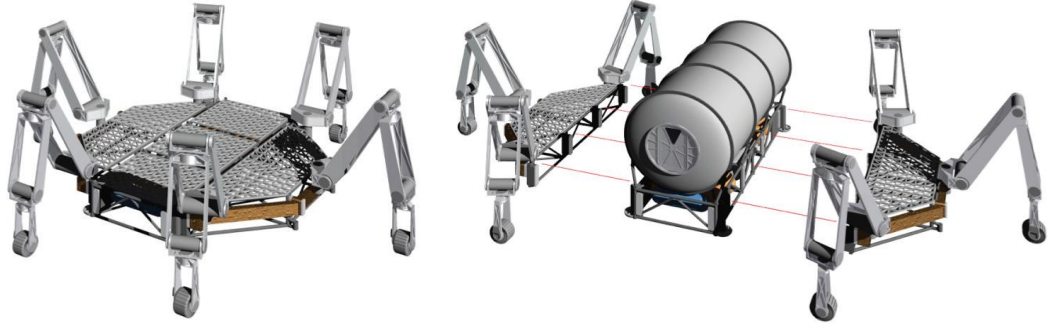
Şekil 4.6 Habiatat dış görünüm (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habiatat Ekibi, 2009)

Küçük hareketli ve yaklaşık 12 m^3 lük hacme sahip olan Ay Elektrik Araçları (LER) ve daha büyük hacme sahip yatay yönelimli silindirik habitat modülleri de senaryoya dahil olan diğer elemanlardır. (Şekil-4.7) Hareket sistemlerinden (LER) keşif araştırmaları ve acil durumlar için destek sağlayan hareketli araçlardır. Basınçlı olan bu araçlarda, habitatla doğrudan ara yüz oluşturan ve araç içi aktivitelerde astronotun basınçlı ortamdan habitata çıkışını sağlayan özel kapaklar bulunmaktadır. (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habiatat Ekibi, 2009)



Şekil 4.7 LER hareketli sistem konsepti (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habiatat Ekibi, 20

Bir diğerk robotik hareket elemanı ise All Terrain Hex Legged Extra Terrestrial Explorer (ATHLETE) adı verilen 6 ayaklı, ay yüzeyinde yürümeye programlı bir araçtır. Habitatla ulaşımı sağlayan ATHLETE'in bir diğerk görevi ise LER için potansiyel platform oluşturmastır. (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) (Şekil 4.8)



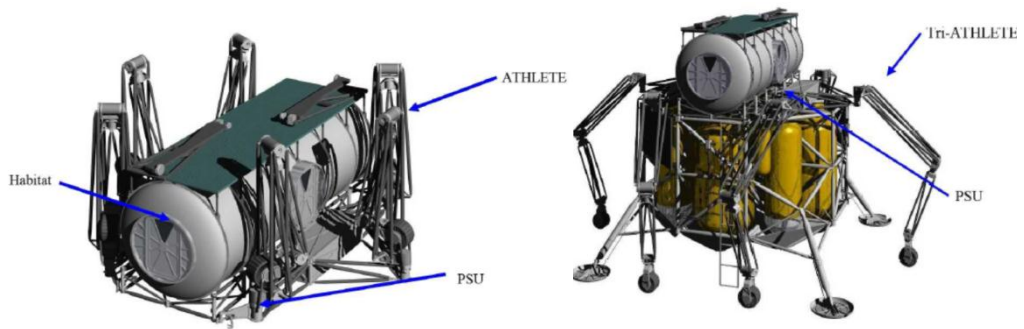
Şekil 4.8 ATHLETE aracı . (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

İnşa Süreci: Uzay aracı güvenli bir şekilde karaya oturduktan sonra, LSSP yüzey sistemleri devreye girerek ATHLETE hareket sistemiyle güverte yükünü boşaltmakta ve yaşama ve çalışma fonksiyonlarına hizmet edecek olan habitatları inşa etmektedir. (Şekil- 4.9)



Şekil- 4.9 İnşa süreci Şekil (Kennedy, Toups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

The Power and Support Unit- PSU adı verilen Güç ve Destek Birimi ise (Structural Support Unit- SSU) Strüktürel Destek Birimi ile entegre edilmiş güç sistemi içeren bir birimdir. SSU batarya bazlı veya yenilenebilir yakıt hücresi bazlı sistemleri barındırmak ve SSU modüler lojistik tanklar ve yükler, güç sistemi, iletişim ve diğer sistemleri birleştirmek ve ATHLETE için platform oluşturmak üzere tasarlanmış uzay kafes sistemlerdir. PCM habitat birimi ay yüzeyine konuşlandırıldığında Güç ve Destek Birimi (PSU) tarafından desteklenmekte ve güçlendirilmektedir. (Şekil 4.10)

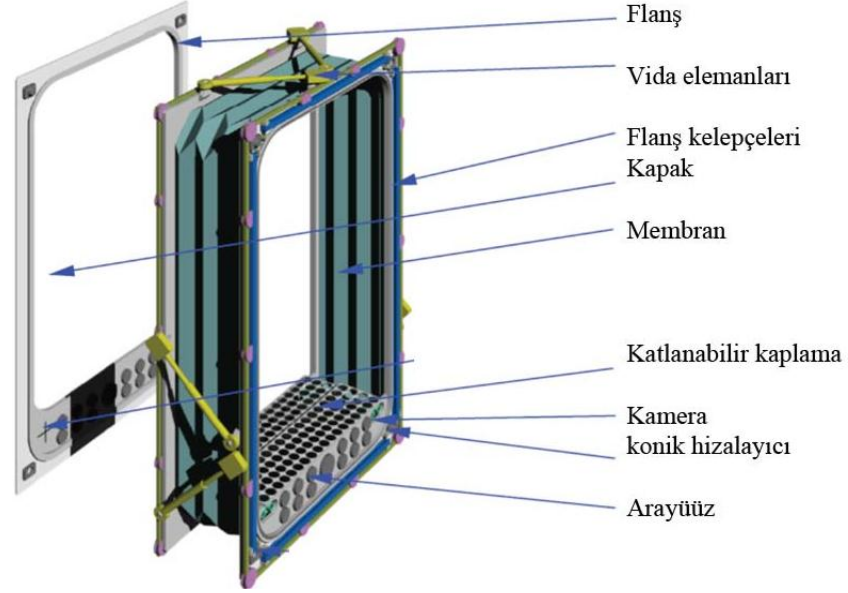


Şekil 4.10 ATHLETE ve PSU (Kennedy, Toups, Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

Işınım Kalkanı: Ay ortamındaki zorlu koşullar sebebiyle strüktürler ve araçlar mikrometeroit etkilerine, yüksek basınca, ani sıcaklık değişimlerine ve ışınlamaya dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Form ve Malzeme: Her habitat birimi ay yüzeyinde konuşlandırılacağı alana uyum sağlayacak ve nakliye aşamasında kargo deposuna sığacak şekilde tasarlanmıştır. Basınçlı habitat birimi iç hacim yarıçapı 3 m ve 8.35 m uzunluğunda alüminyum-lityum alaşımından oluşan yatay silindirik formda sert bir kabuktur. (Kennedy, Toups, Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) Lityumun hafifliği ve alüminyumun stabilitesi gibi özellikleri bir arada barındırması bakımından tercih edilen bu malzeme, yeni depolama ekipmanları ve fırınlar gerektiren kompozitlerin aksine halihazırdaki metal işleme ve fabrikasyon tekniklerini kullanmaktadır. Bu da bu alaşımı, uçak sanayisinde olduğu gibi uzay yapılarında da tercih sebebi yapmaktadır. (Winters, 2011)

Kapılar: Habitat birimleri içe açılan basınç destekli 101.6 x 152.5 cm ölçülerinde dış kapaklara sahiptir ve her kapakta marmon flanşlar bulunmaktadır. . (Kennedy, Troups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) (Şekil 4.11)



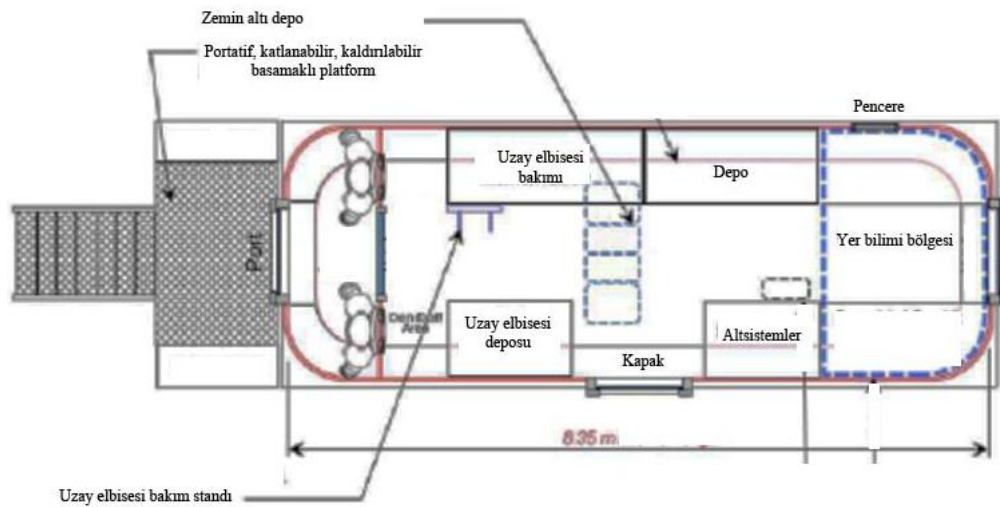
Şekil 4.11 :Habitat kapısı detay şeması, (Howe, Spexart, Troups, Howard, Rudisill ve Dorsey, 2010)

Isı Kontrolü: Habitat birimleri ayrıca aktif ve pasif ısı kontrol sistemleri barındırmaktadır. Aktif sistem 18 m²'lik radyatör içerirken, pasif sistem ise çok katmanlı yalıtım tabakaları içermektedir. (Kennedy, Troups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) (Şekil 4.12)

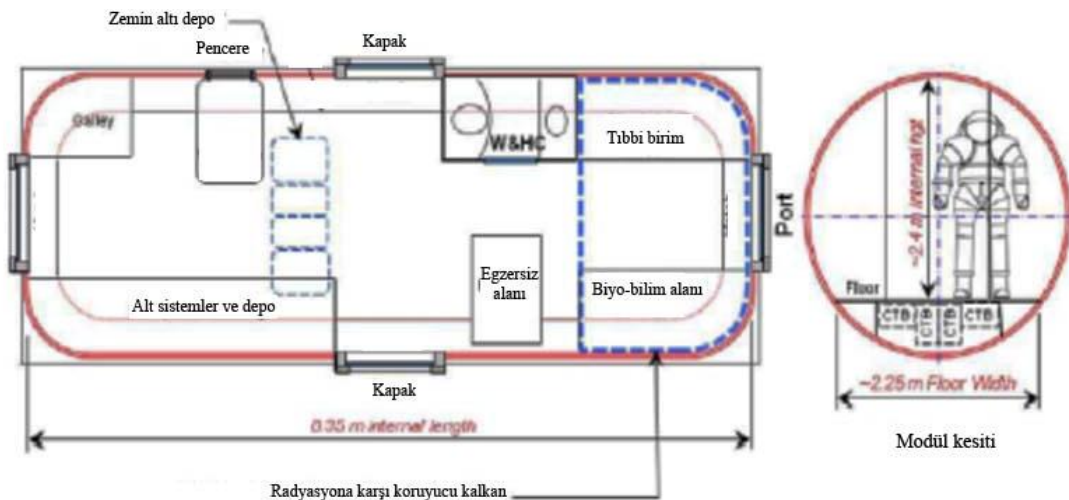


Şekil 4.12 Işınım kalkanı . (Kennedy, Troups , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

LER mürettebat için özel uyuma alanı, ışınım koruyucu kalkanı, tuvalet, iletişim sistemleri, depo, 2 suıt kapısı ve ay tozlarına karşı kontrol sistemleri içermektedir. PCM ise mürettebatın bilimsel çalışmaları, havacılık kontrolleri, çevresel koruma, atık ve hijyen bölümü, egzersiz, gardrop ve depo alanı gibi birimleri içermektedir. PEM ise laboratuvarlar, medikal birimler, iletişim birimleri ve depo alanlarını içermektedir. (Kennedy, Touns , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009) (Şekil 4.13 ve 4.14)



Şekil 4.13 PEM plan- (Kennedy, Touns , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)



Şekil 4.14 PCM plan (Kennedy, Touns , Rudisi ve LSS Habitat Ekibi, 2009)

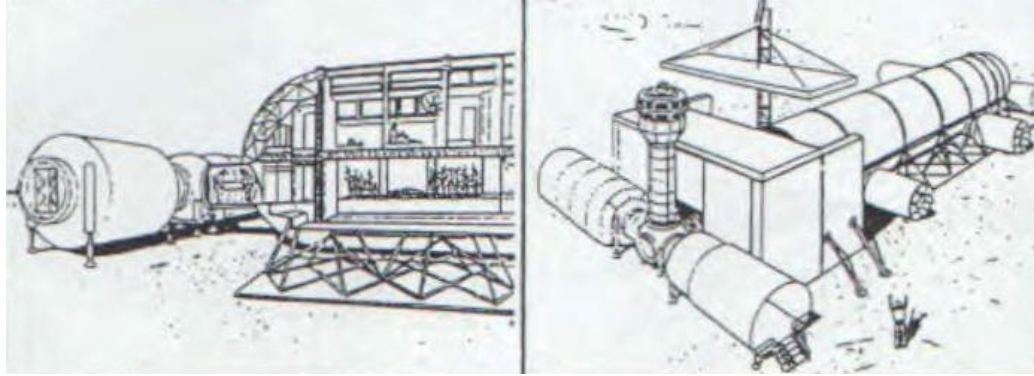
Modülasyon ve Büyüme: Proje, çekirdek oluşturan merkezi bir alan içermesi ve bu merkezden 4 yönde uzantıların yayılması sebebiyle modülerlik açısından radyal

bir şema özelliği göstermekte ve gereksinimlere bağlı olarak yatay yönde büyüme olanağına sahiptir. Projede merkezi alan ana fonksiyonel mekanları barındırırken, diğer yöndeki uzantılar ise ek fonksiyonların yer aldığı mekanlardır.

Ay senaryosu 12.0 projesinde sergilenen bu çalışmalar, final ürünleri olmamakla birlikte gelecekte yapılacak olan habitatlar için bir alt yapı oluşturma amacı taşımaktadır. Senaryo hedeflerine de bağlı olarak, gelecekteki çalışmalarda, Senaryo 12.0 ve öncesinde uygulanan senaryo stratejilerinin biri veya kombinasyonunun uygulanmasının yapılacak projeye önemli ölçüde kolaylık ve verim kazandıracığı düşünülmektedir.

4.3 NASA Şişme Ay Habitati – 1992

Tablo 4.3 NASA Şişme Ay Habitati- Genel Bilgiler (Kronenburg, 2003)



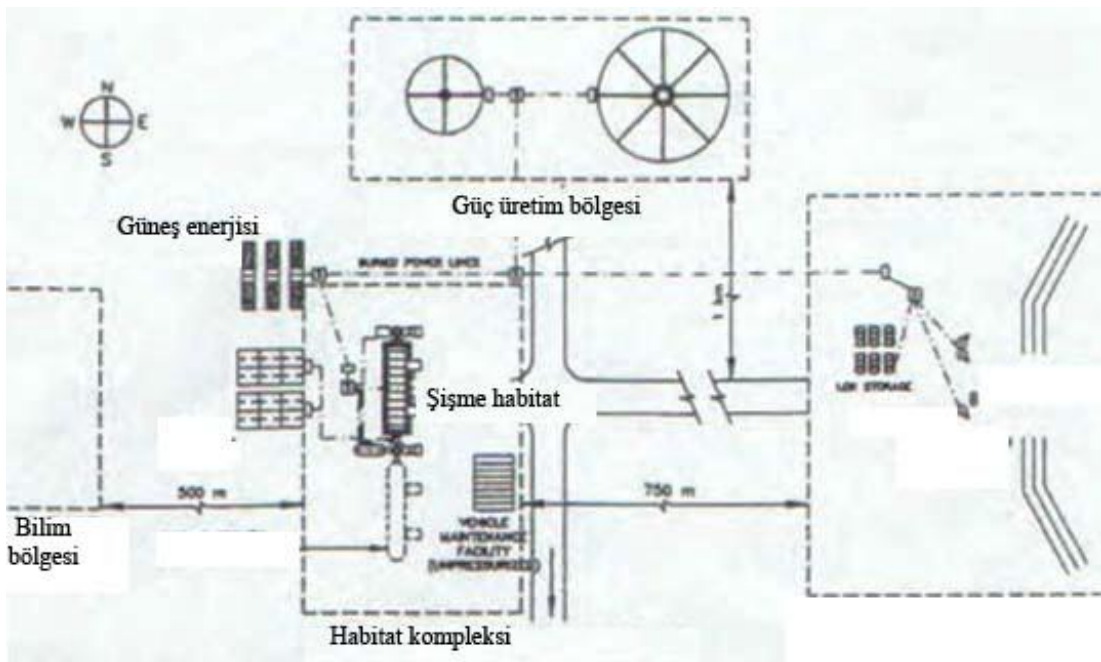
Genel Bilgi

Tasarım Ekibi	Mimar Kriss Kennedy ve Ekibi
Tasarım Yılı	1987- 1995
Habitat Türü	Yüzeysel
Ölçüler	8 metre çap, 45 m uzunluk
Habitat Formu	Silindirik

Teknik Bilgiler

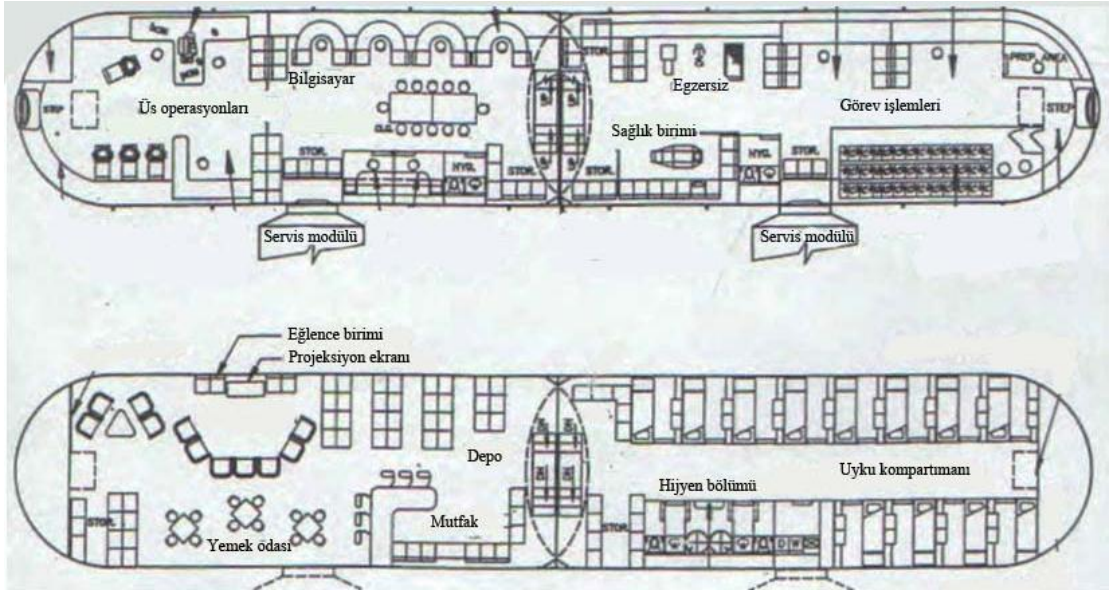
Yapı Malzemesi	Ana taşıyıcı:Şişme membran , ikincil taşıyıcı: magnezyum alaşımından yapılmış modüler uzay kafes
Yapım Sistemi	Şişme yapım sistemi&rijit yapım sistemi- Karma
Modül Türü	Çoklu modül
Isı, Işınım ve Mikrometeorit Yalıtımı	Yerel kaynak kullanımı- Regolit ve mineralden yapılmış paneller
Yatay Büyüme Potansiyeli	Yatay, çizgisel büyüme

Tasarım: 1987-1995 yılları arasında Mimar Kriss Kennedy liderliğinde yürütülen Şişme Ay Habitatı projesinde, tasarım ekibinden, böyle bir yapımda ortaya çıkacak zorlukları göz önünde bulundurarak yenilikçi çözüm üretmeleri istenmiştir. Uzaydaki çevresel koşullar da göz önünde bulundurularak, şişme yapım sistemlerinin, bu tür yapılar için uygunluğu keşfedilmiş ve bir çok prototip ve taslak çalışmasından sonra bu sistemin uygulanmasına karar verilmiştir. Bunun ilk örneklerinden olan 1965 yılında tasarlanan NASA Langley Araştırma Merkezi Şişme Ay Barınak Modülü bu çalışmaya ilham veren bir proje olmuştur. (Kronenburg, 2003) (Şekil 4.18)



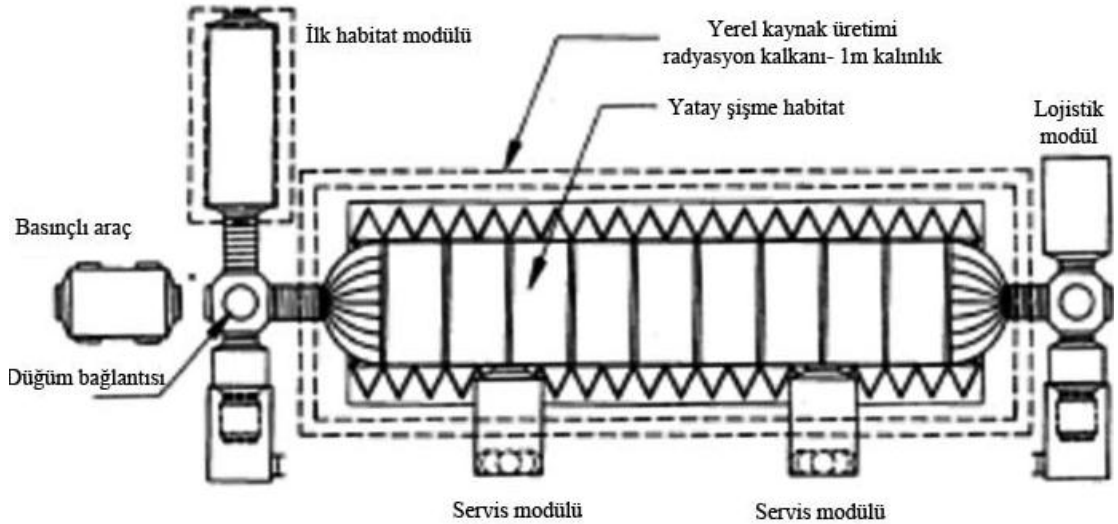
Şekil 4.15 TransHab vaziyet planı (Kronenburg, 2003)

Habitatın iç mekan tasarımında mürettebatın psikolojik rahatlığı da göz önünde bulundurularak, uzun süreli kullanıma uygun ve kullanıcının kendi gereksinimlerine göre değiştirilebilen esnek bir düzenlemeye gidilmiştir. 24 kişilik kapasiteye sahip olan habitat 2.44 metrelik tavan yüksekliğine sahip olmakla birlikte, ay ortamının yerçekimsiz koşullarında bu yüksekliğin yeterli olup olmayacağıyla ilgili kesin bir çalışma yapılmamıştır. Habitat iç mekânı, fonksiyonlara göre bölümlere ayrılmaktadır.



Şekil 4.16 Plan (Kronenburg, 2003)

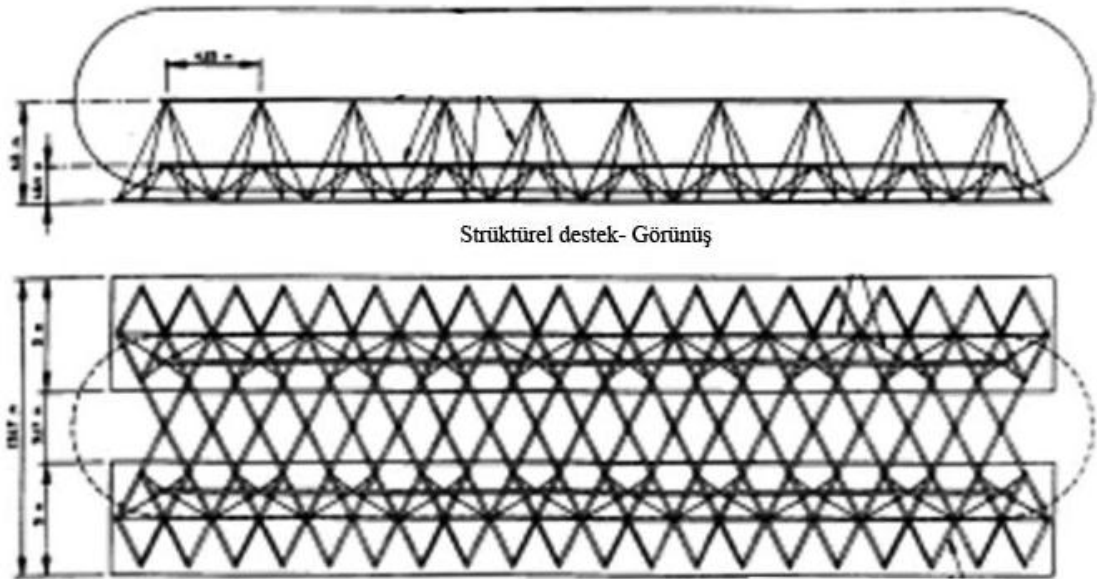
Mürettebat, hareketli modüler mobilyalar ve farklı renk ve tasarımlarda değişebilen bölmeler içeren 12 m^3 lük hacimlerde konaklamaktadır. Banyo ve çamaşır gibi birimleri de içeren bu hacimlerde ayrıca mutfak, depo ve dinlenme alanı gibi mekanlar da mevcuttur. (Şekil 4.16). (Ganapathi, Ferrall ve Seshan, 1993). Konaklama modülü ayrıca nükleer ve güneş enerji santrallerini, oksijen üretim birimini ve araç bakım ünitelerini de içermektedir. (Kronenburg, 1995)



Şekil 4.17 Habitat plan (Ganapathi, Ferrall ve Seshan, 1993).

Modülasyon ve Büyüme: Bütün bileşenleri dünyada üretilen habitatın, nakliye aşamasında daha az yer kaplaması ve inşa aşamasında yapının kullanım ihtiyacına göre değiştirilebilirliğinin ve esnekliğinin sağlanması amacıyla modüler bir yaklaşım ele alınmıştır. (Şekil 4.17). Habitat kompleksi mikrometeorit etkilerine karşı koruyucu kalkan içeren ve inşa aşamasında mürettebat için güvenli bir sığınak ortamı oluşturan daha küçük habitat modüllerini içermektedir. Bunlardan müstakil servis modülleri, yaşam destek ünitelerini ve gelecekteki gereksinimler doğrultusunda büyümeye olanak sağlayan düğüm noktalarını içermektedir. Çizgisel bir modülasyon şemasına sahip olan habitat, gelecekteki büyüme ve kapasitesini artırma faaliyetini yatay doğrultuda gerçekleştirme imkanına sahiptir.

Form: Habitat formunun oluşturulmasında ay ortamı zorlu koşulları, inşa teknikleri ve yapılması amaçlanan aktiviteler, ana unsurlar olmuştur. Buna göre bütün bu faktörler göz önüne alınarak silindir geometrisi seçilmiş ve 8 metre çap, 45 metre uzunluğa sahip, 2145 m² alan kaplayan silindirik tüp formunda habitat kompleksi tasarlanmıştır. (Kronenburg, 1995)



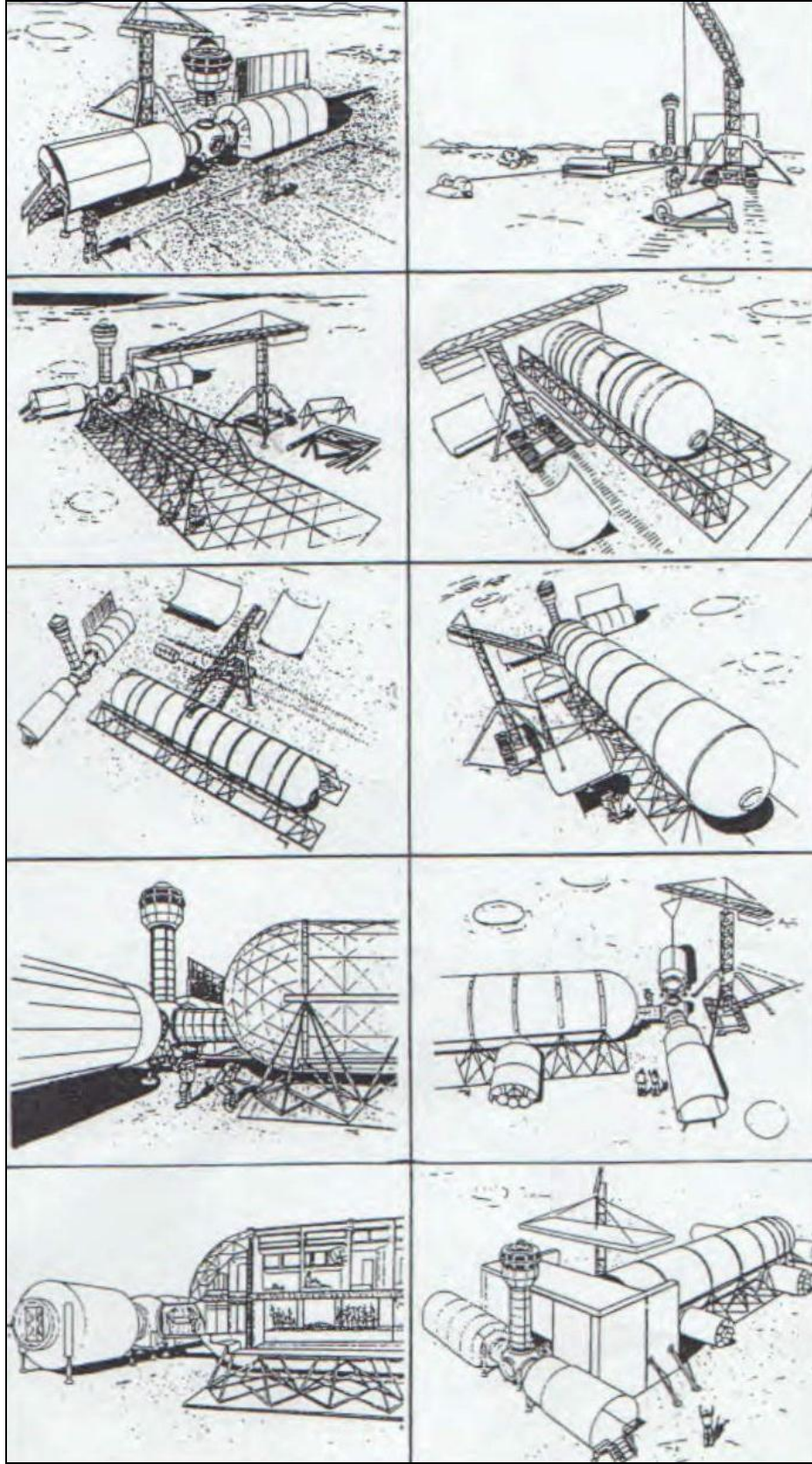
Şekil 4.18 Strüktürel destek planı (Ganapathi, Ferrall ve Seshan. 1993)

Taşıyıcı Sistem: Kriss Kennedy yaptığı şişme ay habitatı tasarımında, silindirik pnömomatik bir kabuktan oluşan ana taşıyıcı sistem ile yatay destek sağlayan bir döşeme ve kemer formunda uzay kafes strüktürünü içeren ikincil taşıyıcı sistem

üzerine çalışmıştır. (Şekil 4.18). Buna göre şişme bir kabuk ve sert bir taşıyıcı sistem içermesi sebebiyle karma yapım sistemleri sınıfına giren habitatın pnömatik kabuğu, dışta termal ve içte su geçirimsiz tabakadan oluşmakta ve magnezyum alaşımından yapılmış modüler uzay kafes sistem şişme kabuğa 40 farklı noktadan bağlanmaktadır. İkincil strüktürün görevi ise iç ekipmanı, mobilyaları ve mürettebatın yüklerin taşımak ve ayrıca basınç kaybı durumunda şişme strüktürü desteklemektir. (Ganapathi, Ferrall ve Seshan, 1993)

Koruyucu Kalkan: Ay ortamındaki ani sıcaklık değişimleri gün içinde sıcaklığı depolayacak ve gece boyunca sıcaklığı yayacak olan güneş panelleri ve güneş radyatörlerini gerektirmektedir. Ancak bu durum, bu elemanların uzay ortamındaki mikrometeorit etkilerine karşı nasıl korunacağı problemini gündeme getirmektedir. Bunun için önerilen çözümlerden birincisi, ay regoliti doldurulmuş tüplerin koruyucu kalkan vazifesi sağlayacak şekilde habitatın çevresini sarması, diğeri ise 1 metre kalınlığında mineraller ve regolitten yapılmış panellerin üretilmesidir. Kabuğun dışında yapılacak olan çerçeve sisteme monte edilmesi düşünülen bu panellerin ayrıca gölge elemanı olarak da kullanılması planlanmaktadır.

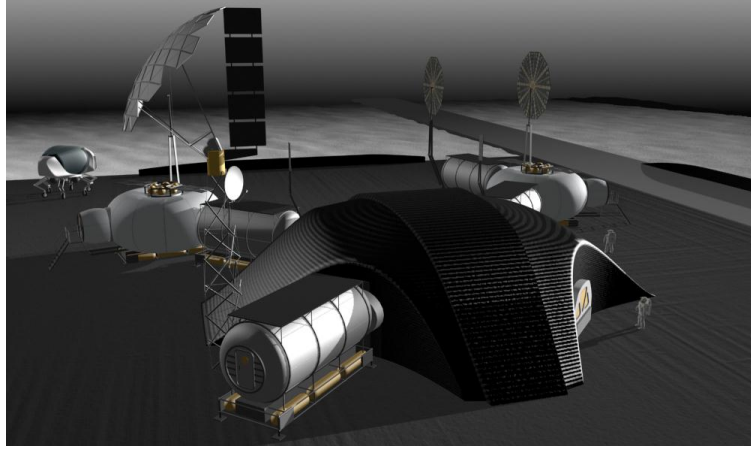
İnşa Süreci: Habitat yapım süreci habitatın kurulacağı alanın tesviye edilmesinin ardından, alana, destek strüktürüne gelen yüklerin yayılacağı bir hasırın serilmesiyle başlamaktadır. İnşa edilen destek strüktürünün üzerine şişme kabuk yerleştirilmekte ve 40 adet farklı bağlantı noktasından bu strüktüre montajı gerçekleştirilmektedir. Şişme kabuğu şişirme işleminin ardından ise habitata hava kilitleri ve servis modülleri yerleştirilmektedir. (Kronenburg, 2003) (Şekil 4.19)



Şekil 4.19 Habitat inşa süreci (Kronenburg, 1995)

4.4 SinterHab

Tablo 4.4- SinterHab genel bilgiler



Genel Bilgi

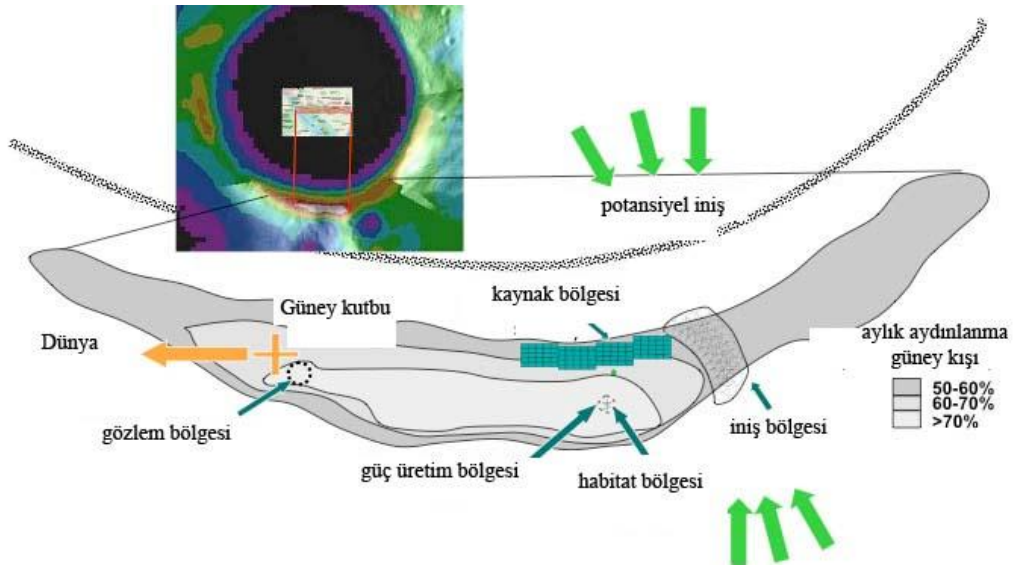
Tasarım Ekibi	Tomas Rousek, Katarina Eriksson ve Ondrej Doule
Tasarım Yılı	2011
Habitat Türü	Yüzeysel
Habitat Formu	Silindirik ve kubbesel

Teknik Bilgiler

Yapım Malzemesi	Ana taşıyıcı:Şişme membran , sinterlenmiş regolit tabakası
Yapım Sistemi	Prefabrik (şişme) & Ay kaynak kullanımı
Modül Türü	Çoklu modül
Isı, Işınım ve Mikrometeorit Yalıtımı	Yerel kaynak kullanımı-Sinterlenmiş regolit
Yatay Büyüme Potansiyeli	Yatay, radyal büyüme

SinterHab Projesi Ay Güney Kutbu'nda uygulanmak üzere tasarlanmış, Yerel kaynak kullanımını ve biyorejeneratif yaşam destek sistemini içeren bir çalışmadır. (Şekil 4.24). Prefabrik Yapım Sistemi ve Ay Kaynaklarıyla Yapım Sistemi'nin kombinasyonundan oluşan modül, katlanıp açılabilir membran strüktür ve koruyucu kalkan içeren sinterlenmiş regolit tabakasından oluşan önceden entegre edilmiş elemanların birleşiminden meydana gelmektedir. SinterHab projesinin amacı kapalı döngü biyorejeneratif sistemli, kendi kendine yetebilen bir kompleks yaratmak ve Ay yerel kaynak kullanımını daha verimli hale getirmektir. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Çekirdek modülü 4-8 kişilik kapasiteye sahiptir ve yapılacak araştırmalar için kullanılmak üzere tasarlanmış donanımlı laboratuarlara sahiptir. Ayrıca SinterHab biyorejeneratif yaşam destek sistemlerinin gelişimini de sağlayan deneysel bir bahçe de içermektedir. (Şekil 4.20)



Şekil 4.20 Vaziyet planı- (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

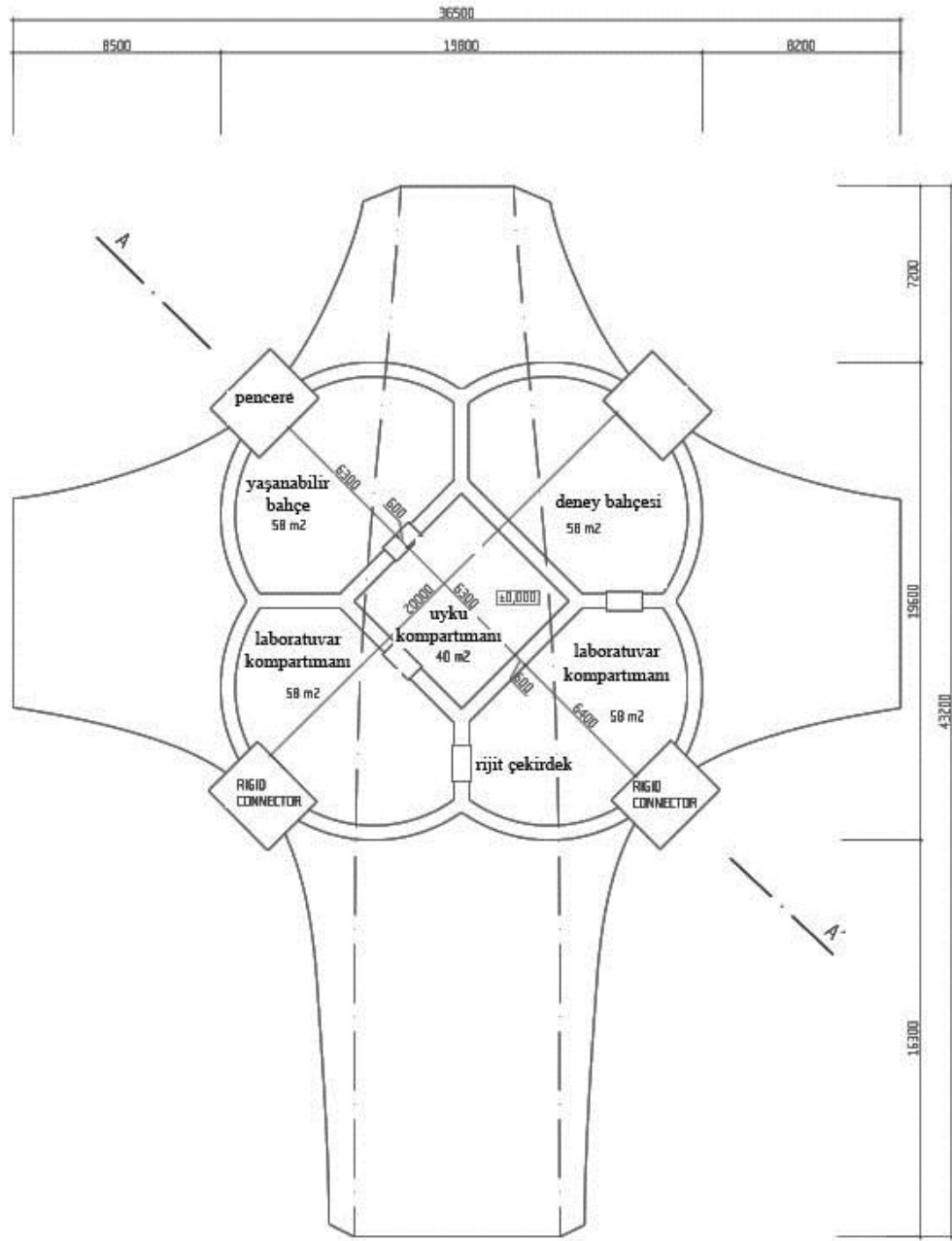
NASA'nın diğer ay habitatı projelerinde olduğu gibi bu proje için de Ay Güney Kutbu'nda Shackleton Krateri'nde bir alan düşünülmüştür. (Şekil 4.20). Bu konum bilimsel araştırmalara ve uygulamalara olanak sağlamakta ve devamlı güneş ışığı almaktadır. Ay Güney Kutbu'nun habitatın konumlandırılacağı alan olarak

seçilmesinin bir diğere sebebi ise dünyaya dönüşü kolaylaştıran bir noktada olması ve dünyayla bağlantıda esneklik sağlamasıdır. Ayrıca buradaki regolit tabakasının olgun ve sıkı olması ve bol hidrojen içermesi de yerel kaynak malzemesinin kullanılmasında avantaj teşkil etmektedir. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

SinterHab formunun ve geometrisinin belirlenmesinde koruyucu kalkan, robotik inşa süreci ve atmosferik basınç gibi faktörler etkili olmuştur.

5 kompartıman birbirinden kapaklarla ayrılmakta ve acil durumlara karşı en az iki yönde tahliye olanağı sağlanmaktadır. Tavanlar sinterlenmiş regolit ile yapılmış rijit tonozlarla güçlendirilmiştir.

Işınım Kalkanı: SinterHab'ın dışındaki regolit tabakası mikrometeroit ve ışınım etkilerine karşı koruyucu kalkan görevi yapmaktadır. Işınlıma karşı gereksinim duyulan regolit katmanlarının kalınlığı 1.5-3 m arasında değışkenlik göstermektedir. SinterHab için önerilen duvar kalınlığı ise 2.5 m olmakla birlikte en düşük kalınlıklar modülün farklı kompartımanları arasındaki rijit bağlantı noktalarında görülmektedir. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

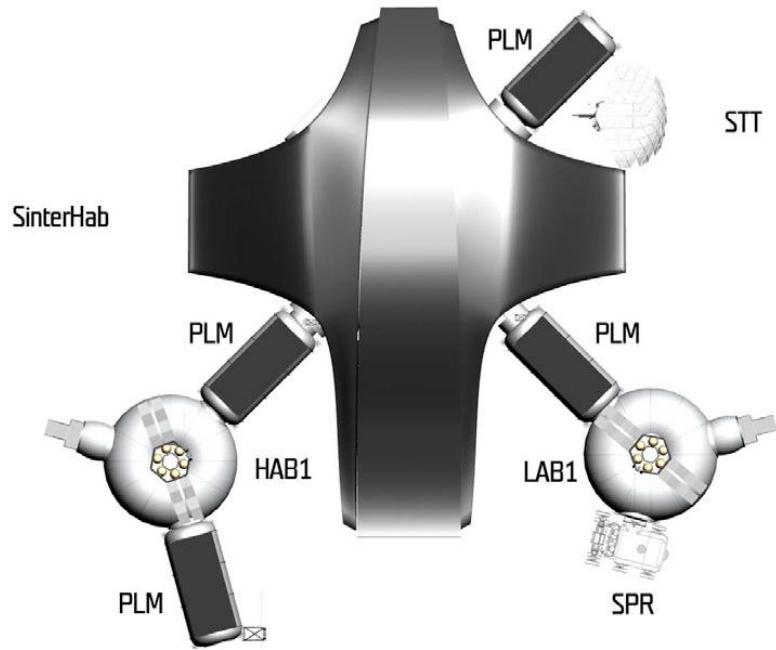


Şekil 4.21 SinterHab plan (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Isı Kontrolü: Ay yüzeyindeki sıcaklık -233 ile 107 derece arasında değişkenlik göstermektedir. Kutup bölgeleri 1.60 derecelik güneş açısına bağlı olarak daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Kutup kraterlerindeki bu ani değişiklik habitat strüktürü üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Regolit ve vakum bu durumlar için iyi bir yalıtkan görevi görmektedir. SinterHab, sıcaklığı dağıtması bakımından ısı tamponu olarak sinterlenmiş regolit kullanmakta ve duvarlarda orta katmanlarda ek ısı yalıtım

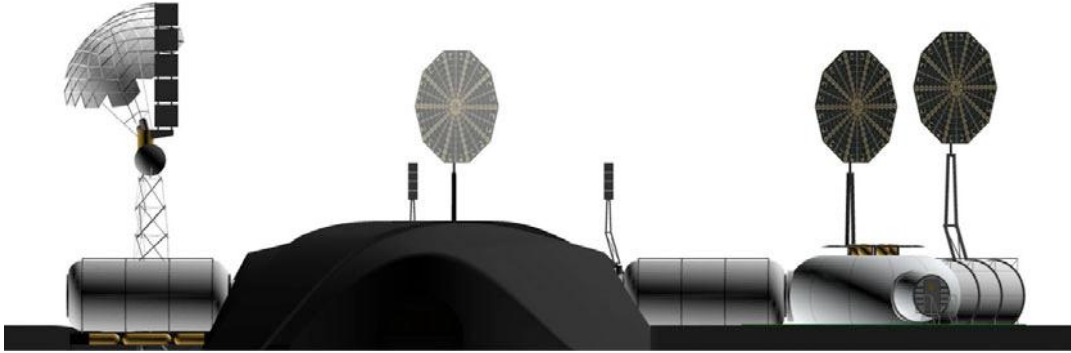
malzemesi olarak regolit tabakası kullanmaktadır. Bu pasif ısı kontrol sistemi, aktif ısıtıcılarla da kombine edilmektedir. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Tasarım Fikri: SinterHab modülü laboratuvarlar ve ay yüzeyi konaklamaları için yeni teknoloji gelişimleri üzerine çalışan atölye birimlerini, seraları, biyorejeneratif yaşam destek sistemlerini ve deneysel tarım alanlarını içermektedir. SinterHab modülünün PLM ile HAB1 ve LAB1' e bağlanması önerilmektedir. Dış laboratuvarlar, güç kaynakları ve küçük barınaklar çekirdek modülünün etrafında yer almaktadır. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012) (Şekil 4.22).

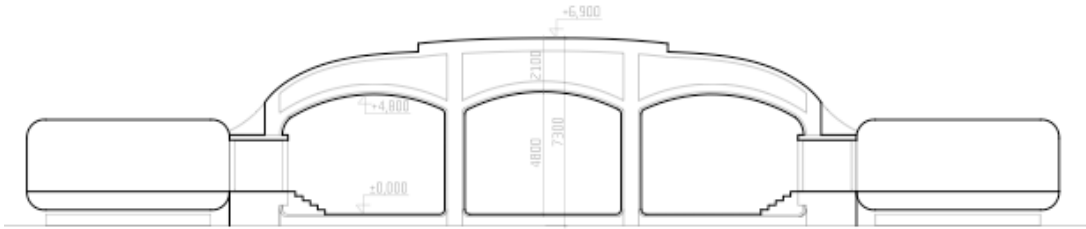


Şekil 4.22 SinterHab üstten görünüm (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Farklı fonksiyonlar gereksinimler doğrultusunda gruplara ayrılmış ve ona göre konumlandırılmıştır. Örneğin gürültülü çalışma mekanları uyku kompartımanlarından ayrı tutulmuştur. Mürettebatın 4 aydan uzun süren görevleri için gereksinim duyulan hacim kişi başına 20 m^3 iken SinterHab'da bu rakam 120 m^3 e çıkmaktadır. Tavan yüksekliği yerçekimi azlığı sebebiyle dünyadakine oranla daha fazla olmak zorundadır. Bu yüzden SinterHab'de tavan yüksekliği 4 m olarak düşünülmüştür. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012) (Şekil 4.23).

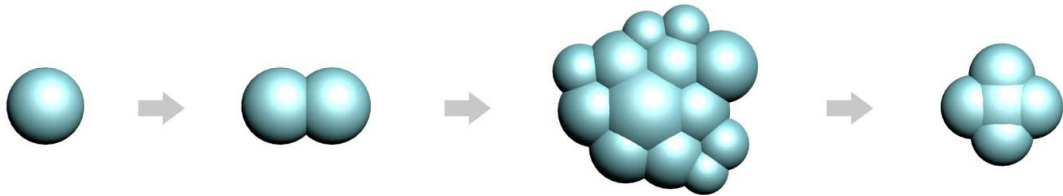


Şekil 4.23 SinterHab görünüş- (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)



Şekil 4.24 SinterHab kesit (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

İç mekandaki genel düzenleme kabarcıkları oluşturan köpük formundan esinlenerek tasarlanan 5 ana kompartımanı içermektedir. (Şekil 4.25).

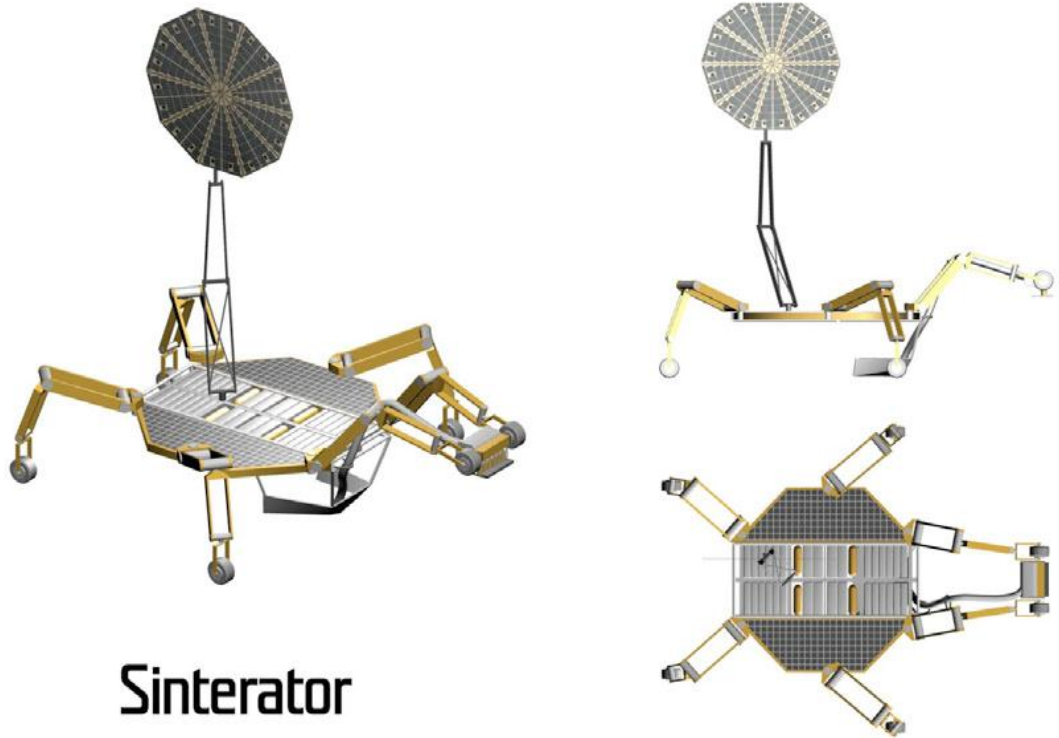


Şekil 4.25 SinterHab köpük formu (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Çalışmada özellikle yerel kaynak kullanım yöntemleri, ATHLETE aracı kullanımı ve membran strüktür sistemi üzerine yoğunlaşmıştır.

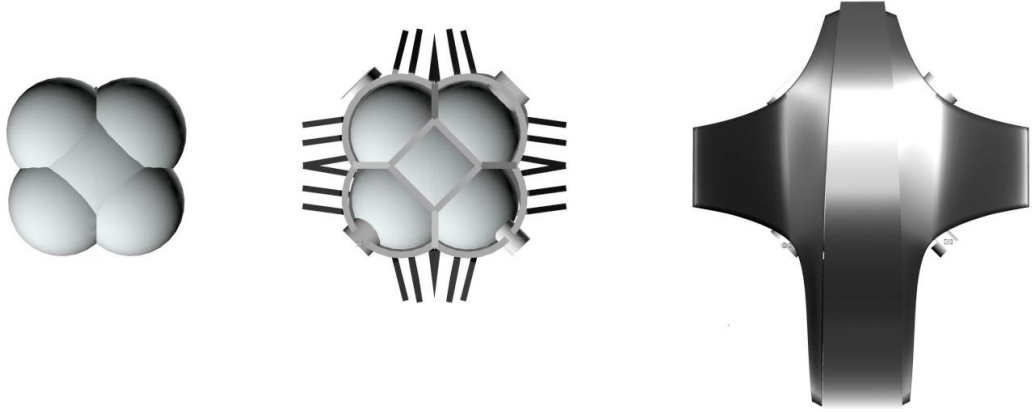
İç mekan TransHab Projesi'nden türetilen şişme bir membran tabakasıyla kaplıdır. Amaç bütün bu prensipleri kombine eden bir çözüm üretmek ve gelecek 20-30 sene içinde uygulanabilir hale getirmektir.

Mikrodalga Sinterleme: NASA'nın Keşif Teknolojisi Geliştirme Programı ay yüzeyi için yerel kaynak kullanım teknikleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Çalışmalar mikrodalga sinterleme ile yapı malzemesi üretimi ve regoliti agrega olarak kullanarak Ay betonu üretimi gibi konulara odaklanmıştır. Sinterlenmiş regolit herhangi bir ek malzemeye ihtiyaç duymaması ve üretim sürecinde güneş enerjisinin verimli olarak kullanılabilmesi sebebiyle umut verici bir malzeme olmuştur. SinterHab projesinde de inşa yöntemi ay regolitinin sinterlenmesine dayanmaktadır. Bu aşamada regolit işlenmekte, yerleştirilmekte, ve NASA ATHLETE aracı ve Chariot uzaktan kumandalı robotik sistemlerle sinterlenmektedir. ATHLETE aracına monte edilen ve Sinterator adı verilen bir cihazla gerçekleştirilen sinterleme işlemi sonrasında duvarlar, tonoz ve diğer mimari öğeler şekillendirilmekte ve yüksek mukavemetli, rijit bir strüktür yaratılmaktadır (Şekil 4.26) (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

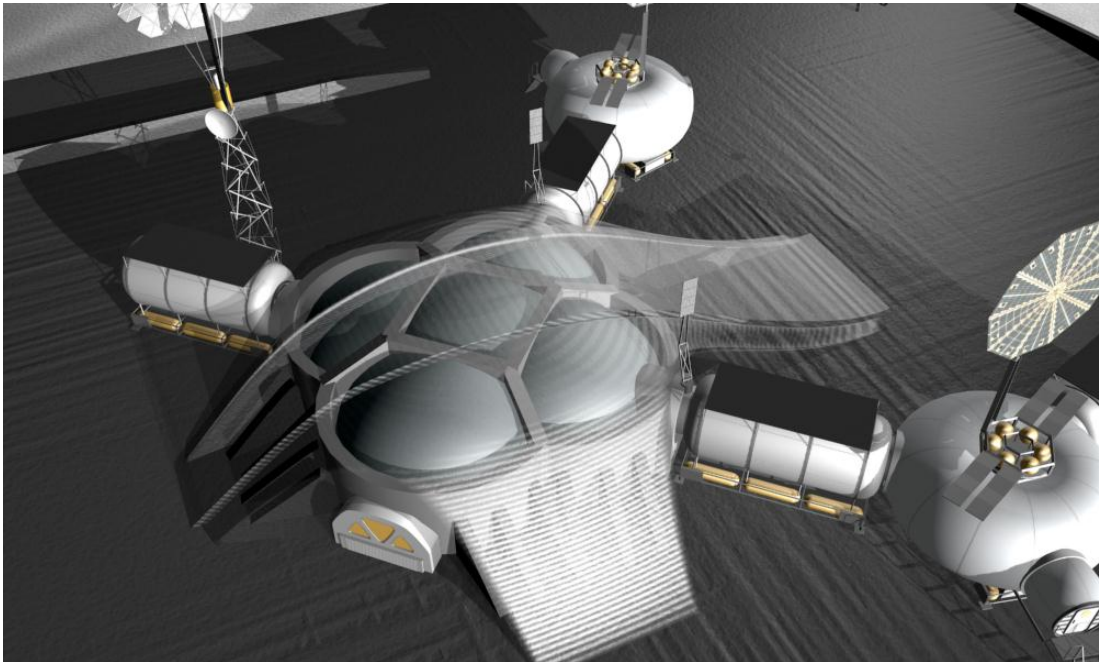


Şekil 4.26 Sinteratör (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Sinterlenmiş regolitin düşük gerilme mukavemeti vardır. Dolayısıyla yatay ve çekme kuvvetlerin azaltılması gerekmektedir. Bu yüzden dış yüzeydeki basınç sinterlenmiş duvarlar tarafından tutulmakta ve basınç kaburgaları tarafından desteklenmektedir. (Şekil 4.27)



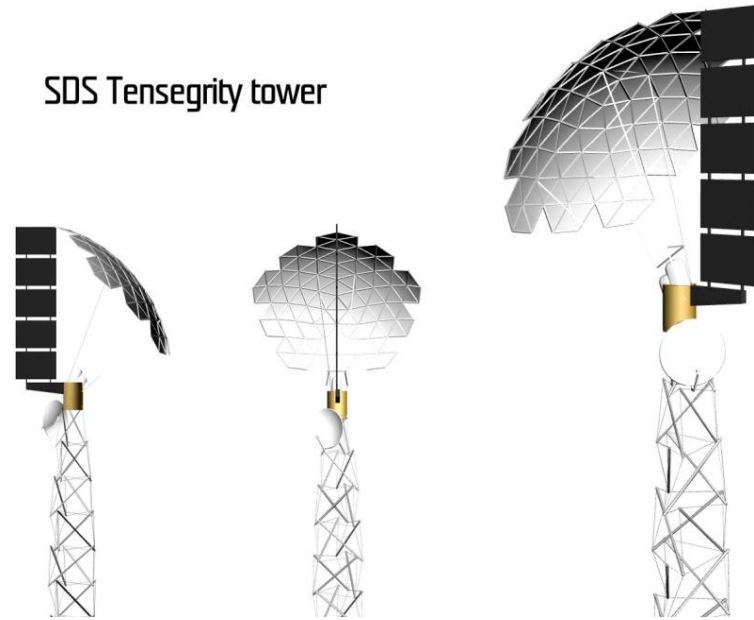
Şekil 4.27 SinterHab inşa süreci (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)



Şekil 4.28 SinterHab görünüşü (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

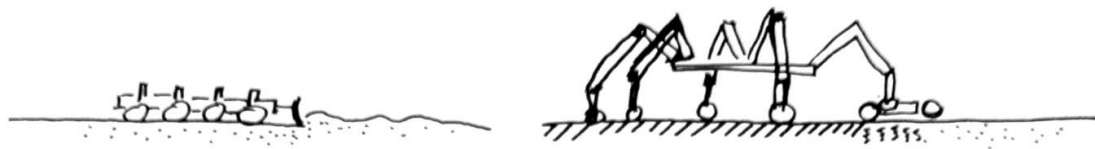
Nakliye: SinterHab'in Ay Kutup bölgelerine 17 tona kadar yük taşıma kapasitesine sahip Kargo Altair ile nakliyesi sağlanacaktır. Habitatın nakliye aşamasında depolanacak diğer elemanlar 2 adet tri-ATHLETE, İkmal ve Güç Birimi (SPU), 4 rijit çekirdek, 4 rijit membran ve sinterator başlığıdır. Ön entegre

elemanları ise pencere modülleri, 4 rijit çekirdek, kapaklı 4 rijit bağlayıcı, Dinamik Güneş Sistemi (Solar Dynamic Systems-SDS) ve Nükleer fizyon reaktörüdür.



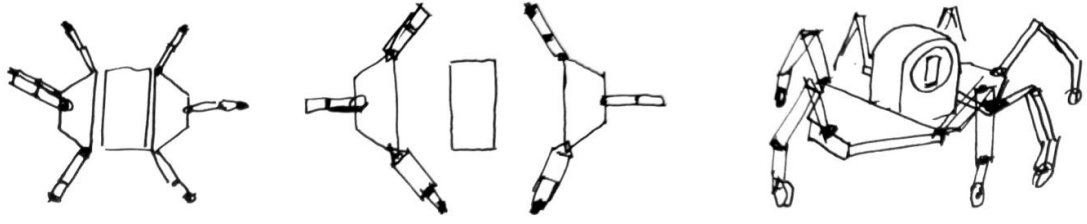
Şekil 4.29 Güneş Dinamik Sistemi (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

İnşa Süreci: İnşaatın yapılacağı ay yüzeyi buldozer aracıyla düzeltilmekte ve pürüzsüz ve güçlü bir yüzey elde etmek için Sinterator yardımıyla sinterlenmektedir. (Şekil 4.30)



Şekil 4.30 Sinterleme işlemi (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Önceden entegre edilmiş rijit elemanlar ATHLETE yardımıyla şantiye alanındaki yerlerine dağıtıldıktan sonra büyük ölçüde regolit inşa alanına taşınmakta ve sinterator sistemiyle ısıtılarak sinterlenmektedir. (Şekil 4.31)



Şekil 4.31 ATHLETE aracı (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)



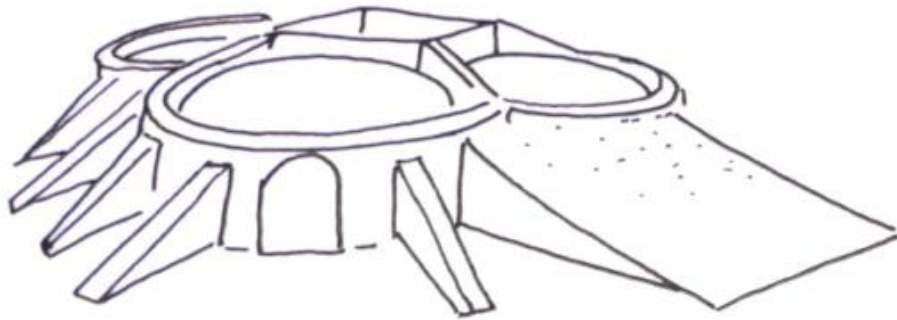
Şekil 4.32 Duvarların inşası (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Duvarlar tamamlandıktan sonra istenen forma ulaşana kadar membran sistem şişirilmektedir. (Şekil 4.33)



Şekil 4.33 Membran sistemin şişirme süreci (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Daha sonra ATHLETE'in çatıya çıkabilmesi ve yerden erişilemeyen noktalara regolit kaplamasını yerleştirebilmesi için rampalar inşa edilmektedir. (Şekil 4.34)



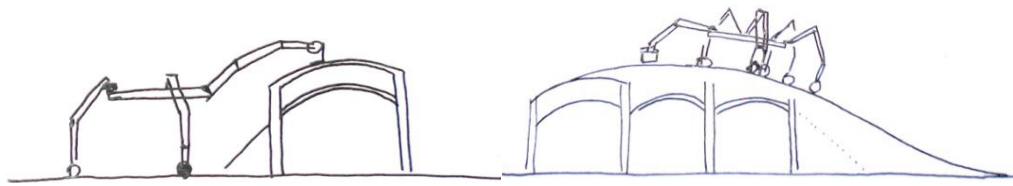
Şekil 4.34 Rampaların inşası (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Çatı yüzeyleri membran formunu ayarlamak için regolit tabakasıyla kaplanmakta, basınç nominal atmosferik basınç değerine yükseltildikten sonra üst katman emniyeti artırmak için rijit tonozlar içine sinterlenmektedir. (Şekil 4.35)



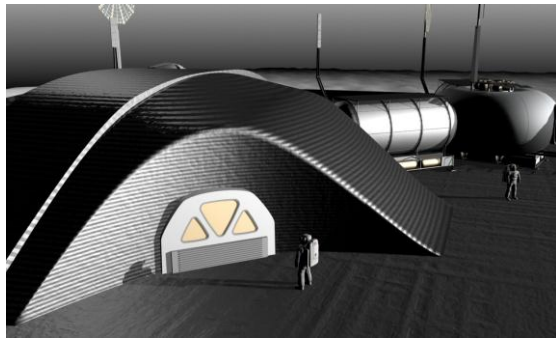
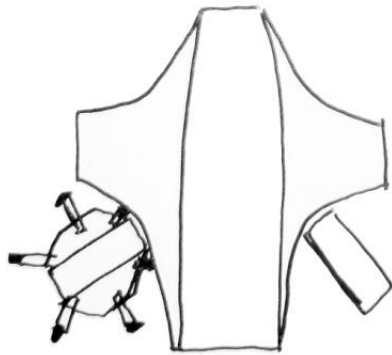
Şekil 4.35 Çatının regolit ile kaplanması (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Yan rampalar ve regolit tabakası tonozun üzerine yerleştirildikten sonra yüzey sinterlenmektedir. (Şekil 4.36)



Şekil 4. 36 Sinterleme işlemi (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Son olarak ise bağlantı modüllerinin montajı yapılmakta ve inşa alanı temizlenmektedir. (Şekil 4.37)



Şekil 4. 37 Bağlantı modüllerinin montajı ve pencereler (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

Pencereler: SinterHab Projesi'nde kapaklarda olan pencerelerin yanı sıra dünyaya bakacak şekilde konumlanan 1 ana pencere yapılması planlanmaktadır. Projede pencere malzemesi olarak birçok malzeme düşünülmüş ve sonuç olarak kanıtlanmış bir teknolojiye sahip olması sebebiyle cam kullanımı tercih edilmiştir. Ancak kırılabilirliği ve kütlesi sebebiyle pencere sayısı ve boyutlarında sınırlandırmaya

gidilmesi polietilen, sıvı su, katı su ve şeffaf beton gibi alternatif malzeme arayışlarını da beraberinde getirmiştir. (Rousek, Eriksson ve Doule, 2012)

4.5. Mobitat

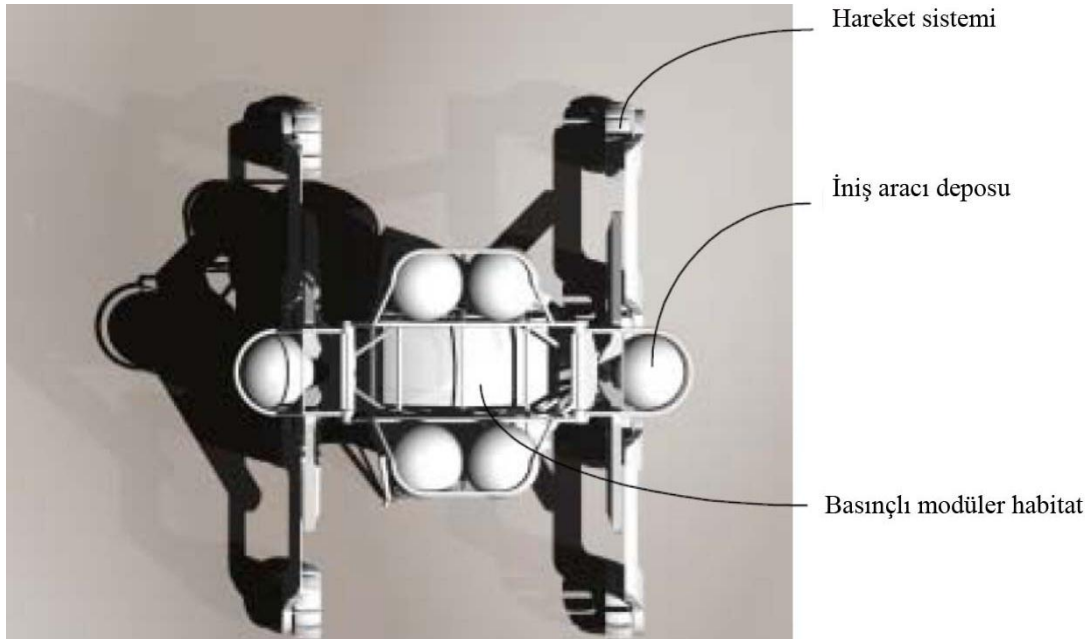
Tablo 4.5- Mobitat genel bilgiler



Genel Bilgi	
Tasarım Ekibi	A. Scott Howe, Jeffrey W. Howe – Plug-in Cerations Mimarlık
Tasarım Yılı	2004
Habitat Türü	Yüzeysel
Habitat Formu	Altıgen
Teknik Bilgiler	
Yapım Sistemi	Konvansiyonel
Modül Türü	Tek modül
Yatay Büyüme Potansiyeli	Yatay - avlulu

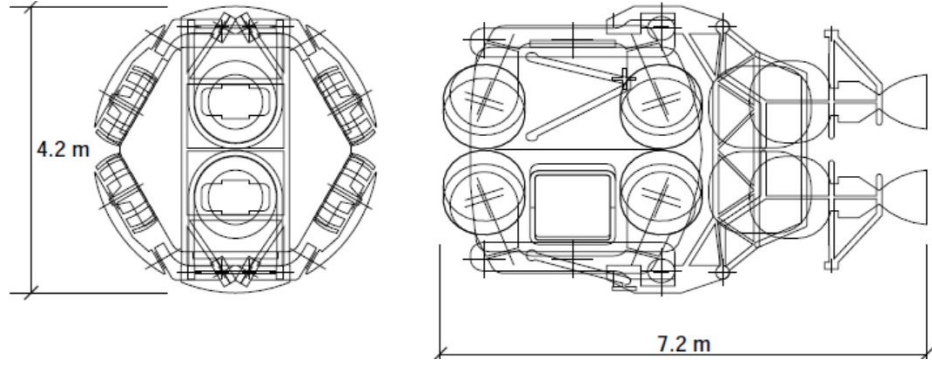
Tasarım: NASA tarafından 2004 yılında Plug-in Creations Mimarlık ekibine tasarlatılan Mobitat, (Şekil 4.38)Ay, Mars ve diğer gezegenlerde araştırma ve keşif

yapmak üzere kurgulanmış, müstakil, hareketli ve basınçlı bir habitat modülüdür. Hareketli bir platform ve basınçlı bir habitat modülünün kombinasyonundan oluşan projede, hareketli platform habitattan ayrılıp kazı, sondaj ve inşa aşamalarında vinç olarak da kullanılabilir. Gereksinimler doğrultusunda basınçlı habitat modülü diğer modüllerle birleştirilerek daha geniş bir ay üssü yaratılabilmektedir.

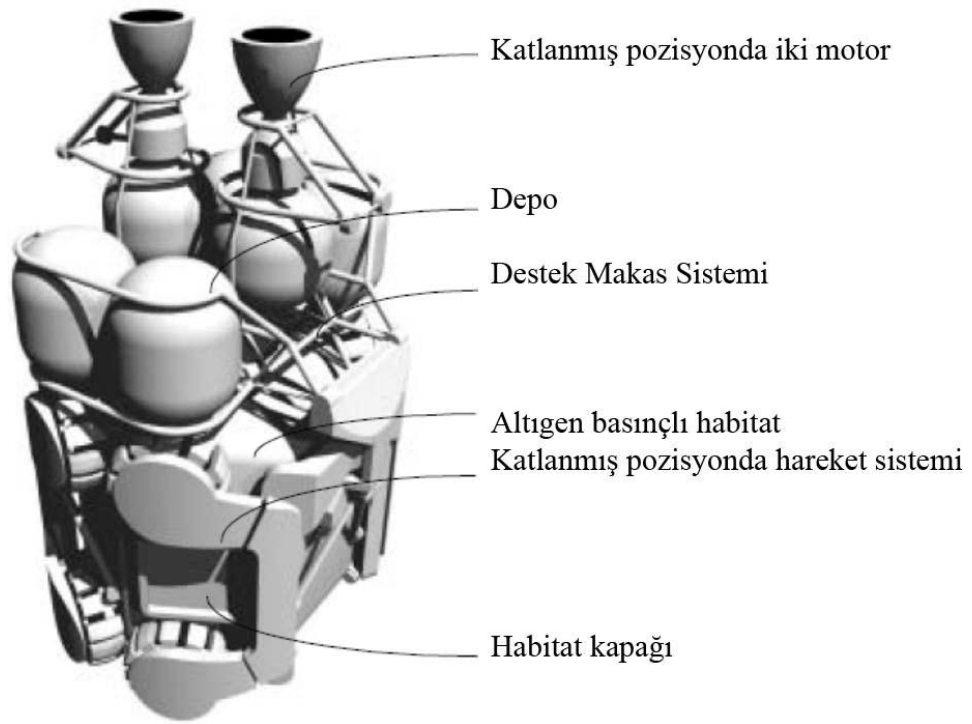


Şekil 4.38 Mobitat üstten görünüm (Howe ve Howe, 2004)

Yapım Sistemi ve Nakliye: Yapım sistemleri açısından değerlendirildiğinde bütün bileşenlerinin yeryüzünde üretilip birleştirilmesi ve daha sonra paketlenerek kargo aracıyla Ay'a gönderilmesi açısından ön entegre /konvansiyonel yapım sistemleri sınıfına girmektedir. Kargolama aşamasında 7.2 m uzunluk ve 4.2 m çapa sahip olan Mobitat, bu ölçülerle herhangi bir kargo aracına rahatlıkla sığabilecek boyuttadır. (Şekil 4.39)

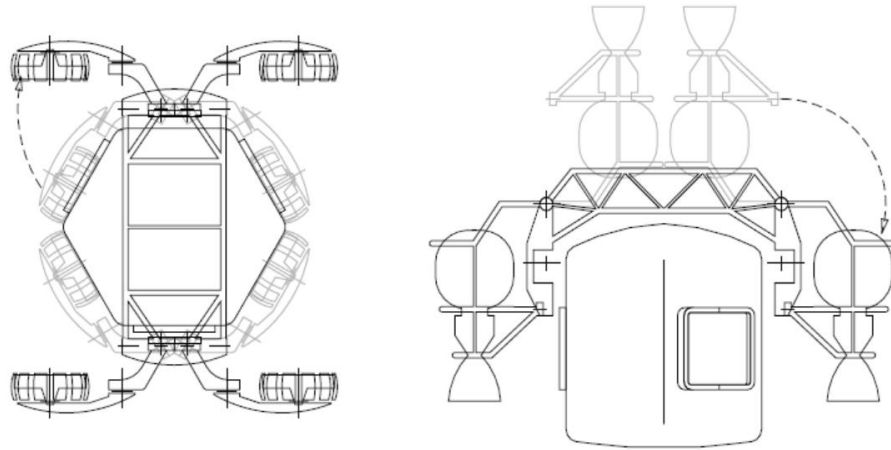


Şekil 4.39 Katlanmış pozisyonda Mobitat (Howe ve Howe, 2004)



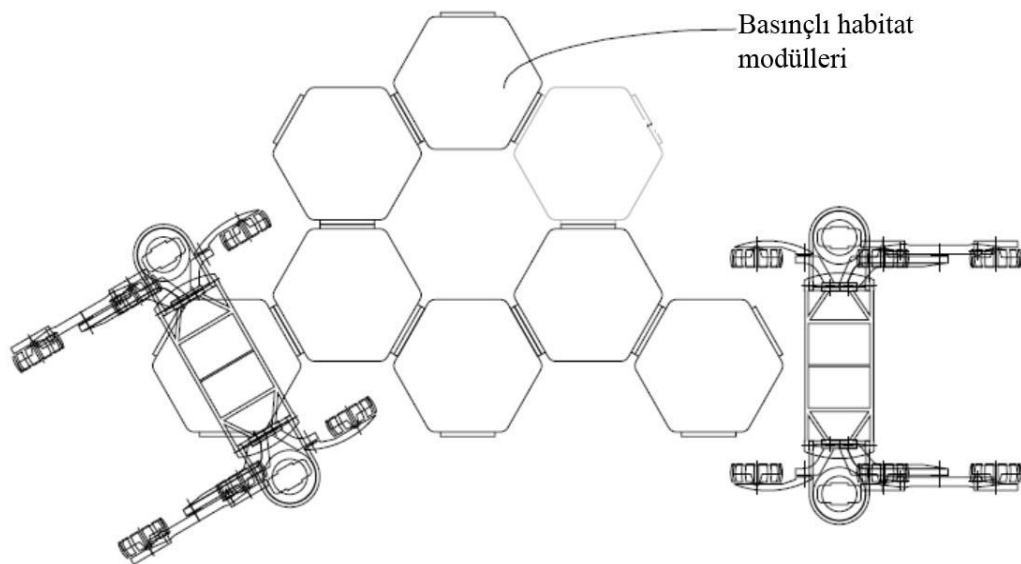
Şeki 4.40 Katlanmış pozisyonda Mobitat (Howe ve Howe, 2004)

Mobitat'ın, nakliye sürecinin ardından araştırma ve keşif yapacağı alana getirildiğinde, depolama aşamasında katlanan parçaları teker teker açılmaya başlanmaktadır. İki ana katlanma sistemine sahip olan Mobitat'ın açılma süreci aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde, solda hareket sistemi ana gövdeden ayrılarak dışa açılmakta, sağda ise motorlar iniş pozisyonu almak üzere aşağı salınmaktadır. (Şekil 4.41)



Şekil 4.41 Şekil değiştirebilen sistemler (Howe ve Howe, 2004)

Modülasyon ve Büyüme: Yatay yönde avlulu büyüme şemasına sahip olan Mobitat'ta, altıgen formundaki basınçlı habitat modülleri 6 gen formundadır ve ayarlanabilir bir donanım ara yüzüyle destek makas sistemine bağlanmaktadır. Ara yüz donanımı iki veya daha fazla modülün bir araya gelebilmesini sağlamak amacıyla küçük ayarlamalar yapabilmektedir. Ara yüz ayrıca modülleri döndürerek kullanım durumuna bağlı olarak oryantasyonunu değiştirebilmektedir.(Şekil 4.42)



Şekil 4.42 Modüllerin bir araya gelerek daha büyük ay üssü oluşturmaları (Howe ve Howe, 2004)



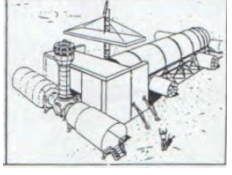
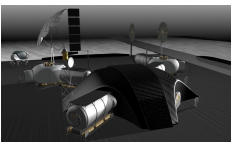

BÖLÜM V

KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇ

Günümüzde her ne kadar uzay endüstrisi, uzay araştırmaları ve keşifleriyle sınırlı kalsa da, gelecekte, kapılarını turizm sektörüne de açmaya hazırlanmaktadır. Ayrıca dünya ortamındaki düzensiz şehirleşme, nüfustaki hızlı ve oransız artış, kuraklık, küresel ısınma gibi olumsuzluklar da insanları yeni yaşam alanlarına yönlendirmektedir. Ay ortamı da bunun bir parçası durumundadır. şu an çoğu fikir aşamasında olan Ay kolonileri, Ay otelleri, uzay asansörü gibi bir çok proje gelecekte insanların kullanımına sunulmayı beklemektedir.

‘Sualtı ve Uzay Yapılarında Modüler Yapım Sistemleri’ başlıklı bu çalışmanın amacı, teknolojinin gelişmesiyle bir tasarım öğesi haline gelen ve gelecekte mimarlarla mühendisler arasında bir rekabet unsuruna dönüşecek olan Ay yapılarını inceleyerek, tasarımlarında mimar ve mühendislere yardımcı olacak ve alt yapı oluşturacak temel tasarım ve yapım yaklaşımlarını belirlemektir. 4. bölümde incelenen Ay yapılarının form ve geometrisi, yapı ölçüleri, yapım malzemesi, yapım sistemi, yalıtım malzemesi, ve yatayda/düşeyde büyüme şeması gibi özellikleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tasarlanacak olan bir Ay yapısı projesinde göz önüne alınması gereken ölçütler, yapılan literatür araştırmaları ve incelemeleri doğrultusunda şu şekilde belirlenmiştir:

Görünüş	Yapı Adı	Form	Boyutlar	Yapım Malzemesi	Yapım Sistemi	Yalıtım	Yatay/ Düşey Büyüme
	MoonBase2	Silindirik ve kubbesel	7.5 m çap, 6 m uzunluk, açıldığında 20 m çap, 10 m uzunluk	Şişme membran ve regolit	Prefabrik yapım (şişme)	Yerel kaynak kullanımı- Regolit	Yatay - Çizgisel
	Senaryo 12.0	Silindirik	3 m çap ve 8,35 m uzunluk	Alüminyum-Lityum alaşımı	Konvansiyonel yapım		Yatay- Radyal
	NASA Şişme Ay Habitati	Silindirik	8 metre çap, 45 m uzunluk	Ana taşıyıcı: Şişme membran , ikincil taşıyıcı: magnezyum alaşımından yapılmış modüler uzay kafes	Prefabrik yapım (Şişme)&rijit yapım sistemi-Karma	Yerel kaynak kullanımı- Regolit ve mineralden yapılmış paneller	Yatay- Çizgisel
	SinterHab	Silindirik ve kubbesel		Ana taşıyıcı:Şişme membran , sinterlenmiş regolit tabakası	Prefabrik yapım (şişme) & Ay kaynaklarıyla yapım	Yerel kaynak kullanımı- Sinterlenmiş regolit	Yatay- Radyal
	Morbitat	Altıgen	7,2X4,2 m		Konvansiyonel yapım		Yatay-Avlulu

Tablo 5.1Ay yapıları karşılaştırma tablosu

1. Projenin uygulanacağı arazi seçimi: Proje konumunun seçilmesinde; dünyayla iletişimin kolay sağlandığı, ortamdaki yerel kaynakların bol ve projeye uygun olduğu, güneş ışığını maksimum verimlilikte alan ve ay tozlarının minimum oranda olduğu bir alan seçilmesi, projenin verimliliği ve yapılabilirliği açısından önemli ölçütlerdir. Bu özellikleri maksimum oranda taşıyan konum genel olarak Ay Kutup bölgeleridir ve incelenen çalışmalarda da yüzeysel habitat türlerinde genel olarak bu bölgelerin tercih edildiği görülmüştür.

2. Yapı geometrisinin belirlenmesi: Yapılan çalışmada Ay yapısı tasarımlarında habitatın formunu belirleyen en önemli etkenlerin zorlu ay koşulları ve iç mekan gereksinimleri olduğu görülmüştür. Genel olarak Ay yapılarında eğrisel formların önerildiği görülmektedir.

Eğrisel geometrilere küre formu hacimsel olarak en az alan ve kütle gerektiren, en verimli formlardan biridir. Silindir formu ise duvar eğriliğinin tek yönde olması nedeniyle mimari olarak daha çok tercih edilmektedir. İncelemesi yapılan bu 5 örneğin biçimsel açıdan karşılaştırması yapıldığında; NASA Şişme Ay Habitatı ve Senaryo 12.0 silindirik formun tercih edildiği, MoonBase2 ve SinterHab'ta ise buna ek olarak kubbesel formun da tasarıma entegre edildiği gözlemlenmektedir. Mobitat ise bütün projelerden farklı olarak altıgen formda tasarlanmıştır.

Bu geometrilerin seçilmesinde genel olarak ay çevresel koşullarına uyum önemli bir unsur oluştururken, iç mekan gereksinimlerinin ve kullanılan malzeme özelliklerinin de katkısı büyüktür. Gelecekte yapılacak projelerde de gereksinimler doğrultusunda bu geometrilerin ve kombinasyonlarının kullanılması mümkündür.

3. Yapım sisteminin belirlenmesi: Ay ortamında yapılacak olan bir yapının tasarımında ele alınması gereken bir diğer konu da yapım sistemlerinin belirlenmesidir. Ay ortamında yapılacak olan bir inşaatın, dünya ortamındakine kıyasla birçok farklılıkları ve maruz kalacağı yerçekimi azlığı, meteoritler, kozmik ışınım, ay tozu gibi zorlu çevresel koşulları olacaktır. Tasarlanan projenin yapım sisteminin seçiminde bu çevresel koşulların yanında, nakliye kolaylığı, yapım

maliyeti, üretim süreci, onarımı ve bakımı gibi faktörler de göz önüne alınmalıdır. Yapılan araştırmalar neticesinde ay ortamında genel olarak konvansiyonel, prefabrik ve Ay kaynaklarıyla yapım olmak üzere 3 tür yapım sistemine rastlanmış ve Bölüm 3’de detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan projelerde genel olarak prefabrik ve Ay kaynaklarıyla yapım sistemlerinden şişme yapıların tercih edildiği görülmüştür. Bunun en önemli sebepleri;

- Nakliye aşamasında paketlenebilme özelliği
- Az yer kaplaması
- Dayanıklılığı
- Genişleme kapasitesi
- Esnekliği
- Hafifliği
- Psikolojik rahatlık sağlaması şeklindedir.

Bölüm 4’te incelenen örnekler yapım sistemleri açısından ele alınırsa, NASA Şişme Ay Habitatı’nın, dışta şişme bir kabuk ve rijit bir taşıyıcı sistem içermesi bakımından karma yapım sistemleri grubuna girdiği ve her iki sistemin de avantajlarını taşıdığı görülmektedir. Böylece şişme yapının esneklik, nakliye kolaylığı, hafifliği gibi olumlu etkilerinin yanında konvansiyonel sistemin uzayın zorlu koşullarına karşı dayanıklılığı, strüktürel etkinliği ve bütünlüğü gibi avantajları da bünyesinde barındırmaktadır.

SinterHab ise prefabrik yapım sistemleri ve Ay kaynak kullanımı kombinasyonundan oluşmakta ve katlanıp açılabilir membran strüktür ve sinterlenmiş regolit tabakasından oluşan ön entegre elemanların birleşiminden meydana gelmektedir. Projede, sinterleme işlemi sayesinde, yapı elemanlarını teker teker üretmek yerine yapının bütünüün inşa edilmesi, ay tozlarına, ışıma ve mikrometeroitlere karşı ek bir koruyucu malzeme ihtiyacının ortadan kalkması ve

dayanımı yüksek bir strüktür elde edilmesi gibi avantajlar ortaya çıkmaktadır. Ancak projedeki sinterlenmiş strüktürün kompleks bir yapıda nasıl uygulanacağı ve gelecekte strüktür bakımı ve alt sistemlerle entegrasyonunun nasıl sağlanacağı gibi sorular, bu işlemin daha çok yeni olması ve tecrübe edilmemesi sebebiyle cevapsız kalmakta ve proje için olumsuz bir durum teşkil etmektedir.

Buna göre yapılacak olan bir tasarımda, yukarıda sayılan faktörler göz önünde bulundurularak uygun olan yapım sistemi seçilmeli ve gereksinimler doğrultusunda biri veya birkaçının kombinasyonu projeye entegre edilmelidir.

4. Malzeme seçimi: Ay ortamında yapılacak olan bir habitatta kullanılacak malzemelerde yüksek mukavemet, süneklik, dayanıklılık, sertlik, yüksek yırtılma ve delinme direnci, düşük ısı genleşmesi gibi özellikler aranmalıdır. Bunun dışında malzeme seçimi esnasında bu malzemeleri elde etme, işletme, nakliyat ve maliyet gibi faktörler de göz önüne alınması gereken diğer unsurlardır. Yapılan projelerde genel olarak hafifliği, esnekliği ve nakliye kolaylığı sebebiyle membran kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. MoonBase2, NASA Şişme Ay Habitatu ve SinterHab gibi projeler de, membran malzemesinin avantajlarından yararlanan örneklerden bazılarıdır.

Ay ortamı inşaatlarında, malzeme olarak dünya kaynaklı hammaddelerin yanında, nakliyat tasarrufu, az işgücü, düşük maliyet ve ay ortamına uygunluk gibi avantajları sebebiyle Ay'daki yerel kaynakların kullanımı da mümkündür. Bu amaçla Ay yüzeyinde bulunan regolit katmanının işlenmesiyle elde edilen sinterlenmiş regolit, dökme regolit, ay betonu, ay camı ve ay camı kompozitleri gibi yerel kaynaklı malzemelerin kullanımı önerilmiştir. Bunun yanında regolit malzemesinin dünyada üretilen torbalara doldurularak yığma yapım tekniğiyle inşa edildiği duvar malzemesi olarak veya habitatların dışını saran yalıtım tabakası olarak kullanıldığı durumlar da mevcuttur. Örneğin SinterHab Projesi'nde sıcaklığı dağıtması bakımından ısı yalıtımı olarak sinterlenmiş regolit kullanılırken, duvarlarda orta katmanlarda ek ısı yalıtım malzemesi olarak regolit tabakası kullanılmıştır. Ancak her ne kadar bu malzeme ay ortamı için kolay elde edilebilirlik ve ay ortamı zorlu koşullarına dayanıklılık gibi avantajlara sahip olsa da, henüz ay yapısına uygulayabilecek düzeyde deneyim

bulunmaması, bu malzemenin yapısal tasarımda kullanılmasını şimdilik zorlaştırmaktadır

Senaryo 12.0'de kullanılan alüminyum-lityum alaşımı ise Lityumun hafifliği ve alüminyumun stabilitesi gibi özellikleri bir arada barındırması bakımından tercih edilmektedir.

Yapılacak olan projelerde de bu bilgiler göz önüne alınarak uygun malzeme seçiminin yapılması, inşa sürecinin verimliliği ve maliyeti açısından avantajlı bir durum teşkil edecektir.

5. Yalıtım ve koruma tabakasının seçimi: Ay ortamında kozmik ışınım, sürekli güneş etkisi, mikrometeoritler, aşırı sıcaklık değişimleri gibi zorlu çevre koşulları, yapılacak olan habitatın korunaklı bir yapı olmasını ve iyi bir şekilde yalıtılmasını gerektirmektedir. Yapılan incelemelerde ay ortamının zorlu çevresel koşullarına karşı iyi bir yalıtım malzemesi olması sebebiyle regolit katmanının tercih edildiği görülmektedir. Genel olarak yapılan habitatın dışını saran bir katman olarak kullanılmasının yanında duvar katmanlarının arasında da kullanıldığı örneklere rastlanmaktadır. Bunun dışında Ay yüzeyinde bulunan lav tüpleri de korunaklı bir habitat gereksinimi için iyi bir çözüm teşkil edebilmektedir. Yüzlerce metre genişliğinde olabilen bu tüpler muhtemel bir ay habitatı için gerekli alanı sağlayabilmekte ve ışınım, meteor etkileri ve aşırı ısı dalgalanmalarına karşı koruyucu bir kalkan görevi yapmaktadır. Böylece ek bir yalıtım işlemine de gerek kalmamaktadır. Yapılan bu incelemelere göre yapılacak olan bir Ay habitatı projesinde uygun bir yalıtım yöntemi seçmek, Ay ortamı zorlu koşullarına karşı hem yapının güvenliği açısından hem de içinde yaşayacak mürettebatın konforu ve sağlığı açısından önemli bir adım olacaktır.

6. Nakliye aşaması: Ay ortamında yapılacak olan bir yapının inşası dünya ortamına göre farklılıkları bulunmaktadır. Öncelikle dünyada üretilen yapı malzemelerinin hatasız olması ve uzun bir yolculuk sürecinden geçmesi gerekmektedir. Yapılacak olan bu yolculuk adedinin minimumda tutulması, nakliye

aşamasında hacimden tasarruf edilmesi ve maliyetinin en aza indirgenmesi Ay ortamı projelerinin en önemli gerekliliklerindedir. Bu sebeple üretilen yapı malzemelerinin depolanma aşamasında şekil değiştirebilme, katlanabilme özelliklerine sahip olması ve uygulama aşamasında açılıp yayılarak mürettebatın kullanabileceği geniş ve konforlu ortamı sağlayabilmesi gerekmektedir. Nakliye aşamasında yapı malzemelerinin depolanabilme teknikleri Bölüm 3’de incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda nakliye aşamasında rulo yapılabilmesi, katlanabilmesi ve uygulama aşamasında açılarak şişirilebilmesi sebebiyle en çok tercih edilen yapım sisteminin şişme yapılar olduğu görülmüştür. Buna göre yapılacak olan bir Ay habitatu projesinde, yapım sisteminin belirlenmesinde nakliye aşamasının da göz önünde bulundurulması ve depolama sürecinde hacimden tasarruf etmek amacıyla şekil değiştirebilen sistemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. MoonBase2, NASA Şişme Ay Habitatu ve SinterHab, şişme yapıların nakliye kolaylığı avantajlarından yararlanan projelerdir. Bunun yanında Senaryo 12.0 da çok nakliye aşamasında kaplanan hacmi azaltmak üzere kurgulanmış paketleme sistemi üzerine yoğunlaşmış bir projedir.

7. Modül türü ve büyüme şemasının belirlenmesi: Ay habitatu tasarımında aranan en önemli özelliklerden biri de projenin hızlı, kaliteli ve ekonomik üretime olanak sağlayacak düzeyde olmasıdır. Bunun sağlanabilmesi de üretimde standartlaşmaya gidilerek modüler bir düzenleme yapılmasıyla mümkündür. Tasarlanacak modüllerin büyüklüğü, nakliyat sistemi, kaplama malzemeleri, ısı kontrol sistemleri, kullanım yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca habitatların gelecekteki kullanım yoğunluğuna bağlı olarak genişleyebilme veya yatay/düşey doğrultuda eklenti yaparak büyüyebilme özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Buna göre yapılan çalışmada yatay ve düşey olarak konumlandırılan modüllerin çizgisel, avlulu, radyal, dallanma ve küme olmak üzere 5 şemada büyüme potansiyeli gösterdiği görülmektedir. İncelenen örneklerde Senaryo 12.0 ve SinterHab yatay- radyal, Mobitat yatay-avlulu, NASA Şişme Ay Habitatu ve MoonBase 2 ise yatay - çizgisel büyüme şemasına sahip projelerdir.

Yatay yönde büyüme özelliği gösteren SinterHab ve Senaryo 12.0 merkezi bir alanı ve diğer yönlerde uzantıları barındıran Radyal bir yapılanmaya sahiptir. Ancak böyle bir şemada, merkezi bölgeye ulaşımın kolay ve kısa olması gibi bir avantaj söz konusu olsa da, her bir uzantıya olan ulaşımın merkezi bölgeden geçmesi habitat güvenliği açısından tehlikeli bir durum yaratmaktadır.

İnsanoğlunun keşif arzusu ve alternatif yaşam alanları bulma ihtiyacı uzay yolculuklarının en büyük nedenleridir. Dünya'ya yakınlığı sebebiyle bu yolculuklarda en çok uğrak yeri Ay olmuştur. Günümüze kadar sadece araştırma amacı güden astronotlara kapılarını açan Ay ortamı, gelişen teknolojinin sonucu olarak uzay turizmiyle birlikte bu deneyimi diğer insanlara da yaşatacaktır. Ancak bu durum Ay ortamına uyum sağlayabilecek, insanoğluna alışkın olduğu konforu sunabilecek kalıcı veya kalıcı olmayan yapıların tasarlanmasıyla mümkün olacaktır. Çalışmada ele alınan yapım sistemleriyle ilgili son gelişmeler yenilikçi konseptlerdir ancak uygulanabilmeleri uzun çalışmalar gerektirmektedir. Bu sistemlerin başarıya ulaşmasıyla uzay teknolojisinde yeni bir çağa adım atılacaktır.

KAYNAKLAR

- Altunkaya, N. (2011). Uzayda Yaşam Başlıyor, *Mavi Yapı Dergisi*, 5, 38-43.
- Aleksiyeviç Yuri Gagarin*, (b.t). 30 Nisan 2011, <http://www.pcteknik.net/tarih/42549-aleksiyevic-yuri-gagarin.html>)
- Atmaca, G. (2009). *Nanotüpler*, 25 Temmuz 2011, <http://www.teknoloji.kuark.org/2009/05/17/nanotupler/>
- Ay'da Zengin Titanyum Yatakları Bulundu*, (b.t). 12 Temmuz 2011, <http://www.dopingadsltasima.com/ayda-zengin-titanyum-yataklari-bulundu-video.html>
- Balkaza, G. (2008). *Yer Değiştirebilir Yapılar*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bannova, O. (2006). Design Considerations For Exterior And Interior Configurations Of Surface Habitat Modules, American Institute of Aeronautics and Astronautics, *Proceedings of 57th International Astronautical Congress IAC 2006*, October 2-6, 2006, s. 9707-9714, Valencia, İspanya.
- Bannova, O. ve Bell, L. (2011). Designing From Minimum To Optimum Functionality, *Acta Astronautica*, 68, 760-769. 16 Nisan 2012, Elsevier sciencedirect.
- Bell, L. (2006). Space Structures and Support Systems, *SICSA Space Education and Outreach Symposium*, 126, 16-134. ABD, Teksas. 15 Aralık 2011 (<http://spacecraft.ssl.umd.edu/academics/483F11/483F11L18.architecture/483F11L18.architecture.x.pdf>)

- Benaroya H. Bernold L. ve Chua K.M. (2002). Engineering, Design and Construction of Lunar Bases. *Journal of Aerospace Engineering*, 15, s. 33-45, 22 Mart 2010, American Society of Civil Engineers.
- Bodiford, M. P., Burks. K.H., Perry, M.R., Cooper, R.W., ve Fiske M.R. (2006). Lunar In Situ Materials-Based Habitat Technology Development. *Earth & Space Conference*,. 1-8, 21 Kasım 2011,
http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20060013652_2006014795.pdf
- Boldoghy, B., Kummert, J., Varga, T., Szilágyi, I., Bérczi, S. (2007). Practical Realization Of Covering Lunar Buildings For Ensure Levelled Temperature Environment. *38 th Lunar and Planetary Science Conference*,1380.
- Cadogan, D. ve Grahne, M. (1998). Inflatable Space Structures: A New Paradigm For Space Structure Design. *49th International Astronautical Congress, IAF Paper*, 98, Melbourne, Avustralya.
- Cameron, E. A., Duston, A. J. ve Lee, D.D.(1990). *Design of Internal Support Structures for an Inflatable Lunar Habitat*. Doktora Tezi, Austin, Teksas Üniversitesi, Mekanik Tasarım Projeleri Programı.
- Can Regolith go through the skin*, (b.t). 30 Nisan 2011, http://www.part-time-scientists.com/glxp-org/ff3/2_regolith2.jpg
- Cohen, M.M. (2002). Selected Precepts in Lunar Architecture. *AIAA 53rd International Astronautical Congress*, 19 3, Texas, ABD.
- Concordia Station*, (2012). http://en.wikipedia.org/wiki/Concordia_Station
- Demir, Y. (2011). Hafif Alaşım Uçaklarda Kendine Yer Edinmeye Çalışıyor. *Mühendis ve Makine*, 52, 90-92, MMO, Ankara.

Dinçer, U. Uzay Asansörü, (2003). *Mühendis ve Makina*, 518.

Ganapathi, G. B., Ferrall, J. ve Seshan, P. K. (1993). Lunar Base Habitat Designs: Characterizing the Environment and Selecting Habitat Designs for Future Trade-offs. *Jet Propulsion Laboratory Yayını*, Pasadena, CA.

Gruber, P. (2008). The Signs of Life in Architecture. *Bioinspiration & Biomimetics*, 3, Viyana, Avusturya, (3 Ocak 2012),
http://astro.temple.edu/~sthsieh/BIO5466_2011/gruber_architecture%20and%20biology.pdf

Horacio, F., Jasen, L.R, Gary. R. S. ve Gerard D. V. (2000). Transhab: Nasa's Large-Scale Inflatable Spacecraft. *AIAA Space Inflatables Forum; Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, Atlanta (25 Mart 2012),
<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20100042636>

Howe, S. A. ve Howe, W. J. (2004). Mobitat: Mobile Planetary Surface Bases. *NASA Exploration Systems Enterprise, Request for Information*, (19 Aralık 2011),
<http://www.spacearchitect.org/pubs/NASA-RFI-04212004-Howe-2.pdf>

Howe, A. S., Spexarth,G. Toups, L., Howard, R., Rudisill, M. ve Dorsey, J. (2010). Constellation Architecture Team: Lunar Outpost ‘Scenario 12.1’ Habitation Concept. *Proceedings of 12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments*, 2 of 5, 966-988, Honolulu, Hawaii, ABD, (17 Ekim 2011),
http://ascelibrary.org/proceedings/resource/2/ascecp/366/41096/91_1

Hsu, H. (2005). In-Situ Resource Utilization in a Lunar Environment. *Rutgers Üniversitesi*, (17 Ekim 2011),
http://csxe.rutgers.edu/people/interns/summer_2005/Harrison_Hsu_presentation.pdf

Karahan, H. A., Utkun, E, Toprakçı., O, (2009), Uzay Uygulamalarında Kullanılan Tekstiller. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (Iats'09)*, Karabük, Türkiye

Kennedy, K. (2002). Lessons from TransHab: An Architect's Experience. *AIAA, Space Architecture Symposium, 6105*, Houston, Teksas, (26 Mart 2012), <http://www.spacearchitect.org/pubs/AIAA-2002-6105.pdf>

Knox, P. M. Moses, O. R. (1965). Semi-Rigid Structures for Space Applications. *Aerospace Expandable Structures Conference Transactions*, 362-395, Minneapolis, Minnesota. (6 Ocak 2012), <http://contrails.iit.edu/DigitalCollection/1965/AFAPLTR65-108article17.pdf>

Kompozit Malzemeler, (b.t). (10 Nisan 2011), http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf

Kompozit Malzemeler, (b.t). (10 Nisan 2011), www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm

Kronenburg, R. (1995). *Houses in Motion: The Genesis, History and Development of the Portable Building*. 1. Baskı, 119. Great Britain, Wiley Academy.

La Yuriesfera, (b.t). 20 Mayıs 2011, <http://www.yuriesfera.net/encuentro/>

Mağara Türleri ve Sınıflandırmaları. (2005., *Hacettepe Üniversitesi Mağara Araştırma Topluluğu*, (22 Aralık 2011), <http://www.humak.hacettepe.edu.tr/Learning/Magaraturleri.pdf>

Merchan, H. H. ., (1987). *Deployable Structures*. Doktora Tezi, Massachusetts Institutes of Technology, Mimarlık Bölümü

MoonBase Two, (b.t). (12 Nisan 2012), <http://www.likecool.com/MoonBaseTwo--Other--Gear.html>

MoonBaseTwo, (2012). <http://www.architectureandvision.com/av/023.html>

Moore, G. T., Baschiera, D., Fieber, J. ve Moths, J. (1990). Genesis Lunar Outpost: An Evolutionary Lunar Habitat, *USRA Proceedings of the 6th Annual Summer Conference*; 241-254. 6 Ekim 2011, NASA.

O'Callaghan, J. (2012), *How Vostok 1 worked – 51 Years of Spaceflight*. (20 Haziran 2012), <http://www.howitworksdaily.com/news/50-years-of-spaceflight/>

Orhon, A. V. (2005). Mimarlıkta Titanyum. *Yapı Dergisi*, 278, 82-86

Gruber, P., Häuplik, S., Imhof, B., Özdemir, K., Waclavicek, R. ve Perino, M. A. (2007). Deployable Structures for a Human Lunar Base. *Bringing Space Closer to People, Selected Proceedings of the 57th IAF Congress*, 61, 484- 495. Valensiya, İspanya (25 Aralık 2011), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576507000690>

Pigg E. O. ve Weiss S. P.(1978). Spacecraft Structural Windows. *Apollo Experience Report*, 377, Johnson Space Center, Houston, Teksas, 25 Aralık 2011, <http://www.lpi.usra.edu/lunar/documents/apolloSpacecraftWindows.pdf>

Project Echo, (b.t). 20 Mayıs 2011, http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Echo

Reynolds K. H.,(1988). Preliminary Design Study Of Lunar Housing Configurations. *Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Houston, Teksas, 255-259.

Roberts, M. (1988). Inflatable Habitation for Lunar the Base, *Proceedings of Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, 204. Texas,

ABD.

http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930008253_1993008253.pdf

Ruess, F., Schaenzlin, J. ve Benaroya, H. (2006). Structural Design of a Lunar Habitat. *Journal of Aerospace Engineering*, 19, 3, 133-157. Stuttgart, Almanya, 12 Temmuz 2011,

http://csxe.rutgers.edu/research/space/Ruess_et_al_ASCE_JAE.pdf

Robbins, G. (2008). *O.C. engineers to design home for moon dwellers*, (12 Temmuz 2011, <http://sciencedude.ocregister.com/2008/07/30/oc-engineers-to-design-home-for-moon-dwellers/>

Rousek, T., Eriksson, K. ve Doule, O. (2010). SinterHab. *Proceedings of Conference, 61st IAC*, Prag

Rousek, T., Eriksson, K. ve Doule, O. (2012). SinterHab. *Acta Astronautica*, 74, 98-111. 8 Mayıs 2012,

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576511003110>

Seguin, M. A. (2005). Engaging Space: Extraterrestrial Architecture and the Human Psyche. *Acta Astronautica*, 14th IAA Humans in Space Symposium, 56, 980-995. Kanada, 17 Ekim 2011,

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576505000408>

Skylab, (b.t). 21 Nisan 2011,

<http://mediathequedelufologie.wordpress.com/2011/04/21/skylab/>

Sorrel, C. (2009). *Full-Sized Lunar Module Replica*. 12 Ocak 2012,

<http://www.wired.com/gadgetlab/2009/12/full-sized-lunar-module-replica/>

Space Architecture, (b.t). 25 Aralık 2011,

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_architecture

Spacecraft: Manned: Early Missions, (b.t). 25 Aralık 2011,

http://www.russianspaceweb.com/spacecraft_manned_first.html

The Odyssey of Project Echo, (b.t). 12 Temmuz 2011), <http://history.nasa.gov/SP-4308/ch6.htm>)

The Prefabricated Lunar Architecture of the Saturn V Rocket, (2009). 21 Ocak 2011,

<http://lifewithoutbuildings.net/2009/01/1952.html>

TransHab Concept, (b.t). 20 Ekim 2010,

<http://spaceflight.nasa.gov/history/station/transhab/>

Uzaya Asansörle Çıkılabilecek, (2009). 2 Ekim 2011,

<http://www.taylanbey.com/uzaya-asansorle-cikilabilecek.html>

Vakum Nedir, (b.t). 15 Aralık 2011, <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-948&Bilgi=vakum-nedir>

Visiting Martian & Lunar Lava Tubes, (b.t).20 Ekim 2010,

<http://skynotesbyrich.blogspot.com/2010/10/october-20-2010-091-visiting-martian.html>

Vogler, A. (2002). Modular Inflatable Space Habitats. *Proceedings of First European Workshop on Inflatable Space Structures*, Noordwijk, Hollanda.

Yıldırım, Ü. (2008). *Uzay Asansörü*, 25 Temmuz 2011,

http://www.astrofotograf.com/details.php?image_id=72