



HAVA HARP OKULU KOMUTANLIĞI



HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALICI BİR AY ÜSSÜ TASARIMI

**HÜSEYİN ZORLU
HAVA PERSONEL YÜZBAŞI**

**YEŞİLYURT - İSTANBUL
AĞUSTOS – 2009**

**HAVA HARP OKULU
HAVACILIK ve UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALICI BİR AY ÜSSÜ TASARIMI

**Hüseyin ZORLU
Hava Personel Yüzbaşı**

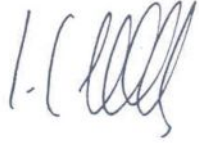
UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**İSTANBUL
Ağustos 2009**

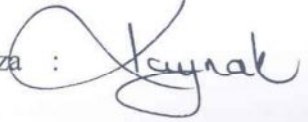
Her hakkı saklıdır.

Doç.Dr. Y. Cengiz TOKLU danışmanlığında, Hv. Per. Yzb. Hüseyin ZORLU tarafından hazırlanan bu çalışma 03/08/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

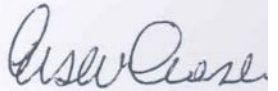
Başkan : Doç.Dr. Y. Cengiz TOKLU

İmza : 

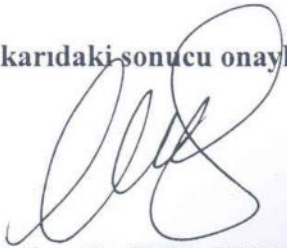
Üye : Prof.Dr. Okyay KAYNAK

İmza : 

Üye : Prof.Dr. Arsev ERASLAN

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Yrd.Doç.Dr. Sefer KURNAZ
Hava Mühendis Albay
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kalıcı Bir Ay Üssü Tasarımı

Hüseyin ZORLU
Hv.Per.Yzb.

Hava Harp Okulu
Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü
Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Y.Cengiz TOKLU

Yapılan hesaplamalar, yakın bir gelecekte Dünya'nın insanlığa yetmeyeceğini ve Dünya dışında yaşam için gerekli çalışmaların bir an önce başlatılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalarda ilk hedef olarak Dünya'ya en yakın gök cismi olan Ay belirlenmiştir.

Bu çalışmada Ay'ın genel özellikleri, üs için yer seçimi, mürettebat seçimi ve mürettebatı etkileyecek faktörler, tarım faaliyetleri, personel ve malzeme nakli ve enerji konularından bahsedilmiştir.

Ay üssünün tasarlanması konusu daha ayrıntılı olarak ele alındıktan sonra Ay üssü sonrası çalışmalar tartışılmıştır.

2009, 111 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ay, Ay üssü, Uzay, Yapısal tasarım, Ay kaynakları, Oksijen, Güneş enerjisi, Regolit, Kutup bölgesi, Tarım, Uzay aracı.

ABSTRACT

Master of Thesis (M.Sc.)

A Permanent Lunar Base Design

Hüseyin ZORLU
Capt.

Air Force Academy
Aeronautics and Space Technologies Institute
Department of Space Sciences

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Y.Cengiz TOKLU

Some estimations show that in the near future Earth will not be sufficient for human beings and search for the extraterrestrial life should soon be started. With this thought Moon, the nearest celestial body to the Earth, is the main target of this studies.

In this specific study, general features of the Moon, proper place for a future base, right crew selection and factors which may affect crew on job, extraterrestrial cultivation activities on space, transportation of humans and materials and also energy production and consumption are explained.

After the designing detailed of a lunar base; things that must be done following the establishment are discussed.

2009, 111 pages

Keywords: Moon, Lunar base, Structural design, Moon resources, Oxygen, Solar energy, Regolith, Polar site, Agriculture, Spacecraft.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nın önderliğinde oluşturulan uzay vizyonu paralelinde, uzay alanında meydana gelen gelişmeler ve bu gelişmeler karşısında, Hava Kuvvetleri Komutanlığı ve uzay alanında faaliyette bulunan her birimin Türk uzay faaliyetlerini yönlendirebilmesi amacıyla hazırlanan bu tezde, öncelikle gelecekte uzay konusunda söz sahibi olma hedefine sahip tüm ülkelerin ortak çalışma alanı olacak olan bir Ay üssü kurulabilmesi için gereken tüm şartlar ortaya konulmuş ve muhtemel bir Ay üssü ile ilgili tüm konular kapsanmaya çalışılmıştır. Bu tez, uzay alanında sivil ve askeri faaliyetlere yön verilmesine destek olmak için hazırlanmış bir kaynaktır.

İlk önce yüksek lisans eğitimi imkânı sağlayan Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na, bu alandakiengin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren sayın hocam Doç.Dr. Y.Cengiz TOKLU'ya, her konuda verdikleri destek için devre arkadaşım Hv.Per.Yzb. Orhan GÖZAYDIN ve tüm enstitü personeline, verdikleri moral desteği için annem, babam, kardeşlerim ve tüm dostlarıma, maddi ve manevi olarak beni daima destekleyen eşim Hv.İsth.Yzb. Nilgün ZORLU'ya şükranlarımı sunarım.

Hüseyin ZORLU

İstanbul, Temmuz 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
İNGİLİZCE TÜRKÇE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. AY HAKKINDA GENEL BİLGİLER	2
2.1 Ay'ın Coğrafik Verileri.....	2
2.2 Ay'ın Zemini.....	3
2.3 Ay'ın Doğal Kaynakları.....	3
2.3.1 Su.....	5
2.3.2 Helyum-3	6
2.3.3 Ay metalleri.....	7
2.3.4 Oksijen ve hidrojen.....	8
2.3.5 İşlenmemiş veya az işlenmiş regolit.....	8
2.3.6 Sinterlenmiş regolit.....	9
2.3.7 Dökme regolit (dökme bazalt).....	9
2.3.8 Ay camı ve cam-cam alaşımlar.....	10
2.3.9 Ay betonu.....	10
2.4 Ay Üssü Araştırmaları Tarihçesi.....	11
2.5 İnsanoğlu Neden Ay'da Üs Kurmalıdır?.....	14
2.5.1 Bilimsel çalışmalar.....	15
2.5.2 Gözlem.....	16
2.5.3 Uzayın kolonileştirilmesi.....	17
2.5.4 Enerji ve hammadde kazanımı.....	17
2.5.5 Ticaret.....	18
2.5.6 Uzay turizmi.....	18
2.5.7 İnsanlığın uzay çalışmalarına ilgisinin artırılması.....	20
2.5.8 Uluslararası ortaklık.....	20
2.5.9 Devlet politikaları.....	20
2.6 Ay'ın Avantaj ve Dezavantajları.....	21
2.6.1 Avantajlar.....	21
2.6.2 Dezavantajlar.....	22

3. YER SEÇİMİ	24
3.1 Yer Seçimini Etkileyen Kısıtlar	24
3.2 Ay'ın Yerleşim Bölgeleri	25
3.2.1 Kutup bölgesi	25
3.2.2 Ekvator bölgesi	26
3.2.3 Ay'ın uzak tarafı	26
3.2.4 Lav kanalları	27
3.3 Yer Seçiminin Yapılması	28
4. İNSAN FAKTÖRÜ	30
4.1 Mürettebatın Bileşimi	30
4.1.1 Cinsiyet	30
4.1.2 Kültürel farklılıklar	31
4.1.3 Mesleki güdülenme ve tecrübe	32
4.1.4 Kişilik	32
4.1.5 Mürettebat bileşiminden kaynaklanan sorunların çözümü	32
4.1.6 Mürettebatın seçimi	33
4.2 Mürettebatın Eğitimi	34
4.2.1 Uzay insanı aday eğitimi	34
4.2.2 Temel eğitim	34
4.2.3 Ay eğitimi	35
4.2.4 Acil durum eğitimi	35
4.2.5 Sanal ortam eğitimi	35
4.2.6 Psikolojik eğitim	36
4.3 Mürettebatı Etkileyecek Faktörler	36
4.3.1 Atmosfer	36
4.3.2 Düşük yerçekimi	37
4.3.2.1 Kan dolaşımı üzerindeki etkileri	37
4.3.2.2 Kemikler ve kaslar üzerindeki etkileri	37
4.3.2.3 Nörofizyolojik etkileri	38
4.3.2.4 Bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri	38
4.3.3 Radyasyon	38
4.4 Mürettebatla İlgili Diğer Konular	40
4.4.1 Gıda ve su	40
4.4.2 Uzay giysileri	41
4.4.3 Çalışma-dinlenme dönemleri	41
4.4.4 Kişisel temizlik	41
4.4.5 Kirlenme	42
4.4.6 Tıbbi bakım	42

5. ULAŞIM.....	43
5.1 Dünya'dan Ay'a.....	43
5.1.1 Malzeme nakli.....	43
5.1.2 Mürettebat nakli.....	44
5.2 Ay Yüzeyinde.....	45
5.2.1 İş araçları.....	45
5.2.2 Ulaşım araçları.....	47
5.2.3 Diğer araçlar.....	47
5.3 Ay'dan Uzaya.....	48
5.4 Yeni Nesil Taşıma Sistemleri.....	48
5.4.1 Uzay asansörü.....	48
5.4.2 Kütle fırlatıcıları.....	50
5.4.3 Güneş yelkenlileri.....	51
 6. ENERJİ.....	 53
6.1 Güneş Pilleri.....	53
6.2 Güneş Kolektörleri.....	56
6.3 Yakıt Pilleri.....	57
6.4 Aynalar ve Güneş Yoğunlaştırıcılar.....	60
6.5 Roket Yakıtı ve Yakıcı Madde.....	60
 7. TARIM FAALİYETLERİ.....	 61
7.1 Uygulanacak Yöntem.....	61
7.2 Yetiştirilecek Bitkiler.....	62
7.3 Seranın İç Tasarımı.....	64
7.4 Atık Süreci.....	65
7.5 Sistemin Faaliyete Geçirilmesi.....	65
 8. YAPI FAALİYETLERİ.....	 66
8.1 Ay Üssü Yapımını Etkileyecek Ortam Özellikleri.....	66
8.1.1 1/6 oranındaki çekim gücü.....	66
8.1.2 Boşluk.....	67
8.1.3 Ay tozu.....	67
8.1.4 Atmosferin bulunmayışı.....	68
8.1.5 Yerel malzemelerin kullanılması.....	69
8.1.6 İç basınç.....	69
8.1.7 Aktif tasarım.....	70
8.2 Kullanılabilecek Malzemeler.....	71
8.2.1 Metaller.....	72

8.2.1.1 Çelik.....	72
8.2.1.2 Alüminyum.....	72
8.2.1.3 Titanyum.....	73
8.2.1.4. Magnezyum.....	73
8.2.2 Kumaşlar.....	73
8.2.3 Yeni malzemeler.....	74
8.2.3.1 Alaşımlar.....	74
8.2.3.2 Karbon nanotüpler.....	74
8.2.3.3 Geosentetikler.....	74
8.2.4 Doğal malzemeler.....	75
8.3 Kolonileşme Sürecinde Oluşturulacak Yapı Kavramları.....	75
8.3.1 Hazır birimler.....	75
8.3.2 Dünya’da üretilip Ay’da birleştirilen yapılar.....	75
8.3.3 Yerinden malzemelerle inşa edilen yapılar.....	75
8.4 Yapı Türleri.....	76
8.4.1 Şişirilebilir yapılar.....	77
8.4.1.1 Küresel şişirilebilir yapılar.....	77
8.4.1.2 Kutu şekilli şişirilebilir yapılar.....	78
8.4.1.3 Yarı silindir şekilli şişirilebilir yapılar.....	79
8.4.2 Kablo yapılar.....	79
8.4.3 Sert (rijit) yapılar.....	80
8.4.4 Yer altı yapıları.....	80
8.4.5 Mobil Ay üssü.....	80
8.5 Yapı Türlerinin Değerlendirilmesi.....	80
8.5.1 Taşıma.....	81
8.5.2 İnşa kolaylığı.....	81
8.5.3 Genel yapı sistemleri ve malzemeleri ile ilgili deneyim.....	82
8.5.4 Kazı ve temel faaliyetleri.....	82
8.5.5 Genişletilebilirlik.....	83
8.5.6 Genel değerlendirme.....	83
8.6 Yerleşim Düzeni.....	84
8.6.1 Doğrusal.....	84
8.6.2 Avlu.....	84
8.6.3 Radyal (merkezden yayılan tip)	84
8.6.4 Dallanma.....	84
8.6.5 Küme.....	84
8.7 Yerleşim Alanı Boyutları.....	85
8.8 Yapısal Tasarım.....	85
8.8.1 Üs zemininin hazırlanması.....	85

8.8.2 Dış kabuk.....	86
8.8.3 İç duvarlar.....	87
8.8.4 Bitiş duvarı.....	87
8.8.5 Hava yalıtımı ve basınçlandırma.....	87
8.8.6 Yalıtım tabakası.....	88
8.8.7 Pencereleer.....	90
8.8.8 Hava kilidi.....	90
8.9 Yaşam Destek Sistemleri.....	91
8.9.1 Hava tazeleme sistemi.....	91
8.9.2 Aktif ısı denetim sistemi.....	91
8.9.3 Atmosfer basınç denetim sistemi.....	91
8.9.4 Su arıtma sistemi.....	92
8.9 Aydınlatma.....	92
9. ÜSSÜN TASARIMI.....	93
9.1 Üs İçin Yer Seçiminin Yapılması.....	93
9.2 Taşıma Planı.....	93
9.3 Seranın Kurulması.....	94
9.4 Ana Binanın Bölümleri.....	95
9.4.1 Yaşam alanları.....	95
9.4.2 Çalışma alanları.....	96
9.4.3 Servis ve temizlik bölümleri.....	97
9.5 Yerleşim Alanı Boyutlarının Hesaplanması.....	97
9.6 Üssün Yerleşim Düzeni.....	100
10. AY ÜSSÜ SONRASI.....	104
10.1 Ay Üssü Benzeri Kapalı Yaşam Alanları.....	104
10.2 Yaşanabilir Gezegenler.....	104
10.3 Dünyalaştırma.....	106
11. SONUÇ.....	109
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ay'da Yapılması Planlanan Sıvı Aynalı Teleskop Tasarımı	16
Şekil 3.1. Ay Yüzeyinde Jeolojik Bakımdan İnceleme Yapılabilecek Alanlar	25
Şekil 3.2. Hadley Rille.....	28
Şekil 3.3. Güney Kutup Bölgesi	28
Şekil 3.4. Shackleton Kraterinde Yerleşim İçin Seçilen Bölge.....	29
Şekil 5.1. Ares-5 Roketi.....	43
Şekil 5.2. Ares-5 Taşıma Birimi.....	43
Şekil 5.3. (a) Orion Birimi, (b) Apollo Komuta ve Servis Birimi.....	44
Şekil 5.4 ATHLETE.....	46
Şekil 5.5. Kazıcının Etkinliğinin Artırılması İçin Zemine Bağlanması.....	46
Şekil 5.6. Uzak Asansörü Temsili Resmi.....	49
Şekil 5.7. Kütle Fırlatıcısı Temsili Resmi.....	50
Şekil 5.8. Uzak Yelkenlisi.....	51
Şekil 6.1. Güneş Pili Yapısı.....	54
Şekil 6.2. Ay Regolitinden Güneş Pili Üreten Robotik Araç Tasarımı.....	56
Şekil 6.3. Yakıt Pili Çalışma Prensipleri.....	58
Şekil 6.4. Yakıt Pili Yapısı.....	58
Şekil 7.1. Ay Üssü Sera Sistemi Şematik Diyagramı.....	64
Şekil 8.1. Küresel Şişirilebilir Yapı Örneği.....	77
Şekil 8.2. Kutu Şekilli Şişirilebilir Yapı Örneği.....	78
Şekil 8.3. Yarı Silindirik Şekilli Şişirilebilir Yapı Örneği.....	79
Şekil 8.4. Radyal Düzenleme İçin Farklı Çözüm Şekilleri.....	85
Şekil 8.5. Üç Mafsallı Kemer Yapı Kesiti.....	87
Şekil 9.1. Önerilen Seranın Üstten Görünüşü.....	94
Şekil 9.2. Önerilen Seranın Karşıdan Görünüşü.....	95
Şekil 9.3. Mürettebat Sayısına Göre Yaşam Bölümleri Alanı.....	98
Şekil 9.4. Mürettebat Sayısına Göre Çalışma Bölümleri Alanı.....	99
Şekil 9.5. Mürettebat Sayısına Göre Yaşam Bölümleri Alanı.....	99
Şekil 9.6. Mürettebat Sayısına Göre Toplam Ay Üssü Alanı.....	100
Şekil 9.7. Önerilen Birim Tasarımının İç Duvar Düzenlemesi.....	100
Şekil 9.8. Önerilen Ana Bina Kullanım Alanları.....	101
Şekil 9.9. Önerilen Mürettebat Odaları Birimi Yerleşimi.....	101
Şekil 9.10. Önerilen Ortak Yaşam Birimi Yerleşimi.....	102
Şekil 9.11. Önerilen Laboratuvar Birimi Yerleşimi.....	102
Şekil 9.12. Önerilen Hava Kilidi Birimi Yerleşimi.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ay ile İlgili Temel Bilgiler	2
Çizelge 2.2. Regolitin Temel Özellikleri.....	3
Çizelge 2.3. Ay Toprağının Bileşimi.....	5
Çizelge 4.1. Uzay Görevleri İçin Tavsiye Edilen Radyasyon Limit Değerleri	39
Çizelge 4.2. Mürettebat Başına Günlük Girdi Çıktı Miktarları	40
Çizelge 7.1. Mürettebat Başına Günlük Gıda Miktarları	63
Çizelge 7.2. Mürettebat Başına Yeterli Ürün İçin Gerekli Ekim Alanı Değerleri...	63
Çizelge 8.1. Ay Yapılarında Kullanılabilecek Kaynaklar ve Üretim Yerleri.....	72
Çizelge 9.1. Ay Üssü İçin Dünya'dan Taşınacak Malzemelerin Tahmini Kütlesi..	93
Çizelge 9.2. Yaşam Alanları.....	95
Çizelge 9.3. Çalışma Alanları.....	96
Çizelge 9.4. Servis ve Temizlik Alanları.....	97
Çizelge 10.1. Yıldızların Harvard Spektral Sınıflandırması.....	105

İNGİLİZCE TÜRKÇE KISALTMALAR DİZİNİ

CELSS	Controlled Ecological Life Support Systems	Denetimli Ekolojik Yaşam Destek Sistemleri
DMYP	Direct Methanol Fuel Cell	Doğrudan Metanol Yakıt Pili
ISS	International Space Station	Uluslararası Uzay İstasyonu
LCROSS	Lunar Crater Observation and Sensing Satellite	Ay Krateri Gözlem ve Algılama Uydusu
LEO	Low Earth Orbit	Alçak Dünya Yörüngesi
LRO	Lunar Reconnaissance Orbiter	Ay Keşif Uydusu
LSS	Life Support System	Yaşam Destek Sistemi
NASA	National Aeronautics and Space Administration	ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
SLS	Soil-Like Substrate	Toprak Benzeri Alt Tabaka

1. GİRİŞ

Yapılan hesaplamalar insanlığın nüfus artışının Dünya'yı zorladığını ve çok değil 100 yıllık bir dönem sonunda Dünya'nın insanlığa yetmeyeceğini ortaya koymaktadır. Bunun tek nedeni Dünya'ya sığmamamız değil tabii ki. Tek sorun yerleşim olsaydı, Dünya'da henüz kimsenin yerleşmediği yüksek dağlar, okyanuslar ve kutuplar gibi zor şartlara sahip bölgeler de kullanılarak yerleşim alanları genişletilebilirdi. Asıl önemli sorun Dünya kaynaklarının insanlığın ihtiyaçlarını karşılayamayacak bir hale gelmesidir. Özellikle Dünya'daki enerji ihtiyacı teknolojinin gelişmesiyle birlikte hızlanarak artmaktadır. Kaynaklar ise aynı hızda azalmaktadır. Çözüm, sürekli enerji kaynakları bulmaktır. Bunun yanında enerji kaynaklarının bulunması da yetmemektedir. Eğer böyle olsaydı nükleer enerji üretimine yönelerek bu sorun kolayca halledilebilirdi. Ancak bu konudaki diğer bir ciddi sorun, kullanılan enerjinin çevreyi ve atmosferi kirletmesidir. Yani, ihtiyacımız olan; sürekli ve çevreyi kirletmeyecek temiz enerji kaynakları bulmaktır. Bunun için en uygun alan ise uzay olarak görünmektedir.

İçinde bulunduğumuz gezegenin şartlarının küresel ısınma gibi nedenlerle gittikçe kötüleşmesi, belki uzun vadede uzay şartlarından dolayı yaşanamaz bir hal alması ihtimalleri de göz önünde bulundurularak uzaydaki diğer gökcisimlerinin kolonileştirilmesi ve insanlığın varlığını Dünya dışına taşıması fikri sürekli olarak geliştirilmektedir. İnsanlığın Dünya dışında bir gökcismi ile ilgili yaptığı herhangi bir planlamada ise ilk akla gelen, Dünya'ya en yakın gökcismi olan Ay'dır.

Ay'la ilgili efsanelerin binlerce yıl öncesinden başlaması bir yana insanlı Ay seyahati ile ilgili ilk hikâyeler günümüzden 1800 yıl öncesinde anlatılmaya başlanmıştır. M.S 200 yıllarında Suriye'de yaşamış olan Lucian, "True Story" adlı eserinde Ay'a yapılan yedi günlük bir geziyi anlatmaktadır (Johnson ve Leonard 1984). O tarihten sonra da Ay'a seyahatle ilgili birçok hikâye ve roman kaleme alınmıştır. Ay'da bir üs kurma fikri ise ilk olarak Rus bilim insanı Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935) tarafından daha ilk uydu uzaya fırlatılmadan çok önce ortaya atılmıştır. Bilimkurgu yazarları ve uzayın keşfedilmesi taraftarları Ay'ı, insanlığın Dünya'nın ötesinde gelişebilmesi için akıllıca bir basamak olarak görmekteydiler. Ay üssünün faaliyete geçirilmesinden sonra ise kazanılan tecrübeler ile yaşamaya daha elverişli gezegenlerde aynı şekilde çalışmalar başlayacaktır.

"İnsan, gitmeyi düşünebildiği her yere gidebilir" prensibinden hareketle Ay üssü planlarının gerçekleştirileceğini düşünmek günümüzde bir hayal gibi görünse de uzun vadede gerçekleşeceği kesindir. Bu yüzden asıl düşünülmesi gereken konular, bu üssün en erken ne zaman gerçekleştirilebileceği ve bu gerçekleştirildiğinde bizim ne kadar bu çalışmanın içinde bulunduğumuzdur.

Temel olarak mürettebat sayısının belirlenmesi için ayrıntılı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca meydana gelecek çeşitli gelişmeler de mürettebat sayısının değişmesine neden olacaktır. Bu çalışmada hesaplamalar 20 kişilik bir mürettebata uygun olarak yapılmış olup, bu sayının gelişmelere bağlı olarak kademeli bir şekilde artacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada mümkün olduğunca en son çalışma ve düşüncelerden yararlanılmaya özen gösterilmiştir. Doğal olarak teknolojinin gelişmesi ve yeni fikirlerin ortaya çıkmasıyla içeriğin büyük bölümü geçerliliğini yitirecektir. Önemli olan en doğruya ulaşma çalışmalarına küçük de olsa bir katkı sağlayabilmektir.

2. AY HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Ay'ın Coğrafik Verileri

Ay, Dünya'nın tek doğal uydusudur ve Güneş Sistemi içinde beşinci büyük doğal uydudur. Ay ile ilgili temel bilgiler Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Kütle	$7,35 \cdot 10^{22}$ kg (Dünya Kütlelerinin %1'i)
Yarıçap	1738km (Dünya Yarıçapının %27'si)
Yüzey alanı	$3,79 \cdot 10^7$ km ² (Dünya Yüzeyinin %7'si)
Yoğunluk	3340 kg/m ³
Yerçekimi	1,62 m/s ² (Dünya Çekiminin %17'si)
Kaçış hızı	8568 km/saat
Yörünge hızı	6048 km/saat
Dönme eksen eğimi(Güneş etrafında)	1,6°
Yörünge eğimi (Güneş etrafında)	5,9°
Dünya'dan uzaklık	
En yakın	356.410km
En uzak	406.697km
Yörünge dışmerkezliliği	0,055
Gelen ışığı yansıtma ortalaması	0,07–0,24 (Ort.: 0,11–0,18;Denizlerde:0,07–0,10)
Dönme periyodu (ortalama)	29.531 Dünya Günü (709 Saat)
Ortalama yüzey sıcaklığı	107 °C (Gündüz); -153 °C (Gece)
Kutuplarda yüzey sıcaklığı	-30 - -50 °C (Güneş Altında); -230 °C (Gölgede)

Çizelge 2.1. Ay ile İlgili Temel Bilgiler (Mark 2003).

Ay, Dünya'nın yörüngesinde eşzamanlı olarak dönmektedir, yani her zaman aynı yüzü Dünya'ya dönüktür. Çıplak gözle rahatlıkla görülebilen Ay yüzeyinde bulunan karanlık Ay düzlüklerine Ay denizi denir. Bu bölgeler katılaşmış bazaltla kaplıdır. Eski dönemlerde volkanik hareketler sonucu ortaya çıkan lav, Ay yüzüne göktaşları ve kuyrukluysıldızların çarpması sonucu oluşan krater düzlüklerini doldurmuş ve katılaşarak bu bazaltı oluşturmuştur.

Ay yüzeyinde görünen açık renkli bölgelere ise Ay dağları denir çünkü Ay denizlerinden daha yüksektirler. Ay'ın Dünya tarafında, içleri bazalt ile dolu olan kraterlerin çevresinde birçok dağ sırasına rastlanır. Bu dağların, kraterlerin çevrelerinde oluşan yükseltilerin kalıntıları olduğu düşünülmektedir.

Ay'ın yüzeyinde gökcisimlerinin çarpması sonucu oluşan birçok krater bulunur. Çapı 1 km'den büyük yaklaşık yarım milyon krater Ay yüzeyine göktaşlarının ve kuyrukluysıldızların çarpması sonucu oluşmuştur. Atmosferin, hava olaylarının ve yakın geçmişte jeolojik etkinliklerin olmaması sayesinde, oldukça iyi korunmuşlardır.

Ay kabuğunun üzerinde regolit adı verilen taş ve tozdan oluşan bir tabaka bulunur. Regolit kalınlığının denizlerde 3-5 metre, dağlık bölgelerde ise 10-20 metre arasında

değiştii tahmin edilmektedir. Çok ince toz hâlinde bulunan regolit tabakasının altında onlarca kilometre kalınlığında oldukça parçalanmış kayalardan oluşan megaregolit tabakası bulunmaktadır

Ay'da tektonik tabaka bulunmamasına rağmen birçok küçük deprem yaşanmaktadır. Yapılan ölçümlerle, Ay'da yılda ortalama 3000 küçük deprem oluştuğu tespit edilmiştir (Elkins-Tanton 2006).

2.2 Ay'ın Zemini

Ay üzerinde bir üs kurabilmek için Ay'ın zemin yapısı hakkında temel bilgilere sahip olmak gerekmektedir. Genel olarak Ay ile Dünya'nın kaynaklarının aynı olduğunu kabul etsek de zemin özellikleri Dünya'nın zemin özelliklerinden farklıdır. Ay zeminini kaplayan regolitin temel özellikleri Çizelge 2.2.'de belirtilmiştir:

Dane çapı	Ay toprağının ortalama dane çapı 100 μm 'den azdır. Ağırlıkça %50'sinin çapı 100 μm 'den, %25'inin çapı 20 μm 'den küçüktür. Bu değerler ay regolitinin toz gibi bir madde olduğunu gösterir.
Yoğunluk	Yüzeyde 0,9-1,1 g/cm^3 olan sıkıştırılmamış yoğunluk, yerin 200 mm altında en çok 1,9 g/cm^3 değerine ulaşır.
Boşluk	Boşluk oranı %45 civarındadır.
Yüzey alanı	50 μm 'den küçük parçacıklar için yüzey alanı 0,5 m^2/g civarındadır.
Kesme dayanımı	Doğal regolitin kohezyonu $c=0,1-1 \text{ kN/m}^2$, sürtünme açısı $a=30^\circ-50^\circ$ olarak ölçülmüştür. Bu değerler madenlerde ya da hendek kazılarında direncin az olacağını göstermektedir
Zemin modülü	Ay zemin modülü için tipik değer 1000 $\text{kN/m}^2/\text{m}$ 'dir. Yani 10 kN/m^2 'lik bir basınç altındaki çökme 10 mm mertebesindedir.
Yapışma	Parçacıklar arasındaki yapışkanlık oldukça yüksektir. Regolit, ıslak plaj kumu gibi yapışkandır
Kalınlık	Regolit tabakasının kalınlığı birkaç santimetre ile onlarca metre arasında değişir. Ortalama kalınlık 4-5 metredir

Çizelge 2.2. Regolitin Temel Özellikleri (Toklu 2000).

2.3 Ay'ın Doğal Kaynakları

Herhangi bir toplulukta kaynakların maliyeti ve kullanılabilirliği; yerel maden kaynaklarına ve başka yerlerden getirilen kaynakların ticaret ve ulaşım maliyetlerine bağlıdır. Ancak kaynakların yerel olarak sağlanması, kendi kendine yeterli bakımından

önem taşımaktadır. Aslında Ay, en önemli yaşam bileşeninden mahrumdur; nefes alınabilir bir atmosfer (Damon 2001).

Ancak genellikle regolit olarak tanımlanan Ay toprağı, %40'dan fazla oksijen içerdiğinden ve bu oksijen basit bir işlemle elde edilebildiğinden, Ay üssü için oksijen üretimi bir problem olmayacaktır. Ayrıca oksijen birçok maden zenginleştirme sürecinin yan ürünü olarak da elde edilebilmektedir (Toklu ve Järvstrat 2004).

Oksijenin yanında Ay'da, Ay üssü kurulması için gerekli olabilecek tüm malzemeler için yeterli miktarda hammadde kaynağı bulunmaktadır. Dünya'dan Ay'a gönderilen malzemelerin her bir kg'ının fiyatı 20000 dolardan fazladır. Araştırma ve yerleşim için gerekli malzemelerin doğrudan Ay'dan elde edilmesi halinde Ay faaliyetleri büyük oranda kolaylaşacaktır (Schrunk vd 2008).

Ancak, tasarım çalışması için yerinden bir malzeme seçimi gibi bir durumda mutlaka bir miktar tahmine dayanmak zorunda kalınacaktır. Bunun nedeni Dünya'da Ay ortamını sağlamanın ve bir Ay inşaatı yapmanın çok zor olmasıdır. Dolayısıyla hâlihazırda ay malzemeleri ile ilgili herhangi bir deneyim bulunmadığı söylenebilir. Teoriler, laboratuvar sonuçları ve Dünyasal deneyimler Ay şartlarına uyarlanmak zorundadır. Bu tür uyarlamalar en iyi ihtimalle bile çok risklidir ve önemsenmeyen veya beklenmedik birçok tehlikeyi barındırmaktadır (Ruess vd 2006).

Ayın element yapısı iki kategoride tanımlanabilir; ana elementler ve ikincil (az bulunan) elementler. Genel olarak, toplamın %1'inden fazla olan elementler ana element olarak kabul edilmektedir. Bu elementler; oksijen, silisyum, alüminyum, kalsiyum, magnezyum, demir, sodyum ve titanyumdur. İkincil elementler ise; kükürt, fosfor, karbon, hidrojen, azot, helyum, neon, argon, kripton, ksenondur. Hafif elementlerin çoğu güneş rüzgârları ile Ay regolitine eklenmiştir (Schrunk vd 2008).

Bu elementler regolitten ayrıştırılabilmekte ve yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca regolit, bitkilerin beslenmesi için gerekli malzemelerden azot dışındaki kalsiyum, sodyum, potasyum ve fosfordan yeterli miktarlarda içermektedir.

Asıl kaynak eksikliği ise hidrojen, azot ve karbon gibi boşluk nedeniyle uzaya kaçan hafif elementlerde mevcuttur. Ancak, Ay'da yapılan araştırmalarda kutup bölgelerinde büyük miktarlarda su buzu ve hidrojen rezervleri olduğuna dair bulgular elde edilmiştir. Bu araştırmalar günümüzde halen devam etmektedir. Bu hidrojen rezervlerinin kaynağı ise muhtemelen kuyrukluysıldızlardır ve eğer hidrojen rezervleri gerçekten varsa, kutuplarda amonyak ve metan buzu şeklinde büyük miktarlarda azot ve karbon da bulunmaktadır (Toklu ve Järvstrat 2004).

Apollo görevlerinde toplanarak Dünya'ya getirilen kaya ve toprak örneklerinin kimyasal analizi sonuçlarına göre Ay toprağının bileşimi Çizelge 2.3.'te verilmiştir (Toklu ve Järvstrat 2004).

Yapılan çalışmalar, tüm yararlı nitelikleri birleştirecek mükemmel yerli bir inşaat malzemesinin mevcut olmadığını ortaya koymuştur. Ancak regolit tüm yerli malzemeler arasında malzeme ve üretim özelliklerinin en iyi birleşimi olarak görünmektedir.

Element	Dağlık Alan	Deniz Bölgesi	Dünya	Uygulamalar
Oksijen	45	42	47	Yakıcı, asli hava elementi
Silisyum	21	21	28	Cam, seramik vb. güneş pilleri
Alüminyum	13	7	8,1	Elektrik kabloları, yapılar, aynalar
Kalsiyum	11	7,9	3,6	Seramikler, elektriksel iletim
Demir	4,9	13	5	Yapısal çelik
Magnezyum	4,6	5,8	2,1	Metal alaşımları
Sodyum	0,31	0,29	2,8	Kimyasal işlemler, bitki besini
Titanyum	0,31	3,1	0,44	Yüksek mukavemetli metal
Krom	0,085	0,26	0,01	Metal alaşımları
Potasyum	0,08	0,11	2,6	Kimyasal işlemler, bitki besini
Manganez	0,068	0,17	0,095	Metal alaşımları
Fosfor	0,05	0,066	0,11	Bitki besini
Kükürt		0,12		Kimyasal işlemler
Karbon		0,015		Kimyasal işlemler
Azot		0,008		Bitki besini, hava elementi
Hidrojen		0,006		Yakıt, su, kimyasal işlemler
Helyum		0,005		Soygaz

Çizelge 2.3. Ay Toprağının Bileşimi (Toklu ve Järvstrat 2004).

2.3.1 Su

Su, yaşam için zorunlu bir malzemedir. Birçok kuyruklu yıldızın yüksek oranda su buzu içerdiği ve geçmişte Ay yüzeyine birçok kuyruklu yıldızın çarptığı bilinmektedir. Ancak, Apollo uzay insanların Ay'dan topladıkları kum ve Ay örneklerinde, hatta kimyasal bileşimlerinde dahi suya dair bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak bu örnekler Ay'ın ekvator bölgesinden toplanmıştır ve bu bölgede atmosferin bulunmayışı nedeniyle Güneş'ten kaynaklanan yüksek sıcaklık cisimleri kurutmaktadır.

Ay üzerinde su bulabilmek için Ay kutuplarının güneş ışığına maruz kalmayan karanlık ve derin kraterlerini araştırmak gerekmektedir. Ay'ın Güneş etrafında dönme eksenini, Dünya'nın dönme ekseninin aksine eğik değildir. Dolayısıyla Ay kutuplarında bulunan bazı derin kraterlerin içine güneş ışığı hiçbir zaman ulaşamamakta ve sıcaklık oldukça düşük derecelerde muhafaza edilebilmektedir. Bu kraterlerin dibindeki sıcaklık mutlak sıfırın (-273 °C) en fazla 22 °K üzerinde olabilmektedir ve bu nedenle sadece su değil, aynı zamanda karbondioksit, metan ve diğer gazlar da donmaktadır.

Ay'ın kutup bölgelerini gözlemlemek için 1994 yılında gönderilen Clementine uzay aracı güney kutbu bölgesinde suyun varlığına dair bazı belirtiler tespit etmiştir. 1999 yılında gönderilen Lunar Prospector ise her iki kutupta da hidrojen iyonları tespit etmiştir. Yapılan tahminlere göre kuzey kutbunda 11-300 milyon ton ve güney kutbunda bu miktarın yarısı kadar su bulunmaktadır (Damon 2001).

Lunar Prospector uzay aracı görevini tamamladıktan sonra Ağustos 1999'da su bulunduğu tahmin edilen bir kratere düşürülerek çarpmadan dolayı Ay yüzeyinden havalanacak tozun içinde suyun varlığı uzaktan incelenmiş ancak herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır.

Ancak hala ulaşılamayan derinliklerde su buzı bulunma olasılığı bulunmaktadır ve Ay üssü kurulduğunda bu araştırmalar çok daha gelişmiş bir şekilde yürütülecek ve varsa suya erişilecektir. Suyun bulunmaması halinde ise regolitten ısı yöntemleri ile su buharı elde etmek de çok zor değildir. Buhar daha sonra borularla soğuk krater bölgelerine götürülerek sıvı su elde etmek mümkün olacaktır.

2.3.2 Helyum-3

^3He , nükleer füzyon için en uygun yakıt türüdür. Dünya’da nükleer füzyon, laboratuvar ortamında çok küçük çapta ve termonükleer bombalarda geniş çapta ortaya çıkarılmıştır. Eğer nükleer füzyon, ani bir patlama şeklinde değil de daha uzun bir dönemde yavaş yavaş ortaya çıkarılabilirse büyük ve temiz bir enerji kaynağı olacaktır ve bilim insanları on yıllardır nükleer füzyonu denetleyebilecek pratik bir yöntem bulmak için çalışmaktadırlar. ABD ve Sovyetler Birliği’nde laboratuvar ortamında füzyon, saniyeden daha kısa bir süre için denetlenebilmiştir. Nükleer füzyonun gerçekleştirilmesinde en önemli sorun 17 milyon $^{\circ}\text{C}$ ’ye dayanabilecek bir kap üretebilmektir. Sıcak parçacıkların, muhafaza kabının duvarlarından uzakta ve boşlukta tutulması için bir yöntem olarak manyetik alan kullanılması düşünülmektedir (Damon 2001).

Hidrojen (H), deuteriyum (^2H) ve trityum (^3H) gibi izotoplar içeren çeşitli farklı füzyon tepkimeleri mümkündür. Aynı zamanda hem hidrojen hem de helyum izotoplarını içeren füzyon tepkimeleri de mümkündür. En bilinen helyum izotoplarından biri olan ^3He ’nin çekirdeğinde iki proton ve bir nötron vardır. ^2H tepkimesinden ise ^4He ve bir proton elde edilir. Teorik olarak bu tepkime sonucunda daha az ısı atığı ortaya çıkacak, daha da önemlisi tepkimenin radyoaktif yan ürünü olmayacaktır. Bu nedenle de çevre yönünden geleceğin enerji kaynağı olmaya adaydır. Deuteriyum okyanus suyundan elde edilebilmektedir ancak, Dünya’da çok küçük bir ^3He rezervi bulunduğundan füzyon tepkimesi pratik bir değere sahip değildir. Bununla birlikte Ay regolitinde bu tepkimeyi gerçekleştirebilecek yeteri kadar ^3He bulunmaktadır.

Diğer parçacıklar gibi ^3He de güneş rüzgârlarıyla gelerek Ay yüzeyine çarpar ve toz içerisinde kalır. Regolitin üç metrelik üst katmanında, milyarda 30 oranında ^3He bulunmaktadır. Bu da ısı yöntemiyle kolayca ayrıştırılabilecektir. Füzyon tepkimesinin denetlenebilmesi ile birlikte elektrik üretimi için yoğun şekilde kullanılacaktır.

Yapılan tahminlere göre Ay’da 1 milyon tonun üzerinde ^3He rezervi bulunmaktadır. Teorik olarak bu rezerv tüm Dünya’nın birkaç bin yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yeterli olacaktır. Yapılan hesaplamalara göre ^3He ’nin bir tonu yaklaşık 5 milyar T.L. değerindedir (Damon 2001).

Doğal olarak, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen füzyon tepkimesi şu ana kadar kullanılabilir bir şekilde çevrilememiş ve elektrik üretiminde kullanılamamıştır. Öncelikle laboratuvar şartlarında kullanılan enerjinin çok daha fazlasının kullanılması gerekmektedir. Bazı araştırmacılar son çalışmalar ve gelişmeler ile birlikte nükleer füzyonun gerçekleştirileceğini ve Dünya’nın enerji ihtiyacının tamamının karşılanacağını düşünmektedirler. Bu ise Ay’dan elde edilen ^3He ile mümkün olacaktır.

2.3.3 Ay metalleri

Ay ortamının çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Dünya'daki madenlerden metal üretimi ile ilgili süreçlerde kullanılan kimyasal maddeler Ay'da bulunanlardan çok farklıdır. Örneğin, Dünya'da altın üretimi için madenler sodyum siyanür çözeltisinin içinde ayrıştırılırlar. Ay ortamına en iyi uyarlanabilecek yöntem ise elektrokimyadır. Elektrokimyada temel olarak; eritilmiş mineral ve oksijen bileşiği bir mineral okside elektrik akımı verilirse, metal katotta, oksijen ise anotta toplanacaktır.

Bu yöntemle metaller kolayca oksijenden ayrıştırılabilmektedir. Örneğin Ay dağlarında bol miktarda bulunan anortit; kalsiyum, alüminyum, silisyum ve oksijenden meydana gelmektedir ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Ağırlık olarak %14'ü kalsiyum, %19'u alüminyum, %20'si silisyum ve %46'sı oksijendir. Yani 100 g anortitin elektrokimyasal tepkimesinden geçirilmesi ile bu metaller yüzde değerleri kadar elde edilebilecektir. Bu metallerden özellikle alüminyum çok kullanışlıdır. Yapılarda, uydularda, aynalarda, araçlarda ve elektrik kablolarında kullanılabilir, kolaylıkla ince tabaka ve tel haline getirilebilir. Kaynak yapılabilir ve erime sıcaklığı nispeten düşüktür (660 °C). Kolaylıkla eritilip kalıba dökülerek istenen şekle sokulabilecektir (Damon 2001).

Karşılaşılabilecek asıl zorluk ise oksijenden ayrıştırılan metallerin birbirinden ayrıştırılması konusunda olacaktır. Bunu önlemek için anortit elektrolize tabi tutulmadan önce ısıtılma işlemi tabi tutularak buharlaştırılmalı ve böylece silisyum oksit ayrıştırılmalıdır. Daha sonra elektroliz uygulanarak diğer metaller ayrıştırılabilecektir.

Anortit birçok mineral bileşiminden bir tanesidir. Bunun dışında da metallerin elde edilebileceği birçok mineral bileşimi bulunmaktadır. Örneğin Ay'da her alanda bol miktarda bulunan ilmenit; demir, titanyum ve oksijenden meydana gelmektedir (FeTiO_3). İlmenitten metallerin ayrıştırılması için öncelikle hidrojenle birlikte yaklaşık 900 °C'ye kadar ısıtılır ve ilmenit içindeki oksijen, hidrojenle birleşerek su haline gelir. Daha sonra katı haldeki demir-titanyum karışım toz haline getirilerek mıknatıs yardımıyla birbirinden ayrıştırılacaktır.

Demir hariç, Ay'da bulunan metallerden hiçbirinin Dünya'daki madenler gibi Ay örnekleri bulunmamaktadır. Günümüze kadar göktaş bombardımanları ile Ay yüzeyine gelen demir, yüzeye yakın bölgelerde bol miktarda bulunmaktadır ve bir mıknatıs yardımıyla kolayca ayrıştırılabilmektedir. Diğer metallerin ise yukarıda bahsedildiği gibi çoğu bileşiklerin ve en çok oksitlerin arıtılması ile elde edilmektedir.

Otomatik robotik maden makinelerinin üs içerisinde uzaktan kullanımı sayesinde, mürettebat zor Ay şartlarına maruz kalmadan üretim yapılması sağlanabilecektir. Güneş ışığının alındığı süreçte madenlerden istenen metallerin elde edilebilmesi için gerekli enerji ihtiyacı güneş pillerinin kullanılması ile fazlasıyla karşılanacaktır. Güneş ışığının alınmadığı Ay gecelerinde ise başka enerji kaynaklarının kullanılması gerekecektir. Bu amaçla kullanılabilecek yöntemlerden biri, Ay yörüngesine yerleştirilecek aynalar sayesinde güneş ışığının güneş kolektörleri üzerine düşürülmesidir. Ya da Ay'dan elde edilen madenler işlenmek üzere uzayda bir noktada (örneğin Dünya-Güneş-Ay'ın çekim kuvvetlerinin birbirini dengelediği Lagrange-5 (L5) noktasında) bulunan bir uzay üssüne gönderilebilir ve burada işlenebilir (Damon 2001).

Bazı temel alaşım elementleri ise Ay'da yeterli miktarlarda bulunmadığından, Dünya'dan getirilmek zorunda kalacaktır. Örneğın çelik üretimi için gerekli olan karbon ayda yeterli miktarda bulunmamaktadır ve Dünya'dan getirilmesi gerekmektedir.

Metallerin elde edilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi zor ve uzun süreçler gerektirdiğinden, bu işlemler ay üzerinde geniş bir sanayi altyapısının kurulmasını gerektirmektedir.

Küçük miktarlarda bile olsa çelik ve alüminyum gibi metallerin üretilebilme ihtimali ay sanayileşmesi için inanılmaz değerdedir. Metaller çoğuş teknolojinin ana girdisini oluşturur ve inşaat dışında çok geniş bir kullanım alanı vardır. Bu nedenle, basitleştirilmiş metal üretimi teknolojisi as üssü kurulumunun ilk dönemlerinde gerçekleştirilecektir. Diğer metallere göre üretiminde daha az enerji gerektirdiğinden çelik ilk üretim için en iyi aday olarak görünmektedir. Örneğın alüminyum üretimi çelik üretiminin altı katı enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Ruess vd 2006).

2.3.4 Oksijen ve hidrojen

Oksijen ve hidrojen Ay üssü için çok önemlidir. Oksijen öncelikle, Ay üssünün atmosferi için zorunludur. Oksijen ve hidrojen bilinen en iyi roket yakıtı ve yakıcısıdır, yakıt pilinde kullanılarak elektrik üretiminde ve ayrıca su üretiminde kullanılabilirler. Regolit içerisinde diğer elementlerle birlikte %40 civarında oksijen bulunmaktadır.

1000 kg anortitin ayrıştırılması ile yaklaşık 460 kg oksijen elde edilmektedir. Ancak oksijen üretimi için daha kolay yöntemler de bulunmaktadır. Örneğın, daha önce bahsedildiğı gibi regolitten ³He'nin ayrıştırılması işleminde oksijen de ortaya çıkmaktadır. Üretilen oksijenin roket yakıcısı olarak kullanılması halinde Dünya'dan çok daha az taşıma gerekecektir. Bu nedenle oksijen, Ay kaynakları içinde ³He'den sonraki en önemli kaynaktır (Damon 2001).

Hidrojen ise Ay'da nadir bulunmaktadır. Doğal hidrojen düşük çekim kuvveti nedeniyle uzun zaman önce Ay'dan uçmuştur ve şimdiki regolit içindeki hidrojenin kaynağını güneş rüzgârlarıyla gelen protonlar oluşturmaktadır. Ay yüzeyine çarpan güneş protonları ve diğer parçacıklar Ay yüzeyini kaplayan toz içerisinde kalmaktadır. Göktaşı çarpımları ile bu protonlar toprağın 1-2 m altına inmektedir. Regolitin yaklaşık 650 °C'ye ısıtılması ile bu hidrojen elde edilebilecektir. Yapılan tahminlere göre Ay yüzeyinin 1 km²'sinden elde edilecek hidrojenle yaklaşık 1 ton su üretilebilecektir (Damon 2001).

2.3.5 İşlenmemiş veya az işlenmiş regolit

Regolit, ay üzerinde en yaygın bulunan malzemedir. Regolitin üst tabakası yaklaşık 150 mm ince toz tabakası ile kaplıdır. Bu yüzeyin altında yoğunluk hızla artar ve 1 m'nin altında bağıl yoğunluğu %95'in üzerine çıkar. Bağıl yoğunluk, toprağın yoğunluğunu anlatmaktadır. En gevşek durumda bağıl yoğunluk %0 değerini alacaktır (Ruess vd 2006).

Regolitin plastik kafesler ya da silindirler içine konulmasıyla elde edilecek birimler, bir yandan radyasyona karşı korunmayı sağlarken diğer yandan da yüksek yapıların yapı taşlarını oluşturacaklardır. Bu kapsamda takviyeli toprak kullanımı da geniş uygulama alanları bulacaktır (Toklu 2001).

2.3.6 Sinterlenmiş regolit

Gevşek regolit toplandıktan sonra kalıba konur, mikrodalga veya güneş enerjisi ile ısıtma yöntemiyle sinterlenerek veya eritilerek şekil verilir. Tuğla, blok ve diğer şekillerdeki son ürünler ay inşaatlarında, Dünya’da uygulanan tarzda kullanılabilir. Uygun şekilde birbirine kenetlenmiş ve takviye edilmiş tuğlalar basınçlı ortamlarda bile kullanılabilir. Öngerilmeli malzemeler kiriş ve döşemelerin imalatında kullanılabilir. Ancak öngerilme işlemi çok hassas bir çalışma gerektirir ve sinterlenmiş regolite uygulanması zor olacaktır.

Sinterlenmiş regolit çok düşük ve son derece değişken mekanik güce sahiptir. Malzeme bir hayli heterojen bir yapıya sahiptir ve özelliklerini tam olarak nitelendirmek çok zordur. Kırılma katsayısının 9-18 Mpa olduğu bildirilmektedir. Basınca dayanımı da yaklaşık aynı değerdedir. Ay ortamına uyarlanabilecek çok az deneyim mevcuttur. Sinterlenmiş regolitle ilgili hâlihazırda bilinenlere göre, karmaşık yapısal tasarımlar için uygun bir malzeme değildir. Ancak sinterlenmiş regolit blokları radyasyon koruması, banket ve fırlatma atıkları için bariyer yapımı gibi yapısal olmayan çalışmalar için uygun bir malzemedir (Ruess vd 2006).

2.3.7 Dökme regolit (dökme bazalt)

Dökme regolit Dünya’daki dökme bazaltla aynı özelliklere sahiptir. Dökme regolit ay üzerinde kolayca üretilebilir. Regolit eritildikten sonra yavaş yavaş soğutulursa malzeme camlaşma yerine kristalleşir. Neredeyse hiç katkı malzemesine ihtiyaç duymaz. Döküm işlemi sadece bir fırın, kepçe ve kalıp gerektirmektedir. Eritme ve döküm sonrasında malzemenin kalitesinin yükseltilmesi gerekmektedir. Önemli bir avantaj ise Dünya’da bu malzeme ile ilgili birçok deneyimin bulunmasıdır. Ancak inşaat için henüz Dünya’da da kullanılmamıştır.

Dökme regolit çok yüksek basınç (538 N/mm^2) ve makul ölçüde çekme ($34,5 \text{ N/mm}^2$) dayanımına sahiptir. Prefabrik yapılarda kullanılmak üzere gerekli malzemelerin şekline kolaylıkla getirilebilir. Kiriş, kolon, plaka, bina iskeleti, kemer, blok ve silindir gibi şekillerdeki yapı parçalarının çoğu betondan on kat fazla basınç ve çekme kuvvetine sahip şekilde üretilebilmektedir (Ruess vd 2006).

Dökme regolitin gevrek bir malzeme olması gibi bir dezavantajı da bulunmaktadır. Çekme yüklerinin fazla olması durumunda çatlama ve yorulmalar ortaya çıkacaktır.

Dökme regolit yeterli çekme dayanımına sahip olduğundan birçok yapısal uygulamada çekme takviyesi olmaksızın kullanılabilir. Bununla birlikte güvenli bir yapı için küçük bir miktar basınç takviyesine ihtiyaç duyulabilecektir. Bu takviye de yerel malzemelerden yapılabilir. Dökme regolit, içbasınçlı yapılar için en uygun malzemedir. Ancak, öngerilmeli malzemelerin kullanımı şekil ve binalarda geniş bir seçenek sunacaktır. Öngerilmeli kirişler ay malzemelerinden yapılabilir.

Dökme regolit çok sert olduğundan aşınmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Bu sayede tozlu ay ortamında kullanımı da bir avantaj olacaktır. Dökme regolit, roket fırlatma bölgelerinin döşenmesinde ve iniş rampasının etrafında yapılacak atık koruması için en ideal malzemelerden biri olacaktır. Dökme regolit çok sert ve gevrek olduğundan kesmeye, delmeye ve işlemeye karşı dayanıklı bir malzemedir. Ayda bu tür işlemlerden kaçınılmalıdır. Dökme regolitin kaynama sıcaklığı çok yüksek olduğundan çok yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Tahmini enerji harcaması ton başına 360 kW/saat olacaktır (Ruess vd 2006).

2.3.8 Ay camı ve cam-cam alaşımlar

Ay camı, binalarda pencerelerde ve bina içlerinde çeşitli amaçlarla kullanılabilecektir. Çok yüksek mukavemetli cam elyaf imal edilerek beton içinde takviye malzemesi olarak veya kabloların içinde dokuma olarak da kullanılma imkânı vardır. Düşük erime sıcaklığı ve düşük güce sahip cam, yüksek erime sıcaklığı ve yüksek mukavemete sahip cam elyafla birleştirilerek cam-cam alaşımlar üretilmektedir.

Cam üretimi için gerekli hammadde Ay yüzeyinde yeterli miktarda bulunmakta ve kolayca elde edilebilmektedir. Bazı bölgelerde cam hammaddesinin regolitin %40'ına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Hatta eritilir ve hızla soğutulursa regolit kendiliğinden cama dönüşebilmektedir. Yüksek mukavemetli cam elyaf üretimi, metal üretimine göre daha az adımda yapılabilen daha basit bir işlemdir ve bu yüzden daha düşük bir yatırım gerektirir. Ay tozunun cam yüzeyinde ince çiziklere neden olması beklenmektedir. Ay'da su bulunmaması nedeniyle bu çizikler tamamen engellenemeyecektir (Ruess vd 2006).

Cam kırılğan bir malzemedir ve dökme camda çatlak oluşması halinde bu çatlak yayılma eğilimi gösterecektir. Bu nedenle çekme kuvvetine maruz kalmacağı uygulamalarda; bu kuvvet düşük düzeylerde bile olsa, dökme cam kullanılmamalıdır. Bu sınırlama, cam alaşım ve cam elyaf kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Ayrıca üretim sürecinde ısı önngerilme sağlanması da sorunu çözebilir.

Ay camından yapılan kablolar, cam elyafların yüksek mukavemeti nedeniyle kullanışlı bir malzeme olabilecektir.

Bununla birlikte cam-cam alaşımların mekanik özellikleri henüz tam olarak tespit edilememiştir. Malzeme hâlihazırda deneysel kalmaktadır. Bu sebepten bu malzemeler Ay üssünün ilk dönemlerinde uygulanamayacaktır (Ruess vd 2006).

2.3.9 Ay betonu

Ay betonunun özelliklerinin belirlenmesi ve beton malzemelerinin yerel olarak üretimi için, Amerikan Beton Enstitüsü ve Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından 1980'li yıllarda özel bir çalışma grubu kurulmuştur. Bu grup ve bir takım araştırmacılar tarafından barınmanın nasıl yapılacağı, beton ve betonarme malzemelerinin elde edilmesi (çimento, su, kum ve demir), beton yapımı ve bu malzemelerin Ay'daki çevre koşullarına uyumu araştırılmıştır.

Çalışma sonunda özellikle radyasyon etkilerine karşı en uygun ve en ekonomik yapı maddesinin beton olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan incelemede regolitin kullanıldığı beton örneklerinin basınç dayanımının 70 MPa'nın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu değer, Amerikan Beton Enstitüsü'nün standartlarının iki katıdır. Ayrıca Ay'da üretilcek çimentonun 49 MPa harç dayanımına ulaştığı ve bu dayanımın Dünya'daki çimentoların değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Topçu ve Bilir 2006).

Ay ortamında düzgün seçilen ve elenen regolitten yüksek kaliteli beton kumu elde edilebilir. Küçük miktarda gerçek ay regoliti laboratuvar ortamında beton hazırlanmasında kullanılmıştır. Ayrıca yüksek kalsiyum ile zenginleştirilmiş ay kalarından çimento da üretilebilecektir (Ruess vd 2006).

Beton için gerekli su, Ay ortamında bulunmasa da daha önce bahsedildiği gibi çeşitli yollardan elde edilebilecek ya da su yerine beton imalinde daha önce denenmiş olan bir yöntem olarak kükürt kullanılabilir. Ay üzerinde, bu amaçla kullanılabilecek uygun özelliklere sahip kükürt kolaylıkla elde edilebilecektir (Benaroya ve Bernold 2008).

Kalıp beton için gerekli kalıplar da ay malzemeleri ile yapılabilecek, böylece beton kullanışlı bir yapı malzemesi olacaktır. Ancak gerekli malzemelerin elde edilmesinin yanında bir diğer önemli sorun, betonun boşlukta atılamayacak olmasıdır. Boşluk, betonun sertleşmesini sağlayacağından ve kimyasal tepkime için gerekli olan suyun çekilmesine neden olacağından betonun atılma ve kurutulma işlemlerinin basınçlı ortamda yapılması gerekecektir. Suyun çekilmesi nihai ürünün güçsüzleşmesine neden olacaktır.

Boşlukta beton dökme işleminin problemlerini çözmek üzere betonu güçlendirmek ve kurumasını hızlandırmak için kuru toz formdaki malzemelerin önceden karıştırılması ve karışımın içine buhar püskürtülmesi önerilmektedir. Büyük ve basınçlı beton üretim tesisleri inşa etmek yerine prefabrik beton blokları üretimi de düşünülmektedir.

Beton, çekme karşısında kırılgan ve zayıftır. Bu yüzden birçok yapısal kullanımda çelik gibi yüksek mukavemetli esnek malzemeler ile kapsamlı şekilde güçlendirilmektedir. Ay camı da güçlendirici olarak kullanılabilecektir. Cam elyaf beton takviye malzemeleri Dünya'da popülerlik kazanmaktadır. Beton kalıp içine dökülerek çok yönlü bir yapı malzemesi haline gelmektedir. İnşaat mühendisleri Dünya'da betonarme yapılarla ilgili çok geniş deneyime sahiptir. Kullanım, başarımlar ve özellikleri çok iyi bilinmektedir.

Ancak, ay çimentosu ve betonu üretim ve kullanımı çok karmaşık ve çok adımlı bir işlemdir. Çimento üretimi de yoğun enerji gerektiren bir işlemdir. Çimento üretiminde ton başına 2200 kW/saat enerji tüketilir. Ay üzerinde beton üretimi gerçekleştirmek için gerekli altyapının kurulması zor, pahalı ve zaman alan bir çalışma olacaktır. Ay beton üretimi ay üssü kurulduktan sonra yapılabilir bir faaliyettir (Cohen 1998).

2.4 Ay Üssü Araştırmaları Tarihçesi

Uzayda üs kurma fikri ilk kez ortaya atıldığında henüz uzay çağı başlamamıştı. Uzay üssü ilk kez Rus bilim insanı Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935) tarafından ortaya

atılmıştır. 1950'lerden bu yana bilim insanları, mühendisler ve diğer kişiler tarafından bu konuda birçok düşünce ve tasarı üretilmiştir (Spacecraft: Manned: Lunar Program).

Tanınmış İngiliz bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke (1917-2008) 1954 yılında Ay üssü için yalıtımın Ay toprağı ile yapıldığı şişirilebilir bir birim tasarlamıştır. Alçak Dünya Yörüngesi (LEO)'nde birleştirilen bir uzay gemisi Ay'a doğru fırlatılır ve uzay insanları igloo benzeri birimleri ve şişirilebilir bir radyo direğini kurarlar. Müteakip adımlar daha geniş ve kalıcı binaların kurulmasını içermektedir. Bunlar arasında hava arıtma sistemi, nükleer reaktör ve gezegenler arası uzay araçlarını fırlatmak için elektromanyetik toplar bulunmaktadır.

Ay yüzeyinin keşfi 1959 yılında Sovyetler Birliği'nin gönderdiği Luna-2 uzay aracı ile başlamıştır. Luna-2 yüzeye çarparak parçalanmıştır. Aynı yıl Luna-3 uzay aracı Ay'ın Dünya'dan görülmeyen uzak tarafının resimlerini göndermiştir.

Rudolph Szilard 1959 yılında yazdığı "Structures for the Moon" adlı makalesinde 5-10 yıl içinde bir Ay üssü inşa edilebileceğini, bu Ay üssünün yapısal tasarımının; Ay koşullarına ve kullanılacak yapı malzemelerine bağlı olarak şekilleneceğini belirtmiştir. Ay üssü binaları, prefabrik küre şeklinde tasarlanmış olup, dört ya da daha fazla ayarlanabilir ayak tarafından desteklenmiştir. Bitkilerin de bulunduğu kapalı biyolojik çevrim içinde beş mürettebat barınabilecek şekilde planlama yapılmıştır. Berilyum alaşımlar ve alümine silikat cam sayesinde yapısal bütünlük ve şeffaflığın sağlanması düşünülmüştür. Üssün ısı ve radyasyon yalıtımı, iç ve dış duvarlar arasına yerleştirilecek soğutucu sıvılar ile sağlanacaktır (Johnson ve Leonard 1984).

Ay üssünün tasarımı ile ilgili pek çok fikir ortaya atılmıştır. Bazı bilim insanları radyasyon ve mikrometeorit tehlikesine karşı yapıların üzerine Ay toprağı tabakası yerleştirilmesini önerirken, bazıları ise yapıların toprağın altına gömülmesi gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri ordusunun 1967 yılında Ay üzerinde bir ileri karakol kurması planına dayanan Horizon projesi 1959 yılında ortaya atılmıştır. İlk fırlatmanın 1965 yılında yapılması ve 2 asker uzay insanı ve inşaat işçilerinin gönderilmesi planlanmıştır. Bu planlamaya göre 1966 yılında toplam 149 fırlatma ile (61 Saturn-1 ve 88 Saturn-2) toplam 245 ton malzeme üsse taşınacaktı. Vietnam savaşının başlaması ile bu plandan vazgeçilmiştir (Colonization of The Moon).

Sovyet uzay programının babası sayılan Sergei Korolev, Ay üzerinde bir üs kurma ihtimalini gerçekleştirmek istemekteydi. 1960 yılında Sovyetler Birliği Ay'a ilk insansız aracını başarıyla göndermiştir. Bu tarihlerde Korolev, yazdığı bir makalede Ay'a keşif seferlerini de içeren uzayın keşfi planının şartlarını açıkladı. Ay'ın insanlı keşfi büyük kazançlar sağlayacaktı. Önce robotik bilimsel araçlar ve daha sonra araştırmacılar gönderilecek ve yaşanabilir bir bilimsel istasyon kurulacaktı (Spacecraft: Manned: Lunar Program).

1961 yılında ABD başkanı Kennedy hedeflerinin on yıl içinde Ay'a bir insan gönderip güvenli bir şekilde geri getirmek olduğunu açıkladı. Aynı yıl Sovyet yönetimi de Ay'a insan göndermek ve bir Ay üssü kurmakla ilgili hedeflerini açıkladı.

1962 yılında John DeNike ve Stanley Zahn, Sükûnet Denizinde kurulacak bir üsle ilgili fikirlerini yayımladılar. 21 kişilik bu üs radyasyondan korunmak amacıyla yerin dört metre altında inşa edilecekti. Enerji üretimi için güneş panellerinden daha verimli gördükleri nükleer reaktör kullanılmasını önermekteydiler (Colonization of The Moon).

İnsanlı Ay keşfi 1968 yılında Apollo 8 ile başlamıştır. Apollo 8 üç mürettebatı ile Ay yörüngesine girmiştir.

1969 yılında ise ilk insan Ay'a ayak basmıştır. 1972 yılına kadar toplam altı insanlı iniş yapılmıştır. Tüm görevlerde bilimsel araştırmalar yapılmış ve örnekler getirilmiştir.

Sovyetler Birliği ise insanlı uçuş yerine Ay'a 1970 ve 1973 yıllarında iki robotik araç göndermiştir. 1974 yılında ise Ay araştırmalarına son vermiştir.

Takip eden yıllarda birkaç faaliyet dışında önemli bir çalışma yapılmamıştır. Özellikle seksenli yıllarda soğuk savaşın bitmesi ile birlikte Ay çalışmaları büyük oranda azalmıştır. Doksanlı yılların ortalarından itibaren politik durum Ay'a kalıcı olarak dönme fikrine karşı olarak gelişmiş ve Ay'dan vazgeçilerek en uygun hedef olarak Mars belirlenmiştir. Günümüzde dahi "Önce Ay" ve "Doğrudan Mars" tartışmaları devam etmektedir. Bununla birlikte uzun süre kalmalı bir Mars görevi için henüz yeterli teknoloji ve tecrübenin bulunmadığı da açıktır (Benaroya ve Bernold 2008).

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA)'nin Clementine (1994) ve Lunar Prospector (1997) görevlerinde Ay'ın kutuplarında buz bulunduğuna dair kanıtlar elde edilmesi tartışmaları yeniden alevlendirmiş, ancak daha sonraki çalışmalarda tahmin edilenden çok daha az buz bulunduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte hâlâ kullanılabilir hidrojen rezervleri bulunduğu düşünülmektedir.

1997 yılında Rusya Federal Uzay Ajansı Luna-Glob keşif programını açıklamıştır. Bu programa göre 2012-2015 yılları arasında planlanan dört görev ile Ay'ın insansız keşfi sağlanacak ve 2020 yılında robotik Ay üssü kurulacaktır. Bu üste; güneş enerjisi istasyonu, iletişim istasyonu, bilimsel istasyon vb. bölümler bulunacaktır (Luna-Glob).

Uzay faaliyetlerini büyük oranda geliştiren bir diğer ülke olan Çin, Ay'la ilgili de çalışmalar yapmaya başlamıştır. 2001 yılında Çin uzun vadeli uzay planını açıklamıştır. Buna göre Ay üssü kurulması 2030'dan sonrasına bırakılmıştır (Colonization of The Moon).

14 Ocak 2004 tarihinde başkan G.W. Bush, ABD'nin uzay politikasını ifade eden Uzayın Keşfi Vizyonu (Vision for Space Exploration)'nu duyurmuştur. Bir yarış değil uluslararası işbirliğine açık bir macera olarak vurgulanan bu vizyon temel olarak "Ay, Mars ve ötesi"ni amaçlamaktadır. Bu vizyona göre uzay mekiği programı sonlandırılacak ve yerine yeni fırlatma sistemleri ve ayrıca Orion adı verilen bir mürettebat taşıma aracı geliştirilecek, 2008 yılından itibaren Ay'ın robotik uzay araçları ile keşfi, 2020 yılında ise insanlı görevler başlayacaktır (Dupasa ve Logsdon 2007).

Bu vizyona uygun olarak NASA 2005 yılında Ares-1 ve Ares-5 fırlatma araçlarının geliştirilmesine karar vermiştir. Ares-1 insanlı Orion uzay aracını fırlatmak için tasarlanmıştır. Yapılan planlamalara göre 2014 yılında ilk görevini gerçekleştirecektir.

2018 yılında hazır olması planlanan Ares-5 ise bugüne kadar geliştirilen en büyük taşıma kapasitesine sahip insansız fırlatma aracı olacaktır.

NASA ayrıca vizyon doğrultusunda Ay'ın robotik keşfi ve için Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) ve Lunar CRater Observation and Sensing Satellite (LCROSS)'ı geliştirmiştir. İki araç da 17 Haziran 2009 günü dört saat arayla fırlatılmıştır.

Bu iki robotik uzay aracından ilki olan LRO'nun, Ay'ın kutupsal yörüngesinde asli olarak bir Dünya yılı görev yapması için planlanmıştır. Bununla birlikte isteğe bağlı olarak, beş yıllık sürede Ay yüzeyinde görev yapacak araç ve cihazlar için de iletişim rölesi görevi görebilecektir. LRO'nun görevleri arasında; Ay'ın ayrıntılı haritasını çıkarmak, Ay yörüngesindeki radyasyon şartlarını belirlemek, su buzu bulunabilecek kraterleri ve muhtemel iniş bölgelerini belirlemek bulunmaktadır.

Diğer robotik uzay aracı olan LCROSS ise fırlatıldığı Atlas-5 roketinin Centaur üst kademe roketinin güney kutbu yakınındaki sürekli karanlıkta kalan bir kratere çarpması sonucu havaya kalkacak toz bulutunun içinden geçerek veri toplayacak ve bu verileri canlı olarak Dünya'ya gönderecek, bu çarpmadan dört dakika sonra da kendisi başka bir kratere çarparak aynı etkinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu iki toz bulutu, Dünya'dan da incelenebilecektir. Bu sayede, daha önce fırlatılan Clementine ve Lunar Prospector görevlerinde tespit edilen Ay'daki su buzu ile ilgili bulguların onaylanması umulmaktadır (NASA Mission To Seek Water Ice On Moon Heads To Florida For Launch).

2007 yılında ise Google Lunar X-Prize, yarışması duyurulmuştur. Buna göre, bütçesinin en az %90'ı özel sektöre ait olarak Ay'a ilk robotik aracı gönderip, Ay yüzeyinde en az 500 m. hareket ettirip veri gönderilmesini sağlayabilen ekip ödülün sahibi olacaktır.

22 Ekim 2008 tarihinde Hindistan Chandrayaan-1 uzay aracını Ay yörüngesine fırlatarak Ay çalışmalarına katılmıştır. Yüzeyi incelemek ve yüzeyin kimyasal ve mineralojik haritasını çıkarmak gibi görevleri olan araç ayrıca Shackleton kraterinin yakınına çarpacak bir birim de içermekte idi. Bu birim 14 Kasım 2008 tarihinde uzay aracından ayrılarak yüzeye çarpmıştır. Çarpmanın amacı daha öncekilerde olduğu gibi Ay'da su bulunup bulunmadığı sorusuna cevap aramaktır (Chandrayaan-1).

Bu araç taşıdığı mini-SAR olarak bilinen radar görüntüleme kamerası ile Ay yüzeyini inceleyecektir. Kamera radar sinyallerini kullandığından sadece görünür bölgelerin değil hiçbir zaman güneş ışığının ulaşamadığı derin kraterlerin dipleriyle ilgili de veriler elde edebilmektedir (Indian Lunar Orbiter Sends Back Images To Establish Water Presence On Moon).

2.5 İnsanoğlu Neden Ay'da Üs Kurmalıdır?

Ay üzerinde bir üs kurma fikri birçok kişi tarafından heyecanla karşılanmışken karşıt görüşteki bir kısım insan tarafından ise özellikle yüksek maliyeti nedeniyle kabul görmemiştir. Fikir vermesi açısından Ay üzerinde kalıcı bir insanlı üs kurmanın sebeplerini ortaya koymak yararlı olacaktır. Genel olarak Ay üssü kurma amaçlarından dokuz ana başlık altında bahsedilebilecektir.

2.5.1 Bilimsel çalışmalar

NASA'nın Aralık 2006'da yaptığı açıklamaya göre Ay'da yapılabilecek 181 farklı bilimsel çalışma mevcuttur (Lunar Exploration Objectives).

Ay'ın bilimsel yönden büyük önemi, yüzeyindeki oluşumların çok eski tarihlerden beridir silinmemiş olması gerçeğinden kaynaklanmaktadır (çoğunlukla 3 milyar yıldan daha eski, bazı bölgelerde ise Ay'ın ortaya çıktığı 4,5 milyar yıl öncesine dayanmaktadır). Ay yüzeyi karasal bir gezegenin jeolojik evriminin kanıtlarını; Dünya, Venüs ve Mars gibi daha karmaşık olan gezegenlerden daha çok barındırır. Bunun da ötesinde, Ay'ın dış katmanları, göktaşı yağmurları, gezegenler arası toz yoğunluğu, güneş rüzgârı akımı, galaktik kozmik ışını akımı gibi Güneş Sistemi ortamının milyarlarca yıl önceki kanıtlarını da barındırır. Bu kanıtlara sahip olabilecek diğer gökcismi olan Merkür'e erişebilme şartları düşünüldüğünde Ay, Güneş Sistemi'nde bu kanıtlara sahip olan tek gökcismi durumundadır (Crawford 2004).

Ay'ın oluşumu ile ilgili birkaç farklı teori ortaya atılsa da ortak olan düşünce, Ay ile Dünya'nın yaklaşık aynı zamanda oluştuğu yönündedir. Dolayısıyla Ay, geçen zamana karşın değişime uğramaması nedeniyle gezegen oluşumuna yakın bir örnek oluşturmaktadır. Ay'ın küçük oluşu ve dinamik olmayan içyapısı sayesinde iç kısımları, Güneş Sistemi'nin ilk zamanlarından beri korunmaktadır. Ay'ın incelenmesi sonucunda gezegen oluşumu süresince bir gezegenin iç katmanlarının nasıl katılaştığı ve katmanlara ayrıldığı büyük ölçüde anlaşılabilir. Dünya'da ise depremler, yanardağ faaliyetleri gibi doğal aktiviteler sayesinde bu izler silinerek kaybolmuştur.

Dünya'ya tehdit oluşturabilecek yakın cisimlerin takibi için Ay'a bir alıcı yerleştirilmesi sayesinde her türlü yakın cismin yörüngesini ve diğer özelliklerini belirlemek çok daha kolay olacaktır. Böylece Dünya ve Ay'a muhtemel bir çarpma durumunda oluşacak hasarın büyüklüğü hakkında da bilgi edinilebilecektir (Şener ve Derman 2007).

Ay'da atmosfer olmaması, aşırı sıcaklık değişimleri gibi benzersiz çevre koşulları robot teknolojisi, atomik parçacıkların çarpıştırılması, yaşam destek sistemleri (LSS), süperiletkenler ve malzeme bilimi gibi Dünya şartlarında gelişmesi zor olan bilimsel çalışmalar için fırsatlar sunmaktadır (Schrunk 2008).

Ay'ın atmosfersiz ortamında eriyik haline getirilen malzemelerden gazlar kendiliğinden uçarlar ve ayrıca eriyiğe katılacak bir atmosferik gaz da bulunmamaktadır. Bu yüzden yüksek derecede saflaştırılması gereken metal, cam ve diğer malzemelerin üretim işlemleri için Ay idealdir (Schrunk vd 2008).

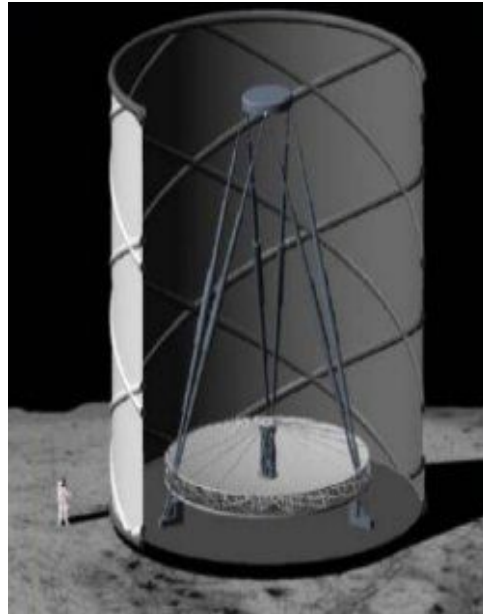
Dünya'da yapılması çok riskli sayılan biyolojik deneylerin yapılabilmesi için ay üzerinde bir analitik biyolojik tehlike laboratuvarı kurulabilecektir. Rekombinant DNA teknolojisi ve bakteriler, virüsler ve zehirler gibi biyolojik tehlike yaratacak malzemeleri de içeren deneyler bu laboratuvarı çevreye ve bölgedeki yaşam formlarına zarar vermeksizin güvenli bir şekilde yapılabilecektir. Ayrıca bu laboratuvarı Güneş Sistemi'nin farklı bölgelerinden gelen tehlike potansiyeli bulunan örnekler de incelenebilecektir (Schrunk 2008).

2.5.2 Gözlem

Ay'da atmosfer bulunmaması nedeniyle Ay yüzeyinden atmosfer kısıtlaması olmadan radyo teleskoplarla derin uzayın gözlenmesi sağlanabilecektir. Özellikle Ay'ın uzak bölgesinde Dünya'dan kaynaklanan radyo gürültüsü bulunmayacağından gözlemciler için büyük bir avantaj olacaktır. Evrenin daha önce bu frekanslarda hiç gözleminin yapılmamış olması nedeniyle, birçok yeni keşfin yapılması mümkün olacaktır. Güneş rüzgârları ve derin uzaydan gelen kozmik ışınlar ile ilgili uzaya yerleştirilen çoğu bilimsel uydu, Dünya'nın manyetosferi içinde kaldığı için, bu bölgelerden yapılan gözlemler Dünya atmosferi tarafından kısıtlandığından, hassas gözlem yapılması mümkün olmamaktadır. Aynı şekilde Dünya'dan yapılan gözlemler de atmosferden etkilenir. Ay'da atmosfer bulunmaması nedeni ile Güneş içinde gerçekleşen süreçlerin ve uzay boşluğundan gelen kozmik galaktik ışınımın özellikleri tam olarak açığa çıkarılabilecektir (Şener ve Derman 2007).

Bugüne kadar uzaydan yapılan gözlemlerde kullanılan teleskoplar mevcut fırlatma sistemlerinin kapasiteleri ile sınırlı idi. Ancak yakın dönemde uluslararası tanınmış astronom ve optikçilerden oluşan bir ekip, şimdiye kadar yapılmamış büyüklükte bir teleskop yapmak için bir yol geliştirmiştir. Eğer sıg bir kaba su konur ve çevrilmeye başlanırsa, su parabolik bir şekil alacaktır. Bu şekil, teleskop aynasının şeklidir. Dünyada, eğer su kabı tam yatay tutulabilir ve düşük titreşimli bir yatak üzerinde sabit bir hızda döndürülebilirse, bir sıvı ayna oldukça düzgün ve kusursuz bir şekilde elde edilebilecektir. Kabin çok hızlı döndürülmesine gerek yoktur. Laboratuvar ortamında dört metre çapında bir ayna saatte 5 km hızla döndürülerek meydana getirilmiştir. Ay'da düşük yerçekimi nedeniyle daha düşük hızlar da yeterli olacaktır (Şekil 2.1.).

Dünya'daki en büyük sıvı aynalı Kanada'da yapılan 6 metre çapındaki teleskopudur. Teleskopun toplam aynı boyuttaki katı aynalı bir teleskopun maliyetinin yaklaşık



teleskop,
Zenith
maliyeti,

%1'idir.

Dünya'da
sıvı
aynalarda
genelde
civa

Şekil 2.1. Ay'da Yapılması Planlanan Sıvı Aynalı Teleskop Tasarımı (http://science.nasa.gov/headlines/y2008/09oct_liquidmirror.htm web sayfasından alınmıştır (erişim:9 Mayıs 2009)).

kullanılmaktadır. Cıva oda sıcaklığında sıvı olarak kalmakta ve gelen ışığı neredeyse gümüş kadar iyi yansıtmaktadır. Ancak Ay yüzeyinde cıva kullanılamayacaktır. Çünkü çok ağır olduğundan fırlatma maliyeti çok yüksek olacaktır ve ayrıca boşluk ortamında hızlı bir şekilde buharlaşacaktır.

Uzmanlar sıvı aynada kullanılmak üzere iyonik sıvılar olarak bilinen bir sınıf organik bileşikler üzerinde çalışmaktadırlar. İyonik sıvı temelde eritilmiş tuzdur. Bu tuzlar neredeyse hiç buharlaşmamakta ve ayrıca çok düşük sıcaklıklarda dahi sıvı kalmaktadır.

Bu eriyik sudan çok az yoğundur. Kendisi her ne kadar yansıtıcı özellikte olmasa da, dönme sırasında sanki katıymış gibi çok ince bir gümüş tabaka ile kaplanabilecektir. Bu şekildeki sıvı ayna ne buharlaşacak ne de donuklaşacaktır.

Teleskopun sürekli karanlıkta kalan kraterlere yerleştirilmesiyle kızıl ötesi gözlem için en uygun ortam sağlanmış olacaktır. Aynanın döndürülmesi için gerekli enerji ise kratere yakın yüksek bölgelere yerleştirilen güneş pilleri ile sağlanabilecektir.

Gerçekte, sıvı aynalı bir teleskop kolay üretimi ve düşük taşıma kütlesi ile idealdir. Tek ihtiyaç duyulacak şey su kabı, bu kabı sürtünmesiz bir şekilde taşıyacak bir taşıyıcı ve sürekli döndüren bir motordur. 20 m çapında bir teleskop için gereken malzeme sadece birkaç ton olacaktır (Liquid Mirror Telescopes on the Moon).

2.5.3 Uzayın kolonileştirilmesi

Artan Dünya nüfusu ve azalan kaynaklar göz önüne alındığında mümkün olduğunca erken bir dönemde Dünya dışı yerleşimin sağlanması gerekmektedir. Bu yerleşimin en kısa sürede sağlanması için en uygun gök cismi ise Ay'dır.

Ay aynı zamanda daha sonrası için planlanan Mars görevi için gerekli çalışmaların yapılması ve test edilmesi için önemli bir merkez işlevi görecektir. İnsanlı Mercury ve Gemini görevlerinden elde edilen tecrübelerle Apollo görevinin başarıya ulaşmasına benzer şekilde Ay üssü çalışmaları da Mars yolculuğunun başarılı olabilmesi için hayati öneme sahiptir (Toklu 2005).

Uzak gökcisimlerine gönderilecek uzay araçlarının Ay yüzeyinden fırlatılmasında gereken enerji ihtiyacı, Dünya yüzeyinden fırlatmaya göre 20 kat daha azdır. Ayrıca Ay kaynaklarından roket yakıtı elde etme çalışmaları devam etmektedir. Eğer bu çalışma başarılı olursa Ay'dan yapılan fırlatmalar çok düşük maliyetlerle sağlanabilecektir. Bunun yanında Ay yüzeyinden elektromanyetik kütle fırlatıcısı gibi yakıt gerektirmeyen fırlatma teknikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

2.5.4 Enerji ve hammadde kazanımı

Dünya atmosferi güneş ışınlarının yüzeye ulaşmasını büyük ölçüde engellemektedir. Bu nedenle de güneş enerjisinden yüksek oranda yararlanılamamaktadır. Ancak Ay'da atmosfer olmadığından, Güneş'ten yüksek verimlilikte enerji elde edilerek hem Ay üssünde kullanılabilir hem de mikrodalga veya lazer sistemleri ile Dünya'ya aktarılabilir (Ruess vd 2006).

Ay'dan elde edilmesi planlanan hammaddelerin başında ise ^3He gelmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi uzun vadede termonükleer füzyon reaktörleri için en uygun yakıt olması beklenen ^3He Dünya'nın aksine Ay'da bol miktarda bulunmaktadır (Colonization of The Moon).

^3He dışında Ay'da yüksek miktarlarda bulunan alüminyum, demir gibi metaller de hem Ay üssünde kullanılabilir hem de Dünya'ya gönderilerek burada kullanılması sağlanabilecektir.

2.5.5 Ticaret

Bugün sahip olduğumuz teknolojinin önemli bir bölümü, uzay araştırmaları için geliştirilen teknolojinin bir yan ürünüdür. Enerji, bilgi işleme, nanoteknoloji, biyoteknoloji ve malzeme konusunda yeni teknolojiler genellikle uzay araştırmalarının yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır.

Uzay, günlük hayatta sıkça kullanılan birçok uygulamaya ait teknolojinin araştırılıp geliştirildiği bir laboratuvar görevi görmektedir. Çeşitli cihazlar, gıdalar, giysiler ve malzemeler uzayda aşırı koşullarda geliştirilmekte ve insan yaşamı için yararlı hale getirilmektedir. Bilim insanlarına göre, önümüzdeki elli yıllık dönemdeki teknolojik yenilikler toplumların tamamen değişimine neden olacaktır.

Akıllı kıyafetler, mikrodalga fırın, cırt cırt bant, silikon, teflon, polikarbonat, kevlar, barkod, hava filtresi vb. birçok keşif uzay çalışmaları sırasında keşfedilmiş ve geliştirilmiştir (Cassan 2008).

Ay üssü çalışmalarında geliştirilen teknolojilerin yan ürünlerinin Dünya ticaretine dâhil edilmesi ile de Dünya ekonomisinin alanı genişletilecek, yeni çalışma kolları ortaya çıkacaktır.

2.5.6 Uzay turizmi

Uzayın nerede başladığı ile ilgili tartışmalar günümüzde de sürmekte olsa da Uluslararası Havacılık Federasyonu tarafından deniz seviyesinden 100 km. yukarıda uzayın başladığı kabul edilmektedir. Ansari X Prize için de 100 km esas alınmış ve bu yüksekliğe çıkan SpaceShipOne başarılı kabul edilmiştir (Seedhouse 2008).

Dolayısıyla deniz seviyesinden 100 km mesafenin yukarısına yapılan yolculuklar uzay yolculuğu sayılacaktır. Ancak bu yükseklikte yörüngede tutunmak mümkün olmamakta, uzay araçları yaklaşık 160 km'den sonra yörüngede tutunabilmektedirler. Uzayın alt sınırı ile yörüngede tutunulabilen yükseklik arasında kalan bölge ise yörünge altı bölge olarak tanımlanmaktadır.

Turizm, dünyanın en büyük sektörü durumundadır ve bir noktadan sonra Dünya'nın sınırlarının aşılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Birçok şirket uzay turizminden payını almak için çalışmalar yapmaktadır. Hatta bazıları yörünge altı uçuşlar için rezervasyonları kabul etmeye başlamışlardır (Harrison 2001).

Uzay turizmi ile ilgili olarak üç aşama tanımlanmaktadır. Bunlar yörünge altı, yörünge ve yörünge ötesi (Ay, Mars, Göktaşları, Europa vb.) uzay seyahatleridir. Günümüzde öncelikle yörünge altı uzay seyahatleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Düzenli uçuşların başlamadığı günümüzde bile uzay turizmi konusunda çalışma yapan otuzdan fazla ticari şirket bulunmaktadır (Seedhouse 2008).

Uzay seyahati ile ilgili ilk pazar araştırması 1993 yılında Japonya'da yapılmıştır. Bu çalışmada halkın büyük çoğunluğunun Dünya dışı seyahat yapmak istediğini ifade etmesi ile özellikle yörünge altı uzay turizminin gerçekleştirilmesi konusunda büyük ilerleme yaşandığı görülmüştür.

Günümüzde yörünge altı uzay seyahatleriyle ilgili gelişmelerin yörünge seyahatlerine göre daha fazla olmasının en büyük nedeni ise yörünge altı araçları ile yörünge araçları arasında büyük bir teknik fark bulunmasıdır. Bu teknik farkların en önemlisi, yörünge araçlarının yörüngeye çıkabilmesi için yörünge altı uzay araçlarına göre 8 kat daha hızlı olması gerekmesidir. Buna bağlı olarak itici güç ihtiyacı yörünge altı uçuşlara göre 64 kez fazladır. Aynı şekilde atmosfere tekrar giriş için gerekli enerji ihtiyacı da daha fazladır. Ayrıca daha düşük kanat yüklemesi nedeniyle atmosfere girişte daha fazla ısıl yüke maruz kalmaktadırlar. (Collins 2006).

Virgin Galactic şirketi yörünge altı uzay uçuşu için 190.000 dolarlık bir ücret belirlemiştir. Bu ücrete; uçuş öncesi sağlık denetimi, üç günlük uçuş öncesi eğitim ve parabolik yörünge altı uzay uçuşu dâhil edilmiştir (Seedhouse 2008). Bu uçuş; yaklaşık 100 km'lik bir yukarı yolculuğu, beş dakikalık yerçekimsiz ortamda geçirilen süreyi ve dönüş yolculuğunu kapsamaktadır. Bu seyahat için verilen eğitimin süresi en az 3 gündür (Seedhouse 2008).

Bununla birlikte bugüne kadar uzaya çıkan tüm turistler yörünge seyahati yapmışlardır. 2001 yılında Dennis Tito ile başlayan uzay turizmi kapsamında toplam 6 kişi uzay seyahati yapmıştır. Bu gezilerin tamamı Soyuz uzay aracı ile yaptırılmış ve turistler ödedikleri ortalama 25 milyon dolar karşılığında ISS'de 9-15 gün yaşamışlardır.

Günümüzde insanların uzaya çıkabilmesi için kullanılabilecek üç araç bulunmaktadır; ABD'nin uzay mekikleri ile Rusya'nın Soyuz ve Çin'in Shenzhou uzay araçları. Uzay turizmi için ise bunlardan sadece yukarıda da bahsedildiği gibi Soyuz kullanılmaktadır. Uzaya çıkmak için yeterli alternatifin olmaması, uzay turizmini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Yeniden kullanılabilir fırlatma araçları gibi bir gelişme uzay turizminde önemli gelişmeler sağlayabilecektir. Uzaya düşük ücret ve düşük riskle ulaşmak uzay turizmi pazarı için hayati konulardır (Goehlich 2008).

Yapılan hesaplamalar, yörünge seyahatinin ticari uzay araçları ile yapılmaya başlanmasıyla birlikte ücretin yaklaşık 5 milyon dolar civarında olacağını

göstermektedir. Bu ücret, uçuş sayısının artması ile çok daha düşük bir seviyeye inebilecektir (Seedhouse 2008).

Uzay turizmi bir kez başladığında dinamik bir şekilde büyüyerek Ay turizminin de gerçekleşmesini sağlayacaktır. Uzay yolları ve yörüngesel otel şirketlerinin kurulmasından sonra tatil köyleri, sıfır yerçekimli spor tesisleri de hızla kurulacaktır. Ay, üzerinde kurulacak yerleşim ve konaklama noktaları ile turizm için gerekli tesisleri sağlayacaktır (Akoğlu 2006).

Bununla birlikte turizm ister istemez yerel ekolojiye zarar vereceğinden özellikle Ay ortamında gerekli tedbirlerin alınması, Ay ortamının korunmasını sağlayacak ve yapılacak bilimsel araştırmalara engel olmayacaktır. Bu amaçla; öncelikle Ay'ın çevresindeki bölgenin roket yakıtlarıyla kirlenmesinin önlenmesi, Ay'ın uzak tarafındaki sessizliğin bozulmaması, araştırma ve üretim bölgelerinin korunması sağlanmalıdır (Collins 2006).

Uzay turizmi ile ilgili her başarı, diğerlerinin başarılması için öncülük edecek ve büyüme katlanarak artacaktır. Faaliyetlerin artması maliyetleri düşürdüğü gibi güvenliği de artıracaktır. Her ne kadar gereksiz bir uğraş olarak görülebilecek olsa da, uzay turizmi hizmetlerinin büyümesi sonucunda insanlık için ekonomik, politik ve kültürel birçok faydanın elde edilmesi mümkün görünmektedir (Collins 2006).

2.5.7 İnsanlığın uzay çalışmalarına ilgisinin artırılması

Tarih boyunca her zaman atılan büyük bir adım veya ortaya konulan büyük bir yenilik insanlığın ilgisini çekmiş, yeni çalışma ve gelişmeleri tetiklemiştir. İlk uydunun uzaya gönderilmesi ve insanlığın Ay'a ayak basması bunun en güzel örneklerindendir. Ancak yapılan araştırmalarda özellikle genç nüfusun bilimsel çalışmalara ve uzaya karşı ilgilerinin zaman geçtikçe azaldığı ortaya çıkmıştır. Bu ilginin azalması, teknolojinin gelişiminin ve uzay çalışmalarının zayıflamasına neden olacaktır. Ay üssü yapımı ile bu ilginin artırılması da amaçlanmaktadır.

2.5.8 Uluslararası ortaklık

ISS gibi bir çalışma bile eskiden düşman olan ülkeleri küçük bir bölmenin içinde beraber çalışmaya ikna edebiliyorsa, Ay'a dönüş projesi çatışan milletler arasında çok daha büyük bir ortaklık ve barışın ortaya konmasına neden olabilecektir.

Ay projesinin uluslararası bir ortaklık gerektirmesinin birçok sebebi bulunmaktadır. Öncelikle, tek bir ülke tarafından bu çalışmaların yürütülmesi projenin sınırlı kalmasına ve gereksiz tekrarların ortaya çıkmasına neden olacaktır. İkincisi, birçok ülkenin onayladığı uluslararası uzay anlaşmaları gereğince uzay çalışmaları barışçıl ve tüm dünya insanları için yararlı olmak zorundadır. Üçüncü olarak, ay üssü planlaması, inşası ve operasyonlar; ülkeler arasında işbirliği ve büyümeye katkı ve barışçıl ilişkilerin güçlendirilmesi potansiyeline sahip bulunmaktadır (Ruess vd 2006).

2.5.9 Devlet politikaları

Ülkeler arasında büyük devrimler her zaman liderliğin kazanılmasında etkili olmuştur. İlk uyduyu ve ilk insanı uzaya gönderen Sovyetler Birliği, Ay'a ayak basılmasıyla birlikte uzay alanındaki üstünlüğünü ABD'ye kaptırmıştır. Bugün de Dünya dışında bir üs kuran ülke liderliği elde edecektir.

Dünya dışında en kısa sürede üs kurulabilecek gökcismi ise Ay'dır. Ayrıca mevcut tecrübeler Ay görevini daha emniyetli kılmaktadır ve Ay görevi nedeniyle yönetim herhangi bir bedel ödemek zorunda kalmayacaktır. Ayrıca bir ülke Ay üssü kurmazsa, diğerleri kuracaktır.

Uzay alanında yeterli teknolojiye sahip olan ülkelerin tamamı günümüzde Ay üssü planı yapmakta olduklarından eğer bunlardan herhangi biri Ay üssü yarışının dışında kalmayacaktır. Özellikle uzay konusunda ortak çalışmalara istekli olan Çin, bu yarışın hız kazanmasını sağlamaktadır.

2.6 Ay'ın Avantaj ve Dezavantajları

Dünya'nın dışında insanoğlunun yerleşmesinin ekonomik açıdan olanaklı ve bilimsel açıdan yararlı olup olmadığı ile ilgili tartışmalar aslında bu fikrin ortaya atıldığı ilk günden beridir sürmektedir. Bunun yanında Dünya dışı yaşam için tercih edilecek gökcismi ile ilgili tartışmalar da devam etmektedir. Tüm bu tartışmaları bir kenara koyarsak; Ay'ın, Dünya dışında yerleşim için sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar aşağıda belirtilmiştir.

2.6.1 Avantajlar

Ay, üzerine kurulacak bir üssün yapımında ve radyasyondan korunma gibi birçok faaliyette büyük malzeme kaynağı sağlamaktadır.

Ay'dan uzaya herhangi bir cisim göndermek için gereken enerji miktarı, aynı cismi Dünya'dan uzaya göndermek için gerekli enerji miktarına göre çok daha düşüktür. Bu yüzden Ay, uzay araçları için fırlatma merkezi olarak kullanılabilir. Elektromanyetik kütle fırlatıcısı gibi bazı projelerle cisimlerin roketi ihtiyaç olmadan Ay'dan fırlatılabilmesine çalışılmaktadır.

Diğer gökcisimlerinin aksine Ay'a gitmekle ilgili insanlığın tecrübesi bulunmaktadır. İnsan yaşamının çok önemli hale geldiği günümüzde bilinmeyi yapmaya çalışmadan önce bilinenle tecrübenin geliştirilmesi riskleri azaltacaktır.

Ay'da atmosfer bulunmadığından güneş ışınları doğrudan yüzeye ulaşabilmekte ve bunun sonucunda güneş enerjisi üretimi kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ay yüzeyine kurulacak bir üs için alınacak tedbirlerle enerji sorunu yaşanmayacaktır.

Havada oksijen bulunmaması nedeniyle malzemelerde paslanmaya bağlı yıpranma olmayacaktır. Bunun yanında Ay yüzeyinde yapılara zarar verebilecek herhangi bir rüzgâr faaliyeti de bulunmamaktadır. Ay yüzeyinde sismik faaliyetler yok denecek kadar azdır. Bu nedenle yapı tasarımında deprem benzeri riskler dikkate alınmak zorunda değildir.

Dünya'ya göre Ay'da fiziksel hareket daha kolay sağlandığından Ay'da yeni eğlence/dinlenme uygulamaları ortaya konulabilecektir. Ayrıca fiziksel engelli kişiler için bir iyileştirme merkezi ve düşük yerçekiminin fizyolojik etkilerini inceleme merkezi oluşturulabilecektir.

Bakteri ve virüsler de dâhil Ay'da yaşam bulunmadığından ileri dönemlerde insanların yaşayacağı denetimli çevresel sistemlerin çeşitli örnekleri ortaya konulabilir. Ay'ın Dünya biyosferinden yalıtılmış halde bulunması sayesinde insanlı Ay üssü ve tarımsal faaliyetlerde zehirli yılanlar, akrepler, hamamböcekleri, çeçe sinekleri, veba, tüberküloz, sıtma mikrobi gibi zararlı haşerenin ve mikropların bulunmadığı ideal bir ortam oluşturulabilir.

Ayda kurulacak bir üs gözlem için en uygun imkânları sağlayacaktır. Ay'ın dönüşünün çok yavaş olması nedeniyle görünür ışıqla yapılacak gözlemler günlerce sürdürülebilecektir. Ay çevresinde kurulacak gözlem noktaları dizisi ile özel bir hedefe yönelik aralıksız gözlem yapılabilecektir. Ayrıca Ay'ın jeolojik olarak hareketsiz olması hassas çalışmalar için de kolaylık sağlamaktadır.

Bunların yanında 384,400 km. ile Ay, Güneş Sistemi'ndeki üzerinde üs kurulabilecek Dünya'ya en yakın cisimdir. Bu sayede;

- Dünya'dan Ay'a ulaşım için gerekli enerji miktarı diğer gök cisimlerine ulaşım için gerekli enerji miktarından çok daha azdır. Ay'a ulaşım da daha az yakıt harcanacağından daha fazla faydalı yük taşınabilecektir. Bu sayede gerekli malzemelerin taşınması için gerekli olan görev sayısı da azalacaktır.
- Yolculuk zamanı kısalmaktadır. Aya ulaşım süresi yaklaşık 100 saat iken örneğin Mars'a ulaşım süresi yaklaşık sekiz ay gibi bir süre almaktadır. Bu sayede radyasyon ve sıfır yerçekimi gibi nedenlerden kaynaklanan sağlık sorunları Ay yolculuğunda yaşanmayacaktır. Mars yolculuğu için ise özel önlemler alınması gerekmektedir.
- Kısa ulaşım süresi; acil durumlarda örneğin acil ameliyat gerektiren bir durumda, Dünya'dan Ay'a veya Ay'dan Dünya'ya hızlı bir şekilde erişimi mümkün kılmaktadır.
- Ay ile Dünya arasındaki iletişimde gecikme üç saniyeden daha az sürmektedir. Bu nedenle normale yakın sesli ve görüntülü iletişim sağlanabilmektedir. Bu gecikme diğer Güneş Sistemi'ndeki gökcisimlerinde dakikalarca ve hatta saatlerce sürebilmektedir. Örneğin Dünya ile Mars arasındaki iletişimde iki gezegenin yörüngedeki durumlarına bağlı olarak 8-40 dakika arasında gecikme yaşanmaktadır. Hayati konularda yaşanacak problemlerde Dünya'dan yapılacak yönlendirmeler için bahsedilen gecikmelerin mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir (Schrunk vd 2008).

2.6.2 Dezavantajlar

Uzun ay geceleri güneş enerjisinden faydalanmayı engelleyebilecektir. Ayrıca ay üssünün büyük sıcaklık farklılıklarına dayanıklı şekilde tasarlanması gerekecektir. Bu kısıtlamanın bir istisnası ise kutup bölgelerindeki güneş ışığını sürekliye yakın olarak alan bölgelerdir. Bu bölgelerde güneş ışığının olmadığı zamanlarda da yakın diğer bölgelerden ağ bağlantılarıyla enerji ihtiyacı karşılanabilecektir.

Ay, karbon ve azot gibi hafif elementlerden mahrumdur. Bununla birlikte kutuplara yakın bölgelerde hidrojen olduğuna dair bazı kanıtlar elde edilmiştir.

Ay çekiminin yerçekimine oranla çok düşük olması uzun vadede insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Bir aydan daha uzun süreli ağırlıksız ortamda bulunmanın, kemik ve kas erimesi ile bağışıklık sisteminin yok olması gibi fiziksel bozulmalara neden olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte ortaya konan bu durumlarla ilgili tüm araştırmalar sıfır çekim ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında günlük antrenmanlar gibi karşı önlemler ile düşük yerçekiminin zararlı etkilerinin kısmen önlenebileceği de ortaya konmuştur.

Ayda atmosfer olmaması nedeniyle sıcaklık farkları çok yüksek olmakta, ayrıca ay yüzeyini radyasyona karşı büyük oranda korunmasız bırakmaktadır. Her ne kadar aydan elde edilebilecek malzemeler, yapılacak üssün basit radyasyondan korunması için kullanılabilir olsa da üs dışındaki çalışmalarda radyasyona karşı koruma sağlanması bu şekilde mümkün olmayacaktır.

Ayrıca atmosferin bulunmaması nedeniyle uzaydan gelen göktaşları herhangi bir engellemeye uğramadan doğrudan ay yüzeyine çarpmaktadır. Bu da üsse büyük oranda zarar verecektir. Her ne kadar yapılacak yalıtımla bu hasar önlenilebilecek olsa da güneş panelleri gibi koruma dışında kalan malzemeler için hasar görme riski büyük olacaktır.

Ay tozu çok uzun zaman boyunca mikrometeoritlerin çarpması ve kötü havanın aşındırması sonucunda cama benzer keskin kenarlara sahip bir şekil almıştır. Ayrıca güneş ışınlarına maruz kaldığında pozitif yüklenmekte ve yapışkan bir hâl almaktadır. Ay tozu her şeye yapışmakta, malzemelere zarar vermekte ve insanları zehirleyebilmektedir.

Ay üzerinde ürün yetiştirilmesinde birçok problem ortaya çıkabilecektir. Örneğin 15 Dünya günü kadar süren ay geceleri, yüzey sıcaklığındaki gün içi büyük değişiklikler, güneş patlamalarının etkisi vs. Her ne kadar yapılan araştırmalarda Dünya'daki basıncın çok daha azında dahi bitkilerin büyütülebileceği ortaya konmuş olsa da atmosferin yokluğu nedeniyle Ay'da bitkiler kapalı bölmelerde yetiştirilebilecektir (Schrunk vd 2008).

3. YER SEÇİMİ

3.1 Yer Seçimini Etkileyen Kıstaslar

Radyo teleskopu ile yapılacak gözlemler için Ay'ın diğer tarafına kolay geçiş imkânı bulunmalıdır. Bunun yanında gözlemevi gibi cihazların yerleştirilmesi için düz bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Uygun konuma sahip bir tepe veya geniş bir krater önemli tasarım avantajları sunmaktadır. Ayrıca, cihazlar, bozulmalardan etkilenmemeleri için Ay üssünden belirli bir mesafe uzağa yerleştirilmelidirler. Dolayısıyla üssün inşa edileceği alanın yeterli genişlikte bir alana sahip olması gerekecektir.

Üssün hammadde kaynaklarına yakın olması gerekmektedir. Hammadde tercihinde ise ^3He ve oksijen öncelikli olacaktır. Daha sonra hidrojen, metaller gibi öncelikli yapı malzemeleri ve diğer yapı malzemeleri gelmektedir. Hammadde kaynağı olarak öncelikle regolit düşünülmektedir. Deniz bölgesi regoliti dağ bölgelerine göre hammadde yönünden çok daha zengindir.

Eğer umulduğu gibi Ay'da su buz rezervleri varsa, Ay üssünün bu rezervlere yakın kurulması avantajlı olacaktır. Teorik olarak su buzunun, kutup bölgelerindeki derin kraterlerin dip bölgelerinde bulunduğu düşünülmektedir.

Dünya ile iletişimin sağlanması için Ay'ın Dünya tarafı tercih edilmelidir. Eğer diğer taraf tercih edilirse iletişim için uydu desteği gerekecektir. Ancak, Ay'da bulunan Mascon (kütle konsantrasyonu) bölgeleri Ay yörüngelerinde farklılıklara yol açtığından ve yörünge düzeltmesi ihtiyacı doğurduğundan iletişimde yörüngede bulunan uydulara dayanan hatlar tercih edilmemektedir (Schrunk vd 2008).

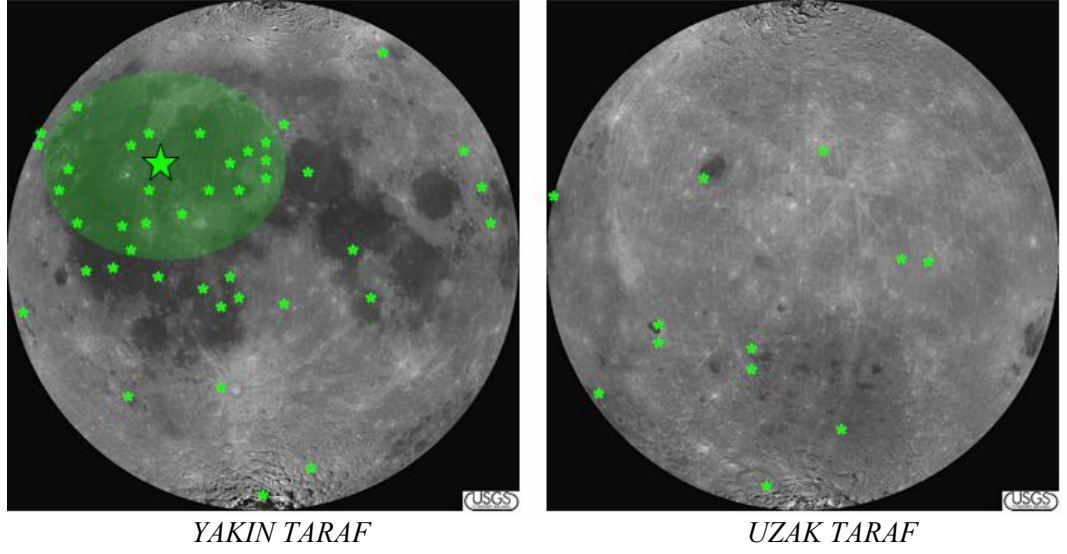
Enerji ihtiyacını karşılamak için sürekli güneş ışığı alınabilecek bir yer seçimi avantaj sağlayacaktır. Eğer bu kıstas sağlanmazsa birden fazla bölgede güneş panelleri yerleştirilerek bu sorun giderilebilecektir.

Tespit edilen Ay üssünün mevkii, bilimsel araştırmalar için farklı özellikteki arazi oluşumlarına kolay erişim imkânı sağlamalıdır. Bu kapsamda hem deniz bölgelerine hem de dağlık bölgelere yakın olmalıdır (Şekil 3.1.) (Exploration Lunar Architecture).

Mikrometeorit ve radyasyon konusunda Ay'ın Dünya tarafı, uzak tarafa göre nispeten doğal korumaya sahip bulunmaktadır. Dünya, Ay'ı kısmen de olsa korumaktadır.

Yüksek sıcaklık değişimlerinden korunmak amacıyla özellikle ısı değişimlerinin daha düşük olduğu kutup bölgeleri avantaj sağlayacaktır.

İniş ve kalkışlar için uygun bir alan bulunması gerekecektir.



Şekil 3.1. Ay Yüzeyinde Jeolojik Bakımdan İnceleme Yapılabilecek Alanlar. Küçük Yıldızlar Jeolojik Bakımdan İncelenebilecek Farklı Noktaları, Renklendirilmiş Bölge ve Büyük Yıldız ise Ay Üssü İçin En Uygun Bölgeyi göstermektedir (Heldmann vd 2006)).

3.2 Ay'ın Yerleşim Bölgeleri

Ay üssünün seçiminde dört farklı özellikteki bölge incelenerek bir tercih yapılması uygun olacaktır:

3.2.1 Kutup bölgesi

Ay üssü için yer seçiminde kutup bölgelerinin en avantajlı tarafı, Ay üssünün gereksinim duyacağı elektrik enerjisinin güneş ışınlarından elde edilebilecek olmasıdır. Ayın dönüş eksenini hemen hemen dönme eksenine dik olduğundan dolayı bu bölgedeki bazı yerlerde sürekliye yakın güneş ışığı alınabilmektedir. Güney kutbundaki Shackleton krateri yakınındaki Malapert Dağı, güneş ışığını yılın %87'sinde tümüyle, yılın %4'ünde kısmen almaktadır (Schrunk vd 2008).

Derin uzayın radyo teleskoplarla gözlenmesi için en uygun bölge, Dünya'dan sızan radyo gürültüsünden etkilenmeyen Ayın uzak tarafıdır. Kutup bölgesinde inşa edilecek bir üstten diğer tarafa geçiş kolaylıkla sağlanabileceğinden bu tercih astronomi gözlemi için avantaj sağlayacaktır.

Daha önceki çalışmalarda Ay'ın kutuplarına yakın bazı kraterlerde su buzu olduğuna dair bulgulara rastlanmıştır. Kuyrukluysıldızlar ve asteroitlerin yüksek miktarda su buzu içerdiği ve geçmiş dönemlerde Ay yüzeyine birçok kuyrukluysıldızın ve asteroitin çarptığı bilinmektedir. Bu su yüklü kuyrukluysıldız ve asteroitler Ay'a çarptığında gelen su buzları, yüzeyin yüksek sıcaklıklara maruz kalması nedeniyle buharlaşacak ve su sadece güneş görmeyen derin kraterlerin dip kısmında kalabilecektir. Suyun varlığı ispat edilirse kutup bölgeleri yerleşim için en uygun yer olacaktır.

Kutup bölgelerindeki sıcaklık değişiminin çok istikrarlı olduğu ve ortalama sıcaklığın -50 °C civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu sıcaklık ise Dünya’da Sibiry’a ve Antarktika’nın kış aylarındaki sıcaklığına yakın bir değerdir.

Güney kutup bölgesindeki Güneş Sistemi’nin en derin göktaşı çukuru olan Aitken Havzası dört milyar yaşındaki kayalardan oluşmakta olup bu bölgenin incelenmesi ile Güneş Sistemi’nin başlangıç yıllarının koşulları hakkında ipuçları sağlanabilecektir (Schrunk vd 2008).

3.2.2 Ekvator bölgesi

^3He , Dünya’da çok az bulunmasına rağmen özellikle nükleer füzyon araştırmaları için çok aranan bir gazdır. Güneş rüzgârları çok dik bir açı ile ay yüzeyine çarptığından Ayın ekvator bölgesi ^3He rezervinin en bol olduğu düşünülen bölgedir.

Ekvator bölgelerinde ilmenit ve oksijen taşıyan minerallerin bol olduğu bölgeler yaşam alanı için uygun bölgelerdir. İlmenit cevheri, Ay denizlerindeki bazaltın içinde yüksek miktarlarda bulunmaktadır. İlmenitik bazalt bulmak için astrofizik ve uzaktan algılama cihazlarıyla çalışma yapılabilir. Apollo 11 ve 17’nin Dünya’ya getirdiği örneklerle göre Oceanus Procellarum’un merkezinde ve batısında çok miktarda ilmenitik bazalt bulunmaktadır. Yapılan spektral analizlerde Oceanus Procellarum içindeki Lichtenberg kraterinde yoğun miktarda ilmenitik bazalta rastlanmıştır.

Birkaç sonda Fırtına Okyanusu bölgesine iniş yapmıştır. Bu bölgede uzun vadeli araştırma yapılabilecek Reiner Gamma anomalisi ve karanlık tabanlı Grimaldi krateri gibi pek çok alan ve yüzey şekillenmeleri bulunmaktadır (Schrunk vd 2008).

3.2.3 Ay’ın uzak tarafı

Ay’ın kendi ekseninde tam bir dönme hareketini, yaklaşık bir ayda tamamlaması nedeniyle Dünya’dan her zaman Ay’ın aynı tarafı görülmektedir. Ay’ın yaklaşık %41’lik bölümü ise Dünya’dan hiç görünmemekte olup bu bölgenin doğrudan Dünya ile iletişimi bulunmamaktadır. Ancak uzayda durağan bir noktada (L2 Noktası) bulunan bir iletişim uydusu ya da birden fazla uydunun kullanıldığı bir uydu ağı ile bu iletişim sağlanabilecektir.

Bununla birlikte Dünya’dan gelecek karışırtılardan etkilenmeyeceği için ayın uzak tarafı özellikle radyo teleskoplar için çok iyi bir çalışma ortamı sağlayabilecektir. Aynı zamanda atmosfer bulunmadığı için bu bölge optik teleskoplar için de uygun çalışma ortamları sağlanmaktadır. Bugüne kadar bu bölgede herhangi bir yüzey araştırması yapılmamıştır.

Bilim insanları aydaki en büyük ^3He rezervlerinin Ay’ın uzak tarafında bulunan denizlerde olduğunu tahmin etmektedirler. Ayrıca bu bölge Ay’ın Dünya’ya bakan tarafında bulunan kadar demirtitanyumoksit mineraline sahiptir. Ay’ın Dünya tarafındaki yüzey Dünya’nın manyetik alanı nedeniyle güneş rüzgârından kısmen korunmaktadır. Ancak diğer tarafın böyle bir korunma durumu yoktur ve bu yüzden büyük miktarda iyon akımına maruz kalmaktadır.

Özellikle Dünya ile doğrudan iletişim sağlanamadığı için bu bölge yerleşim için tercih edilmemektedir. Ancak gözlemevi gibi bazı tesislerin bu bölgede kurulması avantaj sağlayacaktır.

3.2.4 Lav kanalları

Yeryüzünün derinliklerinden herhangi bir şekilde yeryüzüne çıkan lav akıntılarının soğuyup sertleşmesi sırasında daha geç soğuyan iç bölümler akmayı sürdürmektedir. Lav kaynakları kurduğunda bir süre daha süzülen lavlar geride silindirik biçiminde bir boşluk bırakmaktadır. Lavlardan çıkan sıcak gazların basıncı bu boşlukların tavanlarının çökmesini engellemektedir. Lav tüpleri akışkanlığı ve eğimine bağlı olarak birçok kola ayrılabilir. Tavanın çökmesine engel olan sıcak gazlar bazı durumlarda tavanın yüzeye açılmasına neden olabilmektedir. Lav kanalları Dünya’da bulunduğu kadar Ay’da da bulunmaktadır.

Lav kanalları, Ay denizleri ile aynı zamanda oluşmuştur. Ay görevlerinden elde edilen bulgular, lav kanallarının özellikle Ay denizlerinin bulunduğu bölgelerde bulunduğunu göstermektedir. Ay’daki lav kanalları, Dünya’dakilerden farklı olarak daha uzun ve daha geniştirler. İçlerindeki sıcaklık neredeyse sabit olup yaklaşık -20°C ’dir (12 Questions About Lunar Lava Tubes).

Kullanıma hazır lav kanallarının tespit edilmesi halinde bilim insanlarının ve mühendislerin işleri çok daha kolay olacaktır. Çünkü Ay üssü kurmak için lav kanalları en ideal seçenekleri sunmaktadır. Sabit bir sıcaklık, mikrometeorit ve radyasyona karşı doğal koruma, yalıtımlı bir ortam, ay tozunun bulunmayışı, yapımı için Dünya’dan getirilecek malzemelerin ve inşaat faaliyetlerinin diğer seçeneklere göre çok az olması, üs tasarımında çok büyük bir esneklik sağlaması, çevre şartlarından kaynaklanan malzeme bozulması ve yorgunluğun olmaması, lav kanallarının avantajlı noktalarıdır.

Ancak, hâlihazırda lav kanallarının yeri tam olarak bilinmemektedir. Bu kanalların yerinin belirlenmesi için kullanılabilecek yöntemlerden biri olan radarlar, Ay yüzeyinin altındaki metaller nedeniyle verimsiz olmaktadır. Daha etkili araştırmalar için daha büyük radarlara ihtiyaç vardır. Diğer bir yöntem ise sismik ses sistemidir. Ay’ın kuru olması nedeniyle herhangi bir çarpma durumunda Ay uzun süre titreşmektedir. Bu da bu yöntemin uygulanmasının uzun sürelere ihtiyacı olduğu anlamına gelmektedir. Sismik incelemelerde kapsanan alan ise sadece birkaç km^2 olduğundan bu işlem çok uzun zaman alabilecektir (Lunar Lava Tubes).

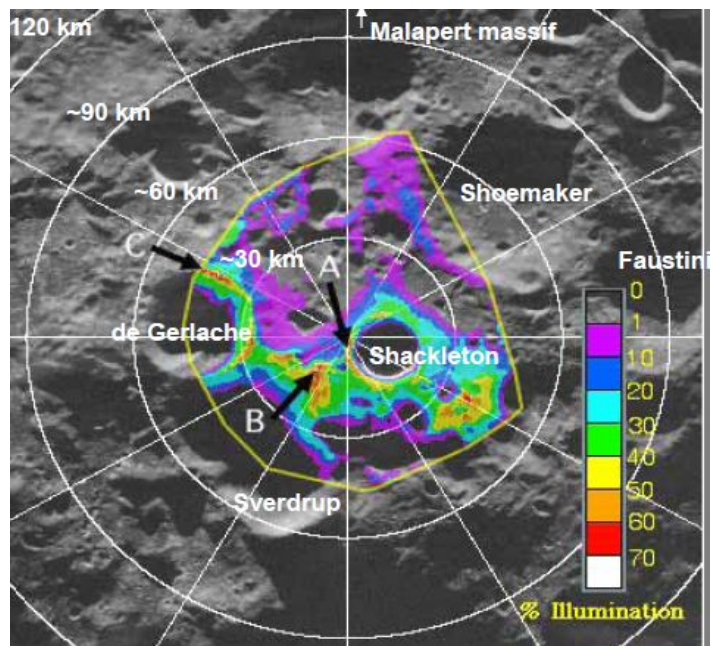
Bunun dışında lav kanalları bulunduktan sonra da bazı düzeltme işlemleri gerekmektedir. Özellikle kazı yapmanın zor olduğu Ay yüzeyinde lav kanalına giriş için bir tünel açılması kolay olmayacaktır. Ayrıca araştırmalardan elde edilen bulgulardan, lav kanallarından bazılarının çökmüş olduğu bilindiğinden bu kanalların kararlılıkları konusunda da şüpheler bulunmaktadır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Hadley Rille. Ay yüzeyinde birçok örneği bulunan bu vadiler daha önce mevcut olan lav kanallarının çökmesi sonucunda meydana gelmiştir. Resimdeki vadinin uzunluğu 125 km ve genişliği 1500 m civarındadır (Harland 2008).

3.3 Yer Seçiminin Yapılması

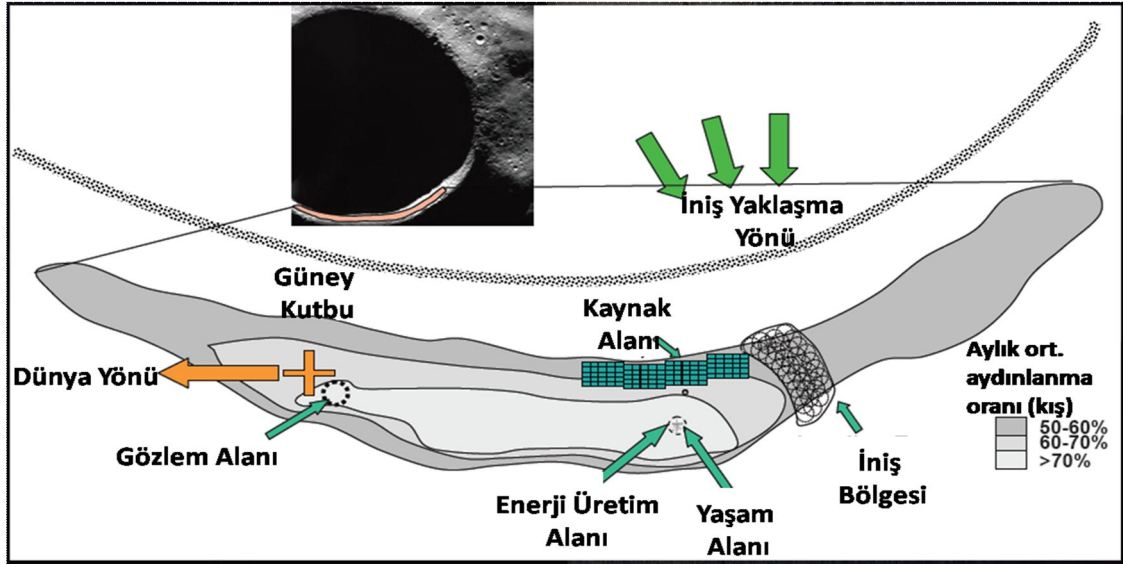
Aslında konu ile ilgilenen uzman ve bilim insanlarının üzerinde birleştiği nokta Ay üzerinde birden fazla Ay üssünün yapılması gerektiğidir. Özellikle kutup ve ekvator bölgelerinin birbirinden farklı özellikler göstermesi nedeniyle bu iki bölgeye de Ay üssü yapılması tüm ihtiyaçların hemen hemen tamamını karşılayabilecektir. Ancak mevcut şartlarda en azından başlangıçta tek bir Ay üssü yapılacağı kabul edilirse bunun için en uygun bölgenin Güney Kutup Bölgesi olacağı düşünülmektedir (Şekil 3.3.) (Schrunk vd 2008).



Şekil 3.3. Güney Kutup Bölgesi (Gruener 2007).

Yer seçiminde kutup bölgeleri, sahip oldukları beş temel avantaj nedeniyle tercih edilmektedir. Birinci olarak, enerji ihtiyacını karşılayacak olan güneş ışığı diğer bölgelere göre çok daha fazla alınmaktadır. İkinci olarak, ekvatorda sıcaklık farklılıkları gündüz gece değişimlerinde 250 °C'ye ulaşırken bu fark kutuplarda yaklaşık 50 °C olmaktadır. Üçüncü olarak, özellikle uzay araçlarında yakıt olarak kullanılacak olan hidrojen rezervlerinin kutuplarda daha fazla olduğu bilinmektedir. Dördüncü olarak, Ay'ın incelenmeye muhtaç jeolojik bölgeleri özellikle güney kutup bölgesinde daha fazla bulunmaktadır. Beşinci olarak, donanımlar ve bilimsel cihazlar güney kutbuna daha az yakıt ve daha buna bağlı olarak daha düşük maliyetle indirilebilmektedir (Seedhouse 2009).

Güney Kutup bölgesinde ise Ay üssü için adını Antarktika'nın kâşifi olan Ernest Shackleton'dan alan Shackleton Krateri'nin uygun olacağı düşünülmektedir. Kış döneminde %80 güneş ışığı almakta olan kraterin Şekil 3.4.'te belirtilen bölgesi 5000x750 m.lik bir alana sahip olup yerleşim için uygun özelliklere sahiptir (Exploration Lunar Architecture).



Şekil 3.4. Shackleton Kraterinde Yerleşim İçin Seçilen Bölge

(http://www.lpi.usra.edu/meetings/LEA/presentations/OpeningPlenary/Cooke_exploration_lunar_architecture.pdf web sayfasından alınmıştır (erişim:25 Mayıs 2009)).

Krater, 19 km. çapında olup, Aitken Havzası içinde bulunmaktadır. Ay'ın dönüş ekseninde bulunduğundan dolayı, kraterin iç kısımları sürekli karanlıktır. Kraterin kenar kısımlarının tepe noktaları ise sürekli güneş ışığı almaktadır. Ayrıca kraterden 120 km ötede bulunan 5 km yüksekliğindeki Malapert Dağı, Dünya'dan devamlı gözlenebilmektedir. Radyo yayın istasyonu ile bu noktadan Dünya ile haberleşme sağlanabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda bu krater kızılötesi teleskopları konuşlandırmak için de uygundur. Çünkü zemindeki düşük sıcaklıklar kızılötesi gözlemler için çok uygundur ve kraterin Güneş'i gören kenar noktalarına yerleştirilecek güneş pilleri bu teleskoplar için devamlı enerji sağlayabilecektir. Kraterin iç çeperinin tercih edilmesi sonucunda üssün güneş patlamalarından ve güneş rüzgârlarından daha fazla korunabilmesi de mümkün olacaktır.

4. İNSAN FAKTÖRÜ

4.1 Mürettebatın Bileşimi

İnsanlı uçuşların başlangıç dönemlerinde uçuş mürettebatı genellikle, aynı ülkeden pilot veya mühendislik altyapısına sahip erkeklerden seçilmekteydi. Bunun nedeni, ülkeler arasındaki uzay rekabeti ve görevlerin kısa sürmesi olmuştur. Ayrıca uzay uçuşları sadece temel faaliyetleri içerdiğinden farklı mürettebat bileşimine ihtiyaç duyulmamıştır. Günümüzde uzay uçuşları daha uzun sürmekte ve daha karmaşık görevler içermektedir. Bu nedenle de uluslararası işbirliği, donanım ve insan yeteneklerinin paylaşımı bir zorunluluk haline gelmektedir. Mürettebat arasındaki farklılıklar çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu farklılıkların doğru bir şekilde algılanması ve ortaya çıkacak sorunların değerlendirilerek en aza indirilmesi görevin başarılmasına büyük katkı sağlayacaktır (Kanas ve Manzey 2008).

4.1.1 Cinsiyet

Bayan ve erkek mürettebat yirmi yıldan fazla bir süredir bir arada uzay uçuşu yapmakta olup yapılan analizler kadınların erkeklerle eşit başarıyı göstermekte olduklarını ortaya koymaktadır. 1996 yılında ABD’li kadın uzay insanı Shannon Lucid Mir Uzay İstasyonunda iki Rus uzay insanıyla birlikte altı ay görev yapmıştır. Bu görev, farklı milliyet ve cinsiyetteki mürettebatın bir arada uzun süreli görev yapabileceğini ispatlamıştır. Bu eğilim ISS görevlerinde de devam etmiştir.

Dünya’da yapılan uzay benzetimlerinde kadınlar iyi başarıyı göstermiştir. Farklı ortamlarda yapılan çalışmalarda erkeklerden oluşan gruplarda sıkı bir rekabet ortamı olduğu ve kişisel konularda çok az yardımlaşma olduğu, kadınların bulunduğu gruplarda ise yardımlaşmanın daha fazla olduğu ve sorunlara daha hassas yaklaşıldığı ve kadınların daha uyumlu oldukları gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalar, kadınların daha hassas olmaları yanında kadınların bulunduğu ortamda erkeklerin de daha uyumlu davrandıklarını ortaya koymuştur. Bununla birlikte sınırlı koşullarda kapalı bir ortamda kadın-erkek gerginliklerinin ortaya çıkabileceği de tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda baştan çıkarma, rekabet ve taciz davranışları dahi tespit edilmiştir. Sonuçta kişiler arası ilişkilerde zekâ ve yetenek farklılıkları göz ardı edilebilecekken, cinsel farklılığın sorunlara neden olabileceği kabul edilmektedir (Kanas ve Manzey 2008).

Uzun süreli uzay görevlerinde eşleşme ve cinsel ilişkiler de göz önüne alınması gereken bir durumdur. Bu tür etkileşimler ve taciz gibi tek taraflı davranışlar, mürettebat arasında çekişmeye neden olup uyumu bozmakta, farklı katılımcı kuruluşlar bulunması durumunda bunların arasında da sıkıntıya neden olmaktadır. Kadınların karşı cinsten bir seçim yapmaları durumunda, daha çok yüksek rütbeli erkekleri tercih ettikleri saptanmıştır. Bu tercih her ne kadar diğer erkekler tarafından kabul edilmiş görünse de genellikle ortada haksız bir avantaj olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında mürettebatın göreve eşiyle veya sevgiliyle katıldığı çalışmalarda bu konuların genellikle bir sorun yaratmadığı gözlenmiştir.

Ortaya atılan bir görüşe göre rekabet ve çatışmaları en aza indirmek için mürettebatın evli veya sevgili çiftlerden seçilmesi gerekmektedir. Ancak Dünya’daki daha az stresli ortamlarda bile aldatma ve evlilik dışı ilişkiler bulunduğundan, uzay görevlerinde böyle

bir mürettebat oluşumunun aldatma ve kıskançlıkları önleyeceğini beklemek için hiçbir neden bulunmamaktadır. Platonik ilişkilerle yetinilmesi veya cinsel ilişkiden uzak durulması ihtimali ise uzun süre bir arada yaşayan sağlıklı ve enerjik insanlar söz konusu olduğunda gerçekçi değildir.

Sorunun çözümünde belki de en uygun seçenek, mürettebatın mümkün olduğunca bu tür sorunların ortaya çıkmasını neden olmayacak kişilerden seçilmesi olacaktır. Ayrıca mürettebatın bu konuda alacağı bir eğitim de ortaya çıkacak sorunları azaltacaktır. Belki de uzay kolonilerinde eşleşme veya yalnız kalmaların düşük çatışmalarla geçirilebildiği yeni sosyal sistemler ve alışkanlıkların geliştirildiği topluluklar ortaya çıkacaktır (Kanas ve Manzey 2008).

4.1.2 Kültürel farklılıklar

Uluslararası uzay görevlerinde mürettebat farklılıkları ile ilgili bir diğer konu kültürel farklılıklardır. Kültür kavramı, ulusal, örgütsel veya mesleki konuları içermektedir. Özellikle ulusal farklılıklar etkili olmaktadır. Daha önceki farklı uluslardan mürettebatın katıldığı uzay uçuşlarında çeşitli sorunlar yaşanmıştır. Bu farklılıklar özellikle altı ay veya daha uzun görevlerde büyük sorun oluşturabilmektedir.

Bazı sistematik çalışmalarda bu sorun ele alınmıştır. 1992 yılındaki ilk çalışmalardan birine ABD, AB, Kanada ve Japonya uzay ajanslarından 74 kişi katılmıştır. Çalışma sonunda, uluslararası operasyonları ve kişiler arası etkileşimleri engelleyebilecek 14 önemli kültürel ve kişilerarası iletişim faktörü tespit edilmiştir. Bu faktörler; dil, sözsüz iletişim teknikleri, görev ve ilişki odaklı davranış, sabır ve hoşgörü, karar verme süreçleri, kendine güven, kişilerarası ilgi, diğer kültürlerle saygı, kişisel sağlık koruma ve temizlik, cinsiyet rolleri ve önyargılar, çatışma yönetimi, diğer insanlara güven, planlama ve zaman yönetimi ve espri anlayışıdır (Kanas ve Manzey 2008).

Başka bir çalışmada ise uzay görevleri ile ilgili katılımcılar arasında sıkıntılara neden olan milli kültürlerinden kaynaklanan on alan belirlenmiştir. Bunlar; iletişim, kavrama ve karar verme, teknoloji yaklaşımı, kişilerarası etkileşim, iş, yönetim ve liderlik tarzı, personel sağlık koruma ve giyimi, yemek hazırlama ve yeme, din ve tatiller, eğlence ve yaşam estetiğidir. Bu çalışma sonunda hem mürettebat hem de görev denetim personeli için altı basamaktan oluşan çok kültürlü bir eğitim planlanmıştır. Bu basamaklar;

- Tüm eğitilenlere her personelin kültürel altyapısı ile ilgili bilgi verilmesi,
- Görev için önemi açısından yukarıda bahsedilen on alanın tanımlanması,
- On alan ile ilgili olarak eğitilenlerin kendi görev tercihlerini ifade etmelerine müsaade edilmesi,
- Bu tercihler ile ilgili olarak bir grup tartışması oluşturulması,
- Herkesin kabul edebileceği davranışların belirlenmesi,
- Yapılanların kayda alınması şeklindedir.

Uluslararası uzay görevlerine katılan dokuz ABD uzay insanının gözlemlenmesi sonucunda iletişimsizlik ve yanlış anlamadan kaynaklanan 17 olay tespit edilmiştir. Bu çalışmalara katılan herkesin ifade ettiği ortak nokta, kültürel konularda verilecek uçuş öncesi eğitimin bu sorunları büyük ölçüde azaltabileceğidir (Kanas ve Manzey 2008).

Aslında kültürel farklılıklardan kaynaklanan sorunlar sadece uzayda yaşanmamaktadır. Dünya'daki uzun süreli uluslararası çalışmalarda da aynı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunlara karşılık yapılan bazı çalışmalarda çok uluslu katılıma rağmen hiçbir sorun yaşanmadan görev tamamlanabilmektedir (Kanas ve Manzey 2008).

4.1.3 Mesleki güdülenme ve tecrübe

İnsanların farklı mesleki güdülenmeleri vardır. Mesleki olarak uzay insanı olanların uzman ve bilim insanlarına göre farklı hedef ve öncelikleri vardır. Bazı durumlarda farklı grupların mesleki güdülenmeleri ve tecrübeleri aynı şartlara farklı tepkiler vermelerine neden olacaktır.

Aynı durum Dünya'da da oluşmaktadır. Antarktika'da yapılan bir araştırmada denizci erlerde, genel nüfusa göre çok yüksek değerlerde bazı psikolojik belirtilere rastlanmıştır. Ayrıca kış süresince dışarıda ve aktif olarak kullanıldıkları halde erlerde bilim insanları ve teknisyenlere göre daha fazla psikolojik probleme rastlanmıştır. Bilim insanları, deneylerini tamamlamak ve bilimsel raporlarını yazmak için zaten zamanlarının çoğunu binaların içinde geçirdiklerinden bu duruma kolaylıkla uyum sağlayabilmişlerdir.

Ayrıca, bilim insanları ile olmayanlar arasındaki ayrılıklar çatışmaya neden olabilir. Örneğin, denizde bir bilimsel görevde bilim insanları tarafından daha fazla örnek toplayabilmek için görev süresinin uzatılmasına kızan, evini özleyen bir mürettebat, gece gizlice örneklerin saklandığı soğuk hava odasına girerek toplanan örnekleri denize atabilmektedir. Farklı mesleki altyapı ve güdülenmeye sahip insanların gruptaki diğer kişilerin rollerine saygı göstermesi ve işbirliği yapması görevin başarılmaması için önemlidir (Uzay Hastalığı ve Yiyecekler).

4.1.4 Kişilik

Mürettebat olarak psikolojik yönden uyumlu kişilerin seçilmesi, iletişimsizliği azaltacak ve uzun süreli uzay görevlerinde becerilerini en üst düzeye çıkarabilmelerini sağlayacaktır. Rusya, bir süredir mürettebat seçimi için psikolojik değerlendirme yöntemlerini kullanmakta iken, ABD'de bu doğrultuda bir seçim süreci uygulanmamaktadır. Geleneksel olarak bu yöntemlerde, psikofizyolojik durumlardaki davranışları ve paraşütle atlamak gibi durumlardaki tepkilerinden ölçülen bireysel stres direnci ağırlıklı olmaktadır. Kişilerarası etkileşime önem veren psikolojik testler mürettebat seçimi için uzay benzetim çalışmalarında kullanılmaktadır.

Yapılan uzay benzetimi çalışmalarında kişilik farkları ve yaklaşımlarının insanlar arası ilişkilerde ne kadar önemli olduğu ortaya konmuştur. Özellikle baskın tiplerin bir arada bulunduruldukları durumlarda rekabet ve çekişmenin daha yüksek boyutlara çıktığı gözlenmiştir (Kanas ve Manzey 2008).

4.1.5 Mürettebat bileşiminden kaynaklanan sorunların çözümü

Genellikle gruptan, demografik ve kişisel özellik olarak farklılık gösteren ve kabul görmeyen fikirlere sahip olan bir kişi günah keçisi olarak seçilmektedir. Özellikle bir altgruptan (cinsiyet, milliyet, meslek vb.) tek kişinin olması durumunda bu kişi dışlanmaktadır. Yalıtılmış ve sınırlı şartlarda uzun süre dışlanan bir kişi "uzun göz"

sıkıntısı denen bir rahatsızlık yaşamaktadır. Bu sıkıntıdan etkilenen kişilerde; boşluğa dalma, halisünasyon görme, uykusuzluk, depresyon gibi belirtiler gözlemlenmiştir. Kişi, gruba tekrar kabul edildiğinde bu belirtiler kaybolmaktadır.

Sosyal psikolojik açıdan bu özelliklere sahip en az iki kişinin bulunması sorunu büyük ölçüde azaltacaktır. Bunun yanında mürettebat arasındaki çeşitlilik doğru şekilde yönlendirilirse, uzun süreli görevlerde monotonluğu yok edeceğinden faydalı da olabilir. Kişisel farklılıkların olumsuz yanları kadar olumlu yanları da bulunmaktadır. Mürettebatın seçiminden birden fazla farklı özellikteki kişilerin tercih edilmesi durumunda olumlu yanlar daha ön plana çıkacaktır (Kanas ve Manzey 2008).

Birçok araştırmacı ise sorunun çözümünde psikolojik yönden yeterli personelin seçilmesinin sorunları azaltacağı inancındadır. Bu nedenle psikolojik başarımların testlerinin kişilik anketlerinin uygulanması düşünülmektedir. Bunun yanında Ruslar ise farklı özellikteki mürettebat arasında uyumluluğu değerlendirmek için yöntemler geliştirmekte ve bunun için biyoriitm üzerinde çalışmaktadırlar (Seedhouse 2009).

4.1.6 Mürettebatın seçimi

Temel olarak bir Ay üssü mürettebatının kaç kişiden oluşacağını hesaplayabilmek için hangi konularda hangi seviyelerde çalışılacağı, Ay üssünün hangi amaçlarla kullanılacağı gibi konuların da dikkate alındığı ayrıntılı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada bir Ay üssünün başlangıç dönemi için 20 kişilik bir mürettebatın uygun olacağı değerlendirilmiş ve tüm hesaplamalarda bu rakam dikkate alınmıştır. Ancak mürettebat sayısının, Ay üssünün zaman içindeki gelişimine bağlı olarak kademeli olarak artacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca görev, teknoloji vb. konularda meydana gelecek çeşitli gelişmelerin de mürettebat sayısının değişmesine neden olacağı dikkate alınmalıdır.

Mürettebatın seçiminde esas olarak yapılacak çalışmalar dikkate alınacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda ilk Ay üssü ekibinde öncelikle üs lideri, doktor, psikolog, inşaat mühendisi, makine mühendisi, gökbilimci, maden mühendisi, jeolog, ziraat mühendisi, elektrik/elektronik mühendisi, bilgisayar mühendisi, kimya mühendisi, gıda mühendisi ve medikal fizik uzmanı bulunmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Kalan personel ise diğer çalışmalar için tespit edilebilecektir. Tüm mürettebatın uzman oldukları bir dal dışında ayrıca ikincil bir göreve ait konuda yeterli derecede eğitim alması da gerekecektir. Mürettebatın seçiminde mümkün olduğunca milliyet ve cinsiyet yönünden baskın bir grup oluşmamasına dikkat edilmelidir.

Ay üssü projesine katılan ülkelerden konusunda uzman veya projeye katılmayan bir ülkeden olup belirli bir konuda yüksek bir uzmanlık seviyesine ulaşmış kişilerin seçilmesi çalışmaların verimini artıracaktır. Tespit edilen kişilere başarımların testleri ve kişisel anketler uygulanarak psikolojik olarak bu göreve uygun olup olmadıkları tespit edilmelidir. Uygun olarak belirlenen mürettebatın aşağıda bahsedilen eğitimlerden geçirilmesi ve görev boyunca da psikolojik yönden eğitimlerin devam etmesi düşünülmektedir.

Ay üssünde her bir mürettebatın 1 yıl görev yapması ve mürettebat değişimlerinin üç ayda bir beş kişilik gruplar halinde yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Bu şekilde zorunlu olarak oluşacak monotonluk kısmen giderilebilecektir.

4.2 Mürettebatın Eğitimi

İlk uzay uçuşlarında görevlendirilen uzay insanlarının çoğu, tehlike anında hızla karar verip uygulayabilmek üzere eğitilmiş, uçuş deneyimi fazla olan deneme pilotları olmuştur. Çünkü bilinmeyen bir dünyaya atılan bu ilk adımlarda uzay insanlarının seçimi çok önemliydi. Bugün uzay, eskisi kadar bilinmeyenle dolu olmadığından, uzay insanlarının da mutlaka uzman pilot olmaları gerekmemektedir.

Günümüzde uzay görevlerine pilot uzay insanlarının yanı sıra uçuş deneyimi olmayan bilim ekibi de katılmaktadır. Pilotlar aracı yönlendirirken, bilim ekibi de programın öngördüğü bilimsel araştırmaları yürütmektedir. Bilim ekibindeki uzay insanları uçuşla ilgili herhangi bir görev üstlenmeseler de mekiğin nasıl çalıştığını bilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle bilim ekibi de uzay insanı eğitimine katılmaktadır.

Ay üssü için mürettebat eğitiminin ilk iki bölümü ISS ve Uzay mekiği uzay insanları için uygulanan programın aynısı olup bu süre NASA'nın eğitim programında iki yıl, Avrupa Uzay Ajansı'nın programında 16 aylık bir süreyi kapsamaktadır.

4.2.1 Uzay insanı aday eğitimi

Uzay insanı adaylar, matematik, jeoloji, meteoroloji, yönlendirme ve yönbulum, oşinografi, yörünge dinamiği, astronomi, fizik ve malzeme işleme gibi konularda temel bilim ve teknoloji eğitimi ve ayrıca karada ve denizde hayatta kalma, tüplü dalış uzay giysisi eğitimleri almaktadır.

Uzay insanı adaylarının eğitiminin bir parçası olarak, uçuş programına başlamak için adaylar öncelikle suda hayatta kalma eğitimini tamamlamak zorundadırlar. Ayrıca araç dışı faaliyet eğitimine başlamak için tüplü dalış eğitiminin tamamlanması gerekmektedir. Sonuç olarak tüm uzay insanı adayları eğitimlerinin ilk ayında bir yüzme testinden geçmek zorunda olup uçuş kıyafeti ve spor ayakkabılarıyla 75 m yüzmek zorundadırlar.

Adaylar ayrıca basınç odalarında yüksek ve düşük atmosferik basınçlara maruz bırakılmakta ve bu durumlarla ilgili ortaya çıkacak sorunlarla nasıl başedeceklerini öğrenmektedirler. Uzay insanı adayları ayrıca yerçekimsiz ortam şartlarında da eğitim yapmaktadırlar.

Pilot uzay insanı adayları aylık olarak belirli saat sürelerle uçuş yapmaktadırlar. Aynı şekilde bilim ekibi de daha az olmak üzere uçuş yapmaktadırlar (Astronaut Training).

4.2.2 Temel eğitim

Uzay insanları resmi uzay ulaşım sistemi eğitim programına adaylıklarının ilk yılında kılavuzları okuyarak ve bilgisayarlı eğitimler aracılığıyla başlarlar. İtki sistemlerinden çevre denetimine kadar çeşitli uydu altsistemleri bu program kapsamındadır.

Eğitim sürecindeki bir sonraki adım, bireysel sistem eğitimidir. Bu adımda her uzay insanı bir öğretmen ile birlikte uydu altsistemleri üzerinde çalışmaktadır. Bu eğitimde sistemlerin normal işleyişleri ve arızalarla ilgili düzeltici işlemler konusunda eğitilmektedir.

Eğitim programının bireysel eğitim sisteminden sonraki bölümünde uzay insanları karmaşık uzay mekiği benzetimlik eğitimine başlamaktadırlar. Simülatör sayesinde uzay insanları uzay mekiğinin tüm bölgelerindeki gerekli tüm çalışmaları yapabilmektedirler. Ayrıca biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki ek benzetimlik de uzay insanı eğitiminde kullanılmaktadır.

Uzay insanları, belirli bir göreve atanmalarına yaklaşık 10 ay kala genel eğitim yazılımları kullanarak benzetimlik eğitimlerine başlarlar. Uzay insanları bir uçuş görevine atandığında benzetimlikte genel eğitim yazılımlarının yerine gerçek uçuş özel eğitim yazılımları ile eğitilmektedirler.

Son 11 hafta ise uçuş denetim eğitimine başlanmaktadır. Uzay insanları ve bilim ekibi takım halinde çalışma ve problemleri birlikte çözme eğitimi de almaktadırlar. Uçuş eğitiminin yanında yerçekimsiz ve ağırlıksız ortam eğitimleri özel havuzlarda verilmektedir (Astronaut Training).

Bu noktadan sonra verilecek eğitimler ISS veya uzay mekiği görevleri için verilen eğitimden farklılaşacaktır.

4.2.3 Ay eğitimi

1972'den beri herhangi bir gökcismine uzay insanı gönderilmemiştir. Bu nedenle, Ay seyahatine başlamadan önce yeni nesil uzay insanların alması gereken derslerin tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlamada bazı temel ilkeler ve dersler konusunda Apollo görevlerinden yardım alınabilecektir.

Apollo uzay insanlarına ileri jeoloji eğitimi verilmiştir. Aynı şekilde yeni nesil uzay insanları da jeoloji eğitimi alacaklar ve İzlanda, Büyük Hawaii Adası gibi Ay tabiatına benzer ortamlarda bulunacaklardır. Bu ortamlarda alınan eğitim aynı zamanda adaylara Ay yüzeyi ile ilgili tecrübe kazanmalarını sağlayacaktır.

4.2.4 Acil durum eğitimi

Adaylar Ay eğitimi sürecinde aynı zamanda acil durum eğitimi de alacaklardır. Acil durum senaryoları adayların; yangın, duman, patlama, tahliye ve zehirlenme gibi durumlarla ilgili yeteneklerini geliştirecektir. Bu senaryolarda en önemli bileşen zaman olacaktır.

4.2.5 Sanal ortam eğitimi

Bu eğitimde düşük yerçekiminin belirli yönlerini taklit edebilmekte, Ay yüzeyi gibi yeni ortamlarda yönlendirmeye yardımcı olabilmekte ve rota dışı harekete karşı bir önlem olabilmektedir.

4.2.6 Psikolojik eğitim

Ay mürettebatı seçildikten sonra, eğitimlerinin bir yönü de kişiler arası dinamiklerin geliştirilmesi yönünde olacaktır. Bu dinamikler sadece mürettebat arasında olanları değil, aynı zamanda mürettebat ile yer personeli arasında olanları da kapsayacaktır. Bu tip eğitim günümüzde hem ABD hem de Rus uzay eğitim programlarında mevcuttur ve görev süreleri uzadıkça mürettebatın maruz kalacağı radyasyon ve düşük yerçekimi tehlikeleri kadar önemli hale gelecektir. Bu eğitim sürecinde adayların yanında adayların ailelerine de bazı eğitimler verilecektir (Seedhouse 2009).

4.3 Mürettebatı Etkileyecek Faktörler

Ay'ın Dünya'dan farklı şartları, mürettebatın fizyolojik ve psikolojik yönden olumsuz etkilenmelerine neden olacaktır. Bu şartların doğru şekilde analiz edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması sayesinde bu olumsuz etkilerin en düşük seviyede tutulmaları sağlanabilecektir. Bununla birlikte henüz Ay'da uzun süreli insanlı görev yapılmadığından dolayı eldeki mevcut veriler genellikle ISS görevlerinden elde edilen veriler olmaktadır. Bu veriler Ay ortamına uydurilmaya çalışılsa da çeşitli farklar bulunması nedeniyle tam doğru verilerin elde edilmesi Ay üssünün faaliyete geçirilmesi sonucunda sağlanacaktır.

4.3.1 Atmosfer

Ay yüzeyinde atmosfer bulunmaması nedeniyle mürettebat kapalı ortamlarda meydana getirilecek suni atmosferde yaşayacaklardır. Genel olarak en iyi iç basınç oranı Dünya'daki atmosferik basınç oranı olsa da araç dışı faaliyet giysisi ile yaşam bölgeleri arasındaki basınç farkı güvenlik gerekçesiyle minimuma indirilmelidir. İki basınç arasında büyük bir fark olması durumunda tüplü dalışta olduğu gibi ani basınç değişiminden kaynaklanan kan ve akciğerde gaz kabarcıklarının oluşması ve genişlemesi durumu ortaya çıkacaktır. Bu nedenle Ay üssü yaşam alanlarında 69 kPa (0.68 atm) iç basınç değeri esas alınacaktır (Ruess vd 2006).

Her ne kadar Dünya'daki atmosfer basıncı 101,4 kPa olarak kabul edilse de aslında bu değer deniz seviyesi değeridir ve yaklaşık 5 km yükseklikte bu basınç yarı yarıya düşmektedir. Deniz seviyesinden 5 km yükseklikte devamlı yaşayan insanlar olduğu düşünüldüğünde kabul edilen iç basınç değerinin insan sağlığına herhangi bir zarar vermeyeceği kabul edilecektir.

Yaşam bölgelerindeki atmosferin ideal bileşimi yaklaşık %20 oksijen ve %80 azot şeklinde olacaktır. Ayrıca normal şartlarda atmosferdeki karbondioksit ve karbonmonoksit oranı % 0.036 civarındadır. Karbondioksit'in havadaki oranı %1'in üzerine çıkması durumunda yorgunluk ve uyku belirtileri ortaya çıkmaktadır. %2'nin üzerine çıkması durumunda çoğu insan tarafından hissedilmeye başlar, %3'ün üzerine çıktığında baş ağrısı gibi çeşitli rahatsızlıklar ortaya çıkar. Atmosferdeki karbondioksit oranı %5'in üzerine çıktığında zehirlenme belirtileri görülmektedir (Toxicity of Carbon Dioxide Gas Exposure).

Karbonmonoksit'in rahatsızlık belirtilerinin başlama seviyesi (%0,0035) ve öldürücü etkilerinin görülme seviyesi (%0.16) çok daha düşük olsa da, kapalı ortamda

insanlardan kaynaklanan atmosfer içindeki karbonmonoksitin üretim oranı da çok düşük olduğundan (en fazla %0,0005), hesaplamalarda temel olarak karbondioksit esas alınmalıdır. Sonuçta yaşam alanlarındaki atmosferin karbondioksit ve karbonmonoksit oranı %1'in altında tutulmalıdır (Carbon Monoxide Poisoning).

4.3.2 Düşük yerçekimi

Uzay seyahatleri başlamadan önce yerçekimsiz ortamın vücut üzerindeki etkileri üzerinde sadece tahminler yapılmaktaydı. Kalbin duracağı, yemek yenemeyeceği, uyunamayacağı gibi sayısız tahminlerden birçoğunun gerçekçi olmadığı ilk canlıların uzaya gönderilmesi ile ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte düşük yerçekiminin insan vücuduna çeşitli etkileri de bulunmaktadır (Uzay Hastalığı ve Yiyecekler).

Düşük yerçekimi ile ilgili elde edilen veriler uzay görevlerinde elde edilen aslında sıfır yerçekimli ortama ait verilerdir. Yerçekiminin sıfır olmadığı Ay üssü için bu etkilerin daha düşük oranlarda zararlı olacağı değerlendirilebilir. Ancak henüz bu tür ortamlara ait mevcut bir veri bulunmamaktadır.

4.3.2.1 Kan dolaşımı üzerindeki etkileri

Tespit edilen ilk etkiler kalp atışı ve kan basıncı üzerindeki etkileridir. Dünya'ya dönen uzay insanların kan miktarında azalma tespit edilmiştir. Bu uzay insanları 4-6 hafta süreyle baş dönmesi ve halsizlik yaşamaktaydılar. Bunun nedeni daha önce çekim nedeni ile vücudun alt kısımlarında bulunan kanın birdenbire çekimsiz ortama girilince ayaklardan ve vücudun alt kısımlarından yukarı başa doğru yer değiştirmesidir (Uzay Hastalığı ve Yiyecekler).

Vücudun üst kısmında bulunan duyarlı algılayıcılar, bu ani ve güçlü yer değiştirmeyi kan miktarının arttığı şeklinde hatalı yorumlamaktadır. Bu nedenle vücut kan miktarını düşürüp normale dönmeye çalışmakta, bunu sağlamak için de kandaki sıvı ve bazı tuzları, idrar ile atmakta ve/veya susama hissini yok etmektedir.

Bu şekilde vücuttaki kan miktarı azalmakta ve ortama uyum sağlamaktadır. Ancak Dünya'ya döndüğünde bu kan miktarı az gelmekte ve belirtilen etkiler ortaya çıkmaktadır.

4.3.2.2 Kemikler ve kaslar üzerindeki etkileri

Yerin çekim alanına karşı çalışmak için kullanılmadığında kemikler bozulmaya ve kaslar büzülmeye başlamaktadır. Aynı etkiler uzayda da olmaktadır. Uzay araçlarında sınırlı hareket alanı ve uygun yerçekiminin olmaması kemik ve kasların sürekli zayıflamasına neden olmaktadır. Ancak bu zayıflama süreci çok yavaştır ve 6-12 aylık bir uçuşa olanak tanımaktadır (Uzay Hastalığı ve Yiyecekler).

İnsan vücudundaki 1000-1200 gr. kalsiyumun %99'u, 400-500 gr. fosforun %85'i kemiklerde bulunmaktadır. Yerçekimsiz ortamda vücudun kemikte bulunan bu elementleri idrar ve dışkı ile atmasıyla birlikte ilk on günde kemiğin %3,2'si azalmaktadır. Kalsiyumun atılması sonucu idrarda taş meydana gelmekte ve müthiş bir

ağrıya neden olmaktadır. Ayrıca kemik yoğunluğunun azalması sonucu kemik çatlamalarına neden olmaktadır. Önlem olarak egzersiz önerilmektedir.

2007 yılında NASA’da yapılan “Uzay insanlarında sağlıklı kemik yapısını sağlamak” amacıyla yapılan bir araştırmada uzay istasyonunda görev yapanların görevleri süresince kalça kemiklerinin kütle olarak %11 azaldığını tespit ettiler. Yeryüzüne döndükten 1 yıl sonra kaybolan kemik miktarı tam olmasa da yerine gelmektedir. Yeryüzündeki kemik erimesi olan hastalarda yapılan araştırmada kemik kütlesindeki kaybı karşılamak için kemiğin, boyutunu büyüttüğü, dolayısıyla yoğunluğunu düşürdüğü saptanmıştır. Bu da kemiklerin mukavemetini düşürmekte, ayrıca kırık veya çatlak durumunda iyileşmesini engellemektedir (Uzay Hastalığı ve Yiyecekler).

4.3.2.3 Nörofizyolojik etkileri

Uzay görevleri sırasında algısal, bilişsel ve psikomotor etkileri olan bazı nöropsikolojik değişiklikler gözlenmiştir. Önemli etkilerden biri vestibuler sistem üzerinde olmaktadır. Yerçekiminin yokluğu vücudun dikey konumu hakkındaki verileri yok ettiğinden denge organları işlevlerini kaybetmekte ve denge organları ile görsel ve dokunma gibi sinyaller arasında uyumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Uzaya giden uzay insanlarının yaklaşık yarısında görülen bu etki nedeniyle 3-4 gün boyunca iştahsızlık, verim kaybı, kusma gibi çeşitli rahatsızlıklar ortaya çıkmakta, uyum süreci sonunda düzeltilmektedir. Ayrıca özel ilaçların kullanımı da düşünülmektedir (Kanas ve Manzey 2008).

4.3.2.4 Bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri

Bağışıklık sistemi vücudun hastalıklara karşı korunma mekanizmasıdır. Lenfositler, bakteriler gibi zararlı yabancı maddelere karşı vücudun dayanmasını ve bu maddelerin yok edilmesini sağlamaktadır. Uzay mekiği görevlerindeki uzay insanlarından alınan kan örneklerinin analizi sonucunda kanlarındaki lenfositlerin azaldığı ve ayrıca uçuş sonrası çalışmalarda lenfositlerin tehlikelere karşılık vermediği de tespit edilmiştir. Bununla birlikte uzay insanlarının hastalıklara karşı hassasiyetlerinin artmadığı ve lenfositlerin sayısının birkaç hafta içinde normal seviyeye çıktığı gözlenmiştir (Kanas ve Manzey 2008).

Uzay görevlerinde beyaz kan hücrelerinin sayısındaki düşüşün birçok nedeni olabilmektedir. Öncelikle düşük yerçekiminin kendisi lenfosit üretimini azaltabilmekte veya azalmasına neden olabilmektedir. İkincisi, görevle ilgili özellikle görevin fırlatma ve iniş aşamalarındaki stres nedeniyle lenfosit üretimi ve görevleriyle ilgili değişimler bünye tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Üçüncü olarak, radyasyon lenfosit hücreleri yok ederek bağışıklık sistemini yok etmektedir.

İnsanların küçük alanlarda bulunmak zorunda kaldığı uzay kolonilerinde bu sorun ciddi sonuçlara neden olabilecektir. Ortaya çıkacak herhangi bir salgın hastalık, mürettebatın bağışıklık sisteminin azalmasıyla birlikte ölümcül olacaktır.

4.3.3 Radyasyon

Boşlukta çok yüksek hızlarla hareket eden radyasyon insan vücuduna nüfuz etmekte, hücrelere hasar vermekte ve kimyasal yapılarını değiştirebilmektedir. Özellikle yüksek

radyasyon çok sayıda hücrenin aniden ölmesine neden olarak canlının sağlığını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Radyasyonun neden olduğu etkiler; kanser (özellikle anemi ve lösemi), kalıtsal bozukluklar, ciltte yaralar, katarakt, kısırlık, sinir sistemi bozuklukları ve ölümdür. Özellikle maruz kalınan radyasyonun yüksek dozlara ulaşması durumunda bu rahatsızlıkların ortaya çıkma oranı artmaktadır.

Uzayda, uzay araçları ve uzay insanların maruz kalabileceği üç ana doğal radyasyon kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; galaktik kozmik radyasyon, Güneş'ten gelen enerji yüklü parçacıklar ve gezegenlerin manyetik alanına yakalanan enerji yüklü parçacıklardır.

Galaktik kozmik radyasyon ve Güneş'ten gelen yüklü parçacıklar ay yüzeyine çarptığında nötronlar; uzay insanların maruz kaldığı yüzeydeki radyasyon miktarına önemli bir katkı sağlayan enerji yüklü nötronlar içeren ikincil radyasyonun oluşmasına neden olurlar. Yapılan modelleme çalışmalarının sonuçlarına göre, ikincil radyasyonun ortaya çıkmasının nedenleri birincil parçacıkların akışı yanında atmosferin yoğunluğu ve yüzeyin niteliğidir. Kuru regolit kaplı yüzeylerde, dondurulmuş karbondioksit veya su buzu kaplı yüzeylere göre çok daha fazla nötron ortaya çıkmaktadır (Anonim 2006).

Radyasyon ışınlamalarının içeriği ise; x ve gama ışınları, alfa parçacıkları, nötronlar, protonlar ve elektronlardan oluşmaktadır. Ay tesisleri, Ay'da fazlasıyla bulunan regolitle örtülmeleri halinde radyasyondan yeterli derecede korunabileceklerdir. Araç dışı faaliyetler, uzay giysileri ve radyasyon ölçümlerinin sıkı denetimini gerektirecektir. Her bir mürettebatın birikmiş dozları ölçülerek, yaş ve cinsiyet faktörleri de göz önünde bulundurularak birbirleriyle karşılaştırılmalıdır. Ay tesislerinin ve mobil araçların içinde ve dışında yapılacak görevlendirmelerde güncel hâkim şartlar ve mürettebatın statüsü göz önünde bulundurulmalıdır (Koelle 2000).

Hâlihazırda insanlı uzay seyahatleri ve Ay üssü için radyasyona maruz kalma limiti ile ilgili önerilen bir limit bulunmamaktadır. LEO yörüngedeki görevler için önerilen limitler ise sadece kılavuz olarak kullanılabilir. Önerilen limitler; deri, kan yapıcı organlar ve göz için Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi ayrı ayrı verilmiştir. Dönem olarak ise; 30 günlük, 1 yıllık ve hayat boyu olarak değerlendirilmiştir. Çizelgede verilen değerler %3 kanser riskine göre hesaplanmış olup ortalama güvenlik önlemleri ile karşılanabilecek değerlerdir.

Süre	Kan Yapıcı Organlar (mSv)	Göz (Sv)	Deri (Sv)
Hayat Boyu	1000-4000	4,0	6,0
Yıllık	500	2,0	3,0
30 Günlük	250	1,0	1,5

Çizelge 4.1. Uzay Görevleri İçin Tavsiye Edilen Radyasyon Limit Değerleri (Pham ve El-Genk 2009).

Nispeten kısa süreli uzay görevlerinde en önemli radyasyon güneş patlamalarından kaynaklanmaktadır. Binaların yeterli korumaya sahip olmaması durumunda bir güneş patlamasında mürettebat, 30 günlük görev için önerilen doz miktarı olan 250 mSv'den daha yüksek bir doza maruz kalacaktır (Pham ve El-Genk 2009).

Yapılan analizler, hidrojenin elementlerin içinde en yüksek elektron yoğunluğuna sahip element olması nedeniyle, radyasyona karşı en etkili koruyuculuk özelliklerine de sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Hidrojenin bir diğer avantajı ise, kendi atomları parçalanarak başka bir çekirdeğe dönüşemediğinden, radyasyon parçacıklarının ikincil radyasyona neden olmadan etkilerini kaybetmesini sağlamasıdır (Seedhouse 2009).

4.4 Mürettebatla İlgili Diğer Konular

4.4.1 Gıda ve su

Ay üssü'nde tüketilecek bitkisel besinler Ay'da yetiştirilecek ve özellikle Ay üssünün ilk dönemlerinde hayvansal besinler (balık, et ve balık sosu) , tuz ve şeker Dünya'dan getirilecektir. Yapılan hesaplama sonucunda toplam gıda ihtiyacının kuru ağırlığının %23-25'inin Dünya'dan getirileceği tahmin edilmektedir (Liu vd 2008).

Ay üssünde mürettebat başına günlük 2800 kcal, 1,8 lt içme suyu ve Çizelge 4.2.'de belirtilen miktarda günlük protein, yağ, karbonhidrat ve lif harcanacaktır. Mürettebat başına ayrıca sağlık koruma için günlük 25 lt su ve 4 gr. potasyum sabunu harcanacaktır. Bu değerlerin sağlanması için mürettebat başına günlük olarak toplam 1902 g gıda kullanılacaktır (Liu vd 2008).

MADDELER	KÜTLE (GRAM)
Girdi	
Oksijen	837
İçme suyu	1900
Gıda	
Su	1271
Karbonhidrat	378
Yağ	90
Protein	100
Posa	32
Mineraller	31
Toplam	4639
Çıktı	
Karbondioksit	1027
Su	3510
Organik maddeler	65,2
İnorganik tuzlar	34,3
Uçucular	2,5
Toplam	4639

Çizelge 4.2. Mürettebat başına günlük girdi çıktı miktarları (Liu vd 2008).

4.4.2 Uzay giysileri

Otonom ya da uzaktan kumandalı robotların yeterli olmadığı görevlerin tamamlanabilmesi için basınçlı bir uzay giysisine ihtiyaç olacaktır. Ancak kozmik radyasyon ve mikrometeorit tehlikesi nedeniyle bu giysilerin sınırlı olarak kullanılması gerekecektir. Bu giysiler mürettebatın hayatta kalmasını sağlayacak yaşam destek, üsle iletişimini ve geri dönmesini sağlayacak elektronik ve birkaç saatlik süre için yiyecek, içecek ve atık ihtiyacını karşılayacak sistemleri içermelidir.

Uzay giysisi tasarımında ergonomi, güvenlik, çevresel şartlar ve görev ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır.

Ay görevleri için tasarlanacak uzay giysisi için özellikle; ağırlık, radyasyon ve mikrometeorit koruması, uygun değerde basınçlandırma, harekete engel olmaması, basınç kaybı olmaması, nem ve atık denetimi, oksijen zehirlenmesi riski, metabolik ısının giderilmesi, giyme kolaylığı, görüş, eldivenlerin kullanım kolaylığı, iletişim kolaylığı konuları dikkate alınmalıdır (Schrunk vd 2008).

4.4.3 Çalışma-dinlenme dönemleri

Çalışma-dinlenme dönemleri, bilimsel, mühendislik ve üssün bakımı ve temizliği ile ilgili yürütülen çalışmaların hesaplanmasıyla ortaya konulan görev analizleriyle düzenlenmektedir. Bu çalışma, enerji harcamaları, metabolik değişim ve LSS altsistemlerine yüklenen yüklere ait ilkeleri ortaya koymaktadır. Ay günü ve gecesi, mürettebatın alışması gereken iki haftalık dönemlerle değişmektedir. Tüm enerji üretim faaliyetleri gündüz süresince sürdüğünden dolayı mürettebatın faaliyetleri de gündüz boyunca sürecektir. Bakım ve onarım faaliyetleri mümkünse geceleri yapılacaktır.

Mürettebatın tüm yaşamı çalışmak ve uyumaktan oluşmayacaktır. Boş zamanların değerlendirilmesi için yapıcı ve yaratıcı faaliyetler düzenlenmelidir. Boş zaman değerlendirme faaliyetleri, eğlendirici ve rahatlatıcı olması yanında öğrenme fırsatları da içermelidir. Ancak mürettebatın tüm boş zamanını kişisel gelişim için ayırması beklenmemelidir. Çok kısıtlı araç dışı faaliyetler nedeniyle, okuma, radyo, televizyon, müzik vs. gibi faaliyetler daha olasıdır. Bunların yanında egzersiz faaliyetleri de gereklidir. Ayrıca tüm mürettebatın şahsi bir bilgisayarı da bulunmalıdır. Ayrıca kişilerin özel ilgi alanlarına yönelik düzenlemeler de gerekmektedir (Koelle 2000).

Çalışma koşulları başka bir durumu gerektirmedikçe, çalışma-dinlenme dönemleri mürettebatın alışık olduğu düzende yürütülmelidir. Haftada 40 saatlik çalışma, başlarda; Ay üssünün ilk dönemlerindeki yoğun faaliyetler nedeniyle daha uzun süreli olarak uygulanabilecektir. Görev ihtiyaçları ile mürettebatın becerilerini eşleştirebilmek çok önemli bir konudur (Koelle 2000).

4.4.4 Kişisel temizlik

Kişisel temizlik arındırmadan ayrılmaktadır. Kişisel temizlik; vücut temizliği ve giyilen giysilerin temizliğini kapsamakta iken; arındırma, çevrenin temizlenmesini ve kirlenmemesi için alınan tedbirleri kapsamaktadır. Kişisel temizlik gereksinimlerinin birçoğu, vücuttan atılan maddeler ile istenmeyen maddelerin temizlenmesini

kapsamaktadır. İdrar ve dışkı dışındaki metabolik faaliyet kalıntıları genel olarak deri ve uzantıları (saç, tırnak vb.), salgılar (ter, tükürük vb.) ve mikroflora&mikrobik üretim gibi epitel kökenlidir

Kişisel temizlik ve bakım için en önemli gereksinimler; yeterli miktarda su, temizlik malzemeleri ve tesisleri, giysi değiştirme alanlarıdır (Koelle 2000).

4.4.5 Kirlenme

Uzay tesisleri Dünya'daki küçük yalıtımlı binalara benzeyecektir ancak hava ve su kaybını önlemek için yalıtım özelliği çok daha gelişmiş olacaktır. Bu yalıtımın bir dezavantajı olarak hem kimyasal hem de mikrobik kirlenmeler sınırlı hacimlerde daha kolay çoğalacaktır. Uzay tesislerindeki mikrobik kirlenme, Ay personelinin uzatılmış görev sürelerinde daha da artmaktadır. Kaza ve kanama durumunda iyileşme yavaş ve muhtemelen etki ağır olacaktır. Bu durumun kısa ve uzun vadeli sağlık etkileri olacak ve bu etkiler mürettebatın başarımını ve verimliliğini etkileyecektir.

Uçucu organik çözücüler, uzay tesisleri kirleticileri içinde önemli bir sınıfı temsil etmektedir. Bu uçucuların bilişsel, duyuşsal ve motor alanlarında zayıflamaya neden olması nedeniyle özel bir hassasiyet gösterilmelidir. Bu uçucular, yapısal ve elektrik elemanlarından gaz uçması yoluyla ortama yayılmaktadırlar. Bu kirleticilerin atmosferden ayrıştırılıp ayrıştırılamayacağı konusunda bir kesinlik bulunmamaktadır. Eğer ayrıştırılamazlarsa, bu kirletici düşük çekimli ortama karışan sıvılar gibi hareket edecek ve devridaim pompalarının sağladığı akımla çeşitli filtrelerden geçecektir. Aynı sebepten dolayı tüm su kirleticiler, içme suyunu muhafaza edebilmek için kaldırılmalıdır (Koelle 2000).

4.4.6 Tıbbi bakım

İnsanların Ay'da da tıbbi bakıma ihtiyaçları olacağından Ay'a gönderilecek ilk mürettebat içerisinde doktorlar da bulunacaktır. Ay'a gönderilmek üzere seçilen mürettebatın daha önceden mevcut sağlık sorununun bulunmaması ve fiziksel yönden mükemmel durumda olması gerekmektedir. Sağlık durumları günümüzdeki uzay uçuşlarında olduğu gibi Dünya'daki uzman doktorlarca en az müdahale ile düzenli olarak gözlemlenecektir. Bununla birlikte yaralanmalar ve diğer akut sağlık sorunları kaçınılmaz bir risk unsurudur ve planlar acil tıbbi müdahalelere göre yapılmalıdır.

Ay yolculuğu yaklaşık üç gün sürdüğünden apandisit gibi ciddi sağlık problemleri ortaya çıktığında hasta tedavi için Dünya'ya gönderilebilecektir. Daha basit sağlık sorunları ise (hafif yaralanmalar, hastalık bulaşımı vb.) Ay üssünde mürettebat tarafından sınırlı tıbbi imkân ve araçlarla tedavi edilmelidir. Ay üssüne gönderilen her mürettebatla birlikte malzeme ve donanım da gönderildikçe Ay üssündeki tıbbi tedavi imkânları daha da gelişecek ve yanıklar ve kırıklar gibi durumlarda tedaviler yerinde yapılabilecek ve böylece görevler daha etkin yapılabilecektir (Schrunk vd 2008).

Ciddi yaralanmalar ve cerrahi müdahale gerektiren durumlarda ise ameliyatın uzaktan denetimli cihazlarla yapılması gerekecektir. Bu sistemde Dünya'daki bir cerrah Ay üssündeki bir robotik cihazı denetleyerek ameliyatı yapacaktır. Bu yöntem Dünya'da çeşitli çalışmalarda test edilmiş ve başarı sağlanmıştır (Seedhouse 2009).

5. ULAŞIM

5.1 Dünya'dan Ay'a

5.1.1 Malzeme nakli

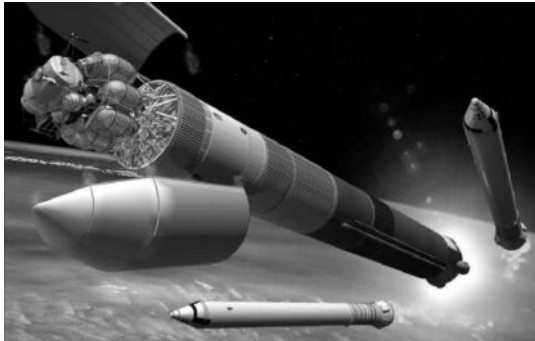
Konvansiyonel roketler günümüzde uzay yolculuklarında en çok kullanılan yöntemdir. Ancak yüksek maliyet, kapasite ve hız geliştirme ihtiyaçları nedeniyle farklı teknolojiler üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Ay üssü malzemelerinin taşınmasında, halen geliştirilmekte olan ve 2018-2020 tarihlerinde faal hale gelmesi planlanan Ares-5 ağır fırlatma aracı kullanılması düşünülmektedir (Şekil 5.1.). Ares-5 iki kademededen oluşmaktadır. Birinci kademe ana kademe olarak tanımlanmakta olup fırlatmada ateşlenen sıvı oksijen ve hidrojen yakıtlardan oluşan bir kademe, iki yanından beş kısımdan oluşan katı iticiler ile desteklenecektir. Bu iticiler Ares-1'in ilk kademesinden geliştirilmektedir.

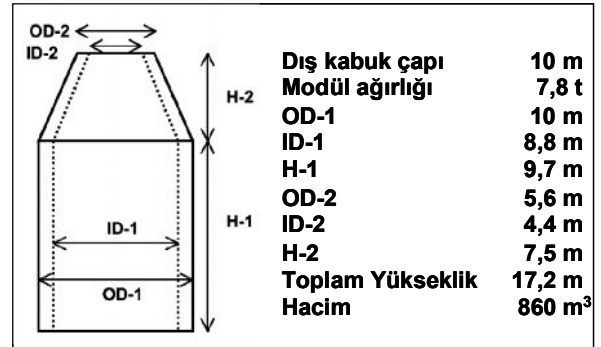
İkinci kademe Dünya'dan ayrılmayı sağlayan kademedir. Bu kademe çok büyük yüklerin LEO'ya veya daha küçük yüklerin Ay'a gidiş yörüngesine ulaştırılmasını sağlayacaktır. Bu kademe Ares-1'in ikinci kademesi ile aynı olup tek bir J-2X motoru bulunmaktadır. Ancak yakıt deposu daha büyüktür. Ayrıca tekrar ateşlenebildiğinden kullanım süresi daha uzun olacaktır (Turner 2009).

Bu kademede ayrıca bir Ay yüzeyine erişim birimi bulunmaktadır. Ay yörüngesine girdikten sonra inişi bu iniş aracı gerçekleştirecektir. Ares-5'in yapımının tamamlanıp faaliyete geçmesiyle birlikte Dünya'nın en büyük insansız fırlatma roketi ünvanını kazanacaktır.

Ares-5'in planlanan fırlatma kapasitesi LEO yörünge için 187,7 ton ve Ay yörüngesi için 56,8 tondur. Bundan önceki en güçlü roket olan Saturn-5'in Ay'a fırlatma kapasitesinin 47 ton olduğu düşünülürse fırlatma kapasitesi artışı daha iyi anlaşılacaktır. Ares-5, kullanılabilir 8,8 m. çapı ve 17,2 m. yüksekliği ile toplam 860 m³ taşıma hacmine sahip olacaktır (Şekil 5.2.) (Stahl vd 2009).



Şekil 5.1. Ares-5 Roketi (Seedhouse 2009).

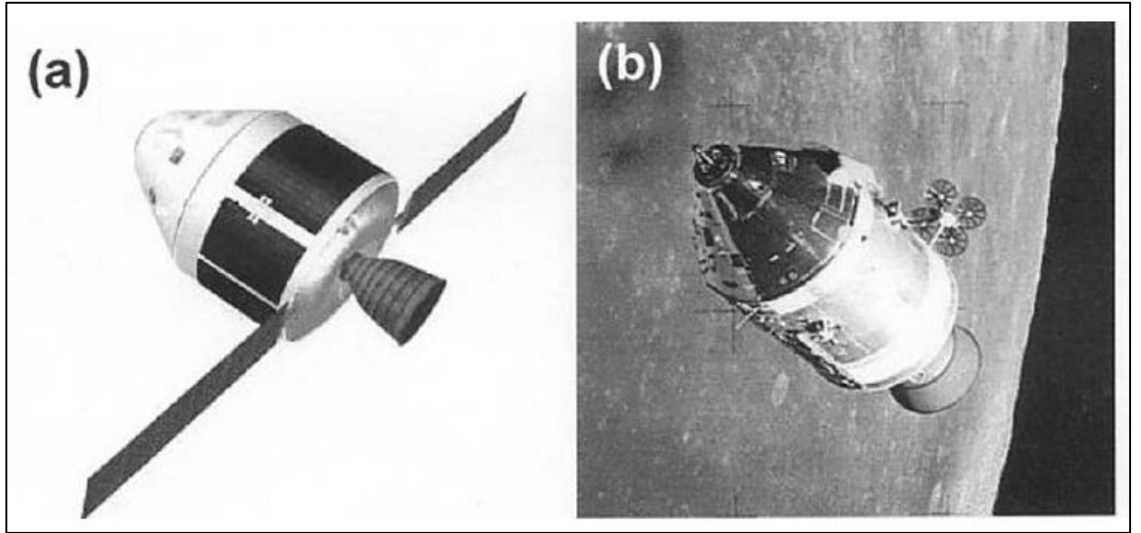


Şekil 5.2. Ares-5 Taşıma Birimi (Stahl vd 2009).

5.1.2 Mürettebat nakli

Mürettebat taşıma işlemi ise Orion uzay aracı ile gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. 2010 yılında emekli edilmesi planlanan uzay mekiklerinin yerini alacak olan Orion uzay aracının tasarımında ISS ve Ay'a dört, Mars'a altı mürettebat götürülmesi esas alınmaktadır. Uzay aracı, 5 metre yarıçapında ve 25 ton ağırlığında konik bir mürettebat birimi ve silindirik bir servis biriminden oluşmaktadır. Servis birimi atmosfere tekrar girene kadar itkiyi sağlamakta ve görevini tamamladıktan sonra atmosfere atılmakta, Dünya'ya sadece mürettebat birimi dönmektedir (Catchpole 2008).

Orion uzay aracının geliştirilmesinde Apollo görevlerinde elde edilen tecrübeden büyük oranda yararlanılmıştır. Orion olarak isimlendirilen uzay aracı şekil olarak Apollo komuta ve servis biriminin benzeridir ancak Apollo biriminden yaklaşık üç kat daha büyüktür (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. (a) Orion Birimi, (b) Apollo Komuta ve Servis Birimi (Swinerd 2008).

Orion uzay aracının fırlatılması için geliştirilen Ares-1 ise Apollo ve uzay mekiği fırlatma sistemlerinde kullanılan bileşenlerin geliştirilmesiyle meydana getirilmektedir. Daha önce kullanılmış ve güvenilirliği ispatlanmış parçaların kullanılması sayesinde hem mali açıdan kazanç hem de sistemin gelişiminde etkinlik sağlanacaktır. Ayrıca kullanım dışı kalacak olan uzay mekiği sisteminden yeni sisteme daha yumuşak ve hasarsız bir geçiş de sağlanacaktır (Swinerd 2008).

Ares-1 iki kademedan meydana gelmektedir. İlk kademe, uzay mekiğindeki gibi tekli beş kısımlı katı roket iticisinden türetilmiştir. Ancak uzay mekiğinden bir kısım fazladır. Bu fazla kısım katı iticiyi ateşler. İlk kademe 2,5 dakikada yanarak 59 km'lik bir irtifa kazanılmasını sağlar. Yakıt bittiğinde katı roket iticisi kapanır ve atılır. Atıldıktan sonra açılan paraşütle okyanusa denetimli bir şekilde düşmesi sağlanır. Daha sonra analiz edilir, gerekli düzeltmeler yapılır, tekrar doldurulur ve tekrar kullanılması sağlanır.

İkinci kademe roketleri ise sıvı hidrojen ve oksijen yakıtı ve yakıcısı kullanmaktadır. Bu kademe kapanıp atılmadan önce yükünü 116 km irtifaya çıkarmaktadır. Buradan 340 km yükseklikteki dairesel yörüngeye çıkışı ise Orion uzay aracının servis birim itici sistemi sağlayacaktır (Catchpole 2008).

Ağır yük taşıyıcı Ares-5 fırlatma aracı, Ay yüzeyine hassas inişi sağlayacak Ay yüzeyine erişim birimini taşıyan Dünya'dan ayrılmayı sağlayan kademe ile birlikte önce LEO yörüngeye fırlatılacaktır. Daha sonra takip eden günlerde mürettebat Orion uzay aracının içinde Ares-1 fırlatma aracı ile fırlatılacaktır. LEO yörüngede Orion uzay aracı; Ay yüzeyine erişim birimi ile kenetlenecek ve yapılan denetimlerden sonra Dünya'dan ayrılmayı sağlayan kademe ateşlenerek tüm sistemin Ay'a gitmesi sağlanacaktır. Ay'a doğru ilk hareket sağlandıktan sonra Dünya'dan ayrılmayı sağlayan kademe atılacak, Orion uzay aracı ile iniş aracı birlikte yaklaşık üç günde Ay'a ulaşacaktır.

Ay'a ulaşıldığında Orion uzay aracının ana motorları ateşlenerek yörüngeye girmesi sağlanır. Mürettebat iniş aracına geçer ve iniş aracı Orion uzay aracından ayrılır ve Ay yüzeyine iniş yapar. Dönüşte ise yine mürettebat Ay yörüngesindeki Orion uzay aracına ulaştırıldıktan sonra Dünya'ya döner ve paraşütle Dünya yüzeyine iniş yapılacaktır (Swinerd 2008).

Ay yüzeyine öncelikli olarak Ay üssünün kurulumu gerçekleştirecek olan mürettebat için geçici bir birim indirilmesi ve mürettebat faaliyetlerini buradan yürütmesi düşünülmektedir. Daha sonra yüzeyi kazmak için bir ekskavatör, yüzeyi düzeltip regoliti toplamak için bir greyder ve malzemeleri taşımak için bir vinç yüzeye indirilecektir. Belirtilen alanda yüzey hazırlığı tamamlandıktan sonra üs zemini ve sonra da üssün yapı elemanları ve bilimsel donanımlar, araçlar ve diğer malzemeler getirilecektir. Yapım tamamlandıktan sonra ise mürettebatın nakli gerçekleşecektir (Grandl 2007).

5.2 Ay Yüzeyinde

Ay yüzeyinde ulaşım için kullanılacak araçlar; hendek kazıcı ve paletli vinç gibi robotik iş araçlarını ve insanların kullanacağı ulaşım araçlarını kapsamaktadır.

5.2.1 İş araçları

Yapılan planlamalara göre robotik araçlar 2017 yılına kadar Ay'a gönderilecektir. Bu araçlar öncelikle Ay üssü için gerekli kazma, hendek kazma, taşıma, düzeltme gibi ön hazırlıkları yapmak için kullanılacaktır. Taşların kırılmasından ağır malzemelerin yukarı kaldırılmasına kadar tüm faaliyetlerin yapılabilmesi için mühendisler tarafından üç farklı çok amaçlı araç tasarlanmıştır.

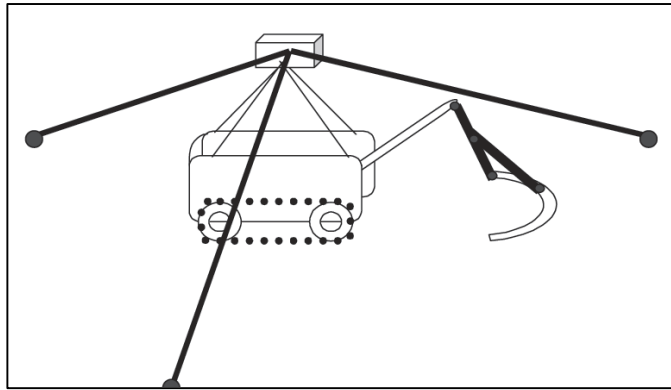
Bu araçlardan birincisi olan ters kepçe, regolit toplama ana amacının yanında küçük parçaların taşınmasında da kullanılabilecektir. Aynı şekilde, hendek kazıcı ise kayaları parçalamak, çukur kazmak ve kablo döşemek gibi farklı görevleri yerine getirebilecektir. Paletli vinç ise büyük parçaların ve büyük kütleli malzemelerin taşınmasında kullanılması planlanmaktadır (Seedhouse 2009).

Yük taşıma amaçlı geliştirilen araçlardan biri de ATHLETE (altı ayaklı her arazi Dünya dışı kâşifi)'dir. NASA tarafından geliştirilen aracın şu ana kadar yapılan ilk örnekleri yaklaşık 850 kg. ağırlığındadır ve yaklaşık 300 kg.lık bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bu araçlar 2,75 m. çapında altıgen şeklindedir ve 1,85 m. uzunluğunda birbirinden bağımsız altı ayağa sahiptir. Her bir bacağın ucunda 0,48 m çapında bir tekerlek bulunmaktadır. Her bir tekerlek tek bir yönde hareket edebilmekte ve bu sayede dengeli hareket etmesi sağlanmaktadır. Ay'ın aşırı arazi şartları nedeniyle normal arazi taşıtlarından daha kabiliyetli ve daha hafif bir araca ihtiyaç bulunmaktadır. ATHLETE'nin 6 tekerleği bulunması nedeniyle her bir tekerleğin yüzeye yaptığı basınç da daha düşük olmaktadır. Ayrıca bacakların bağımsız olarak hareket etmesi de hareket kabiliyetini büyük ölçüde artırmaktadır. Bu aracın yaklaşık 10 km/saat hıza sahip olacağı hesaplanmaktadır (Şekil 5.4) (Wilcox 2008).



Şekil 5.4 ATHLETE (Wilcox 2008)

Bu araçların tasarımında ise Ay şartları önemli bir etken olacak ve Dünya'da kullanılan örneklerine göre önemli değişiklikler yapılması gerekecektir. Öncelikle düşük yerçekimi araçların kaldırma faaliyetlerinde avantaj sağlarken kazı işlerinde dezavantaja neden olacaktır. Kazı işleri için Dünya'da kullanılan araçların daha büyük ebatlıları gerekmekte iken taşıma kısıtlamaları nedeniyle bu çok da mümkün olamayacaktır. Sonuç olarak sorun; Dünya'da kullanılanlardan daha düşük kütleli kazıcılarla daha düşük yerçekimi ortamında yeterli etkinliğin sağlanmasıdır. Bu ise titreşimli kazıcıların kullanılması, makinelerin kablolarla zemine bağlanması ve kırma gücünün artırılması gibi bazı yeni kavramların uygulanmasıyla mümkün olabilecektir (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Kazıcının Etkinliğinin Artırılması İçin Zemine Bağlanması (Toklu ve Järvstrat 2003)

Bir diğerk sorun ise Ay yüzeyini kaplayan boşluk nedeniyle makinelerdeki yağlayıcıların buharlaşmasıdır. Bu nedenle bu konuda katı yağlayıcılar ya da manyetik yataklar gibi sıradışı çözümlerin üretilmesi gerekmektedir (Toklu ve Järvstrat 2003).

Bunların dışında özel amaçlar için ayrıca araçlar kullanılabilecektir. Bunlardan biri Ay regolitinden güneş pili üretimi için kullanılacak olan araç, diğeri ise yapı faaliyetleri için uygun bölge araştırmaları yapan ve bölge haritasının çıkarılması gibi uzun süreli görevlerde kullanılabilen Recon (bilgi toplama) aracıdır (Seedhouse 2009).

5.2.2 Ulaşım araçları

İnsanların kullanacağı ulaşım araçları ise mürettebatın Ay yüzeyinde taşınması için kullanılan araçlardır. Yüzeyde hareket edecek araç tasarımlarında farklı her ihtiyaç göz önüne alınmıştır. Üzeri açık küçük araçlardan laboratuvar içeren araçlara ve hatta uçan ve zıplayan araçlara kadar birçok tasarım yapılmıştır.

Ay üzerindeki ulaştırma faaliyetlerinin büyük oranda Dünya'daki gibi tekerlekli yöntemlerle yürütüleceği düşünülmektedir. Ancak tekerlekli araçların kullanımı ile ilgili bazı sorunlar bulunmaktadır. Öncelikle tekerlekli araçlarda 1/6'lık çekim gücü ve Ay toprağı çekişin düşmesine neden olmaktadır. Araçlar kolayca toza saplanabilmekte ve çekiş için daha fazla güç gerekmektedir. Bunun yanında Apollo görevinden kazanılan tecrübelerle göre araçların tekerlekleri ay tozunu havalandırmakta ve bu toz, makineler ve insan sağlığına zarar vermektedir.

Ay araçları eğer arazi çok engebeli veya çok eğimli değilse kullanılabilecektir. Günümüze kadar Ay yüzeyinde kullanılan araçlar sadece Apollo 15, 16 ve 17 görevlerinde kullanılan Lunar Roving Vehicle (Ay gezinti aracı) isimli Ay aracı ve Sovyet insansız Ay aracı Lunokhod'dur. Lunar Roving Vehicle iki kişilik bir uzay aracıdır. NASA'nın üzerinde çalıştığı Mobil Ay Laboratuvarı ise iki kişiliktir ve çok daha hızlı hareket edebilmektedir (Anonim 2006).

Genel olarak Ay'da iki tip insan denetimli araç kullanılması planlanmaktadır. Bunlardan ilki kısa mesafede Apollo görevlerinde kullanılan tarzda uzay giysili mürettebatı taşıyacak araç, diğeri ise özellikle uzun süreli keşif görevlerinde kullanılmak üzere tasarlanan basınçlı araçtır.

Özellikle keşif görevlerinin başlamasıyla, mürettebat üsten uzaklara uzun süreli olarak gitmek durumunda kalacaktır. Bu yolculuklarda ise basınçlı ay aracı gerekecektir

5.2.3 Diğerk araçlar

Eğer birden fazla üs yapılacak olursa üsler arası bağlantı raylı sistemle sağlanacaktır. Geleneksel ve manyetik hava destekli sistemlerin her ikisi birden ulaşım hatları için düşünülmektedir. Dünya'da uçak hızını yakalayabilen Manyetik hava destekli sistemleri Ay'da da, treni yavaşlatacak bir atmosfer olmadığından özellikle cazip görülmektedir. Ay treninin en dikkate değer ayrıntısı, her bir vagonunun ayrı ayrı yalıtımının sağlanması ve kendi özel LSS'sine sahip olması gerektiğidir. Trenler aynı zamanda raydan çıkmaya karşı da yüksek derecede dayanıklı olmak zorundadırlar.

Ay aracının kullanılamayacağı bölgelerde ise kablolu veya uçan bir araç kullanılması zorunluluk kazanmaktadır. Yüzeyle teması tamamen kesen ve bu şekilde toz oluşumunu tamamen yok eden ve engellerden kaçınmayı sağlayan kablolu taşıtlar uygun çözüm yolu olabilir. Çok geniş bir alanda bu ağı kurmak mümkündür ve bundan sonra taşımacılığın maliyetini büyük oranda düşürecektir. Bu olasılık en çok üzerinde durulanlardan biridir (Building a Base on the Moon).

5.3 Ay'dan Uzaya

Bir Ay üssü insanların ve çeşitli malzemelerin Dünya'ya ve hatta ileride uzaydaki farklı üslere ulaştırılması için etkili yollara ihtiyaç duyacaktır. Ay'ın bir avantajı düşük yerçekimi gücü sayesinde fırlatmanın Dünya'ya göre daha kolay olmasıdır. Ay'ın diğer bir avantajı ise atmosferinin olmamasıdır. Atmosfer sürtünmesi olmayacağından Ay'dan ayrılmak daha kolay olacaktır. Ayrıca Ay'dan roket yakıtı elde etme çalışmalarının başarılı olması sayesinde Ay yüzeyine roket yakıtı taşıma sorunu da kalmayacak ve Ay'dan diğer gök cisimlerine gönderilecek uzay araçlarının fırlatılması parasal yönden büyük avantaj sağlayacaktır.

Ancak atmosfer bulunmamasının bir sonucu olarak Aerobraking (yavaşlamak için hava sürtünmesinin kullanıldığı bir teknik) imkânı olmadığından iniş için daha fazla yakıt gerekecektir. Bu sorun için bir çözüm yolu Ay'a gönderilecek ikmal malzemelerinin darbe önleyici malzemelerle kaplanması ve iniş öncesine yüzeye atılmasıdır. Bu çözümün etkin olabilmesi için kaplamanın hafif malzemelerle yapılmış olması gerekmektedir (Colonization of The Moon).

5.4 Yeni Nesil Taşıma Sistemleri

Ay yerleşiminin ve endüstrisinin büyümesi ve gelişmesi sonucunda Dünya ile Ay arasında daha hızlı, daha güvenli ve daha düşük maliyetli bir taşıma sistemine ihtiyaç duyulacaktır. Bu amaçla geliştirilen sayısız taşıma sistemi arasında uzay asansörü, kütle fırlatıcılar ve güneş yelkenlisi çalışmaları öne çıkmaktadır. Bu teknolojilerin en önemli avantajları düşük maliyetli taşıma, kapasite artışı ve kimyasal roketlerin neden olduğu kirlenmenin önlemesidir.

Apollo görevlerinden elde edilen verilere göre tek bir roketten çıkan gazın neden olduğu kirlilik yaklaşık dört saat boyunca hissedilebilmektedir. Uzun vadede Ay üssünden yapılacak iniş ve kalkışlar sıklaşacağından ortaya çıkan kirliliğin önemli seviyelere çıkacağı kabul edilmelidir (Cohen 1998).

5.4.1 Uzay asansörü

Bir ucu yeryüzünde diğer ucu ise yerdurağan dünya yörüngesinde bulunan, yaklaşık 100000 km. uzunluğunda bir kablo ve ek sistemlerle oluşturulması düşünülen bir taşıma sistemidir. Yeryüzündeki ucu ekvator üzerindeki yer değiştirebilen bir yüzer platform üzerinde bulunacaktır. Tüm istasyonun yeri, uzaydaki cisimlerden kaçınmak için birkaç günde bir değiştirilecektir (Şekil 5.6.).

Uzay asansörünün birçok bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; taşımayı sağlayacak bir kablo, yerdurağan dünya yörüngesindeki kablonun ucunun bağlı olduğu bir uydu,

malzemelerin ve insanların uzaya çıkmasını sağlayacak asansörler, enerji üretim ve iletişim sistemleri ve yeryüzündeki dengeleme ağırlığıdır. Ayrıca sistemin devamlı olarak bakım ve onarımını yapacak robotlar da bulunmaktadır.



Şekil-5.6. Uzay Asansörü Temsili Resmi (Pelt 2009).

Bu sistemle normal taşıma sistemlerinden 250 kat daha ucuz bir şekilde personel ve malzeme nakli yapılabilecektir. Hesaplanan kg başına taşıma bedeli 100 dolardır (Swan ve Swan 2006).

Asansörün çalışması için gerekli enerji ise yüzer platforma yerleştirilmesi planlanan 12 metrelik teleskoplardan lazer kullanılarak sağlanacaktır. Asansörün, yükü saatte 200 km hızla uzaya taşıyabileceği değerlendirilmektedir.

5-100 ton arasında kapasiteye sahip olabilecek olan uzay asansörü, uzay taşımacılığında maliyeti düşürmesinin yanında taşıma kapasitesini de günümüzdeki değerin yaklaşık üç katına çıkarabilecektir (Nelson 2008).

Bu projenin en önemli noktası ise bu uzunlukta bir kablo yapılabilmesidir. Böyle bir asansörün yapılması yakın zamana kadar kablo için yeterince dayanıklı maddenin bulunamaması nedeniyle teknolojik bakımdan imkânsız görülüyordu. Ancak 1991 yılında keşfedilen karbon nanotüpler sayesinde artık uzay asansörünün gerçekleşmesi umidi artmıştır.

Daha önce bu kapsamda değerlendirilen çelik ve kevlerden çok daha mukavemetli olmasına rağmen karbon nanotüplerin yeterli mukavemeti göstermesi için uzaydaki ucu azami kalınlıkta ve Dünya'ya yaklaştıkça azalan bir şekilde üretilmesi gerekmektedir.

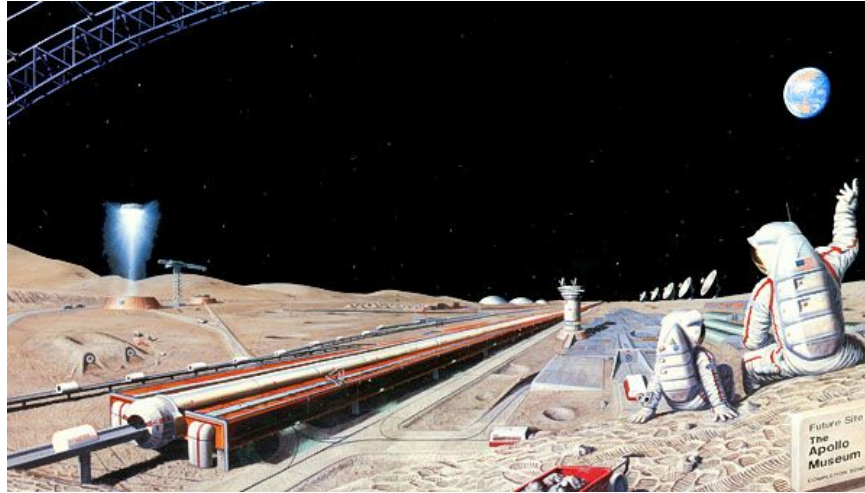
Karbon nanotüplerle ilgili en büyük sorun ise günümüzde henüz çok köşk boyutlarda   retilbilmesidir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar göstermektedir ki projenin faaliyete geçirilmesi çok uzun zaman almayacaktır.

Uzay asansörü ile ilgili ortaya çıkacak çeşitli tehditler bulunmakta olup bunlardan en   emlileri; uydular, göktaşı ve mikrometeoritler, atomik oksijenin yıpratıcı etkisi ve radyasyondur. Hâlihazırda bu sorunlar büyük ölçüde çözümlenmiş olup projenin tamamlanacağı zamana kadar diğerlerinin de çözülebileceği değerlendirilmektedir.

5.4.2 Kütle fırlatıcıları

Ay'dan uzaya malzeme fırlatmak, aynı malzemenin Dünya'dan fırlatılmasından 20 kat daha kolaydır. Malzemelerin Ay yüzeyinden uzaya fırlatılmasında kimyasal roketler yerine elektrikle çalışan bir sistem kullanılması maliyet ve   evre kirliliği yönünden çok daha uygun olacaktır. Kütle fırlatıcısı olarak isimlendirilen böyle bir sistem tasarlanmış ve denenmiştir.

Tüm mevcut ve üzerinde çalışılan kütle fırlatıcılarında, tel bobinlere elektrik verilerek elektromıknatıs özellik kazanması sistemi uygulanmaktadır. Fırlatılacak yük de mıknatıs özelliği kazandırılmış bir kap içine konur. Bir dizi elektromıknatısın düz bir yol üzerinde sıralı olarak aktif hale getirilmesi ile mıknatısın farklı kutuplarının birbirini çekmesi ve aynı kutuplarının birbirini itmesi ilkesinden faydalanılarak yüke hız kazandırılır. Yeterli hıza ulaşıldığında kap durdurulur ve y  k kazandığı ataletle yoluna devam eder (  ekil 5.7.) (Damon 2001).



Şekil 5.7 Kütle Fırlatıcısı Temsili Resmi

(<http://www.nss.org/settlement/moon/patrawlings-lunarbase-600.jpg>
web sayfasından alınmıştır (erişim: 12 Haziran 2009))

Kütle fırlatıcılar iki şekilde uzay araçlarını fırlatmak için kullanılabilirler. İlki, yüzeyde geniş bir alanda kurulan kütle fırlatıcısı ile uzay araçları Dünya veya başka bir gökcismi üzerinden fırlatılabilir. İkincisi ise, bir uzay aracı üzerine yerleştirilen kütle fırlatıcısı ile büyük parçalar aracın kazandığı hızla uzaya fırlatılabilir.

Kütle fırlatıcısı ile ilgili en önemli sorun, sadece küçük malzemeler için kullanılabilmesidir. Tasarım üzerindeki kısıtlamalar; kullanılan silisyumun, güç kaynağının ve geçici depolamanın maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca böyle bir tasarım ile yaklaşık 1,5 tonluk bir araç deniz seviyesinde 20 km/sn.lik bir hıza eriştirilebilir ki bu hız aracın Dünya'dan ayrılmasına yetmektedir. Bununla birlikte böyle bir sistemi harekete geçirmek için yaklaşık saatte 83 MW enerji gerekmektedir. Ayrıca 1 kg.lık bir yükün yeterli hıza eriştirilebilmesi için yaklaşık 12,5 millik bir yol gerekecektir (Sharma vd 2008).

Bunun yanında kütle fırlatıcılarla ilgili yapılan diğer bir çalışma ise bu sistemlerin fırlatmada ilk aşama olarak kullanılmasıdır. Manyetik hava destekli taşıtlar olarak anılan bu sistem, bir uzay aracının Dünya yüzeyinden yörüngeye fırlatılmasında başlangıç itkisini sağladığı bir denemede kullanılmıştır. Oluşturulan manyetik alanla uzay aracının sürtünmeden etkilenmesi önlenerek kısa sürede yüksek hızlara erişmesi sağlanmış ve böylece fırlatma kütlesi büyük oranda düşürülmüştür.

Ay yüzeyinden kaçış hızı düşük çekim kuvveti ve atmosferin bulunmaması nedeniyle yaklaşık 2,4 km/s olduğundan kütle fırlatıcısı Ay yüzeyinde çok daha etkili olarak kullanılabilir. Bu nedenle daha kısa yollar yeterli olacaktır. Gerekli enerji de daha az olup Güneş'ten sağlanabilecektir (Damon 2001).

5.4.3 Güneş yelkenlileri

Güneş yelkenlileri Dünya'da kullanılan yelkenlilerle aynı prensibe göre çalışmaktadır. Aralarındaki fark ise güneş yelkenlilerinin rüzgâr yerine Güneş'ten gelen fotonları kullanmasıdır. Uzayda sürtünme olmadığından bu araçlar bir kez harekete geçti mi, ışığı gördükleri sürece hareketlerini hızlandırarak sürdürürler. Dolayısıyla güneş yelkenlileri günümüzde kullanılan roketlere göre daha ucuz olmasının yanında çok daha yüksek hızlara ulaşılabilmesini de sağlamaktadır (Şekil 5.8.).



Şekil 5.8. Güneş Yelkenlisi (Vulpetti vd 2008).

Uzay yelkenlileriyle ilgili ilk tasarımlar yetmişli yıllarda ortaya atılmış olsa da uygun malzemelerin üretimi doksanlı yılların ortalarında yapılabilmektedir. Yelken malzemelerinde; hafif olmasının yanında yüksek yansıtma ve aşırı sıcaklıklara dayanma özelliklerine sahip olma özellikleri de aranmaktadır.

Uzay yelkenlilerinde bir kâğıdın yaklaşık yüzde biri kalınlığındaki CP-1 adı verilen alüminyum benzeri ve ısıya dayanıklı bir malzeme kullanılmaktadır. Yelkenli boyutları planlanan göreve uygun olarak 10-1000 m. arasında değişebilecektir. Tasarlanan uzay yelkenlilerinde yelkenin yanı sıra, antenler, bilgisayarlar, güneş panelleri, yönlendirici algılayıcılar, bilimsel araçlar, kargo bölümleri, mürettebat kabinleri ve benzeri bölümler bulunabilecektir.

Günümüze kadar yapılan üç denemeden yalnızca Japon Uzay Araştırma Ajansı'nın yaptığı 2004 yılındaki deneme başarılı olmuş ve yelkenli uzayda kısa bir süre yol aldıktan sonra düşürülmüştür. Diğer iki denemede ise yelkenliler yörüngeye oturtulamayarak başarısız olmuştur.

Yelkenlerin yüzeyinden yansıyan fotonlar araca bir momentum kazandırır. Uzayda aracın hızını yavaşlatacak herhangi bir hava direnci olmadığından, aracın hızlanması birim zamanda düşen fotonla orantılı olacaktır. Başlangıçta 45 m/s olan hız 100 günde 4500 m/s'ye ve yaklaşık 2,5 yıl sonra 45000 m/s'ye çıkacaktır. Bununla birlikte güneş ışığının gücü uzaklıkla azaldığı için güneş yelkenlileri yol aldıkça Güneş'in etkisi azalacaktır. Bu sorunun çözümü için odaklanmış bir lazer ışını huzmesi kullanımı görüşü ortaya atılmıştır. Lazer ışınları mesafeye bağlı olarak dağılmayacak ve zayıflamayacaktır (Şener ve Aras 2009).

Her ne kadar Dünya-Ay arasındaki seyahatlerde düşük başlangıç hızı nedeniyle çok da uygun görülme de güneş yelkenlileri, acil olmayan durumlarda malzeme nakli için kullanılabilir ucuz bir yöntem olarak planlamalara alınmalıdır.

6. ENERJİ

Enerji, insanların uzayda yapmak istedikleri bilimsel, ticari ya da keşif amaçlı her konudaki faaliyet için ana unsurlardan biridir. Bu faaliyetlerde yerinden enerji kaynaklarının kullanılması, gelecekteki gelişme imkânlarını daha da artıracaktır (Duke vd 2001).

Ay üssü ile ilgili çözülmesi gereken sorunlardan ilki, makinelerin çalışması ve taşıma için gerekli olan enerjinin sağlanmasıdır. Ay'a Dünya'dan malzeme nakli çok maliyetli bir işlemdir ve eğer taşıma araçları dönüş için Dünya'dan yakıt götürmezlerse bu maliyet büyük oranda düşecektir. Bunun yanında Ay yüzeyinde çalışacak robotlar ve makineler için de enerji gerekmektedir. Aynı şekilde gerekli olan enerjinin Dünya'dan gönderilmesi, maliyeti büyük ölçüde artırmaktadır (Schrunk vd 2008).

Her ne kadar nükleer enerji Ay üssünün hemen hemen tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek olsa da kullanımı ile ilgili olumsuzluklar bulunmaktadır. Nükleer enerjiye halkın bakış açısı olumlu değildir ve ayrıca nükleer enerji üretecek olan donanımlar çok ağır olduklarından bunları Ay'a götürmek yüksek maliyete neden olacaktır. Bunun yanında herhangi bir kaza esnasında ortaya çıkabilecek zararın kabul edilmesi özellikle Ay üssü projesinin ilk dönemlerinde çok da mümkün olmayacaktır. Kaldı ki nükleer enerji reaktörünün bakım onarım işlemleri sırasında bile personel radyoaktif tehlikeye maruz kalmaktadır (Colonization of The Moon).

Hidrolik ve rüzgâr enerjisi için gerekli imkânlar Ay'da bulunmadığından bu enerji çeşitlerinin elde edilmesi mümkün görünmemektedir. Bu sebeplerden dolayı görev planlayıcılar, güneş pillerinden elektrik enerjisi, güneş kolektörlerinden ısı enerjisi ve Ay kaynaklarından roket yakıtı üretimi üzerinde odaklanmışlardır. Aslında enerji ihtiyacını karşılamak için büyük miktarlardaki pillerin taşınması ve kurulumu da büyük bir sorun teşkil edecektir ancak ihtiyaç duyulan güneş pillerinin Ay yüzeyinde imal edilmesi ile bu sorun büyük ölçüde azalacaktır (Duke vd 2001).

Daha önce de bahsedildiği gibi nükleer füzyon için en uygun yakıt türü olan ^3He , Ay'da yeterli miktarda bulunmaktadır ve nükleer füzyon tepkimesi, daha önceki nükleer enerji üretim yöntemlerinden farklı olarak nükleer kirliliğe yol açmamaktadır. Bu nedenle çok ideal bir enerji üretim yöntemidir. Ancak, laboratuvar şartlarında ve küçük çapta gerçekleştirilebilen füzyon tepkimesi şu ana kadar kullanılabilir bir şekle çevrilememiş ve elektrik üretiminde kullanılamamıştır. Sonuç olarak özellikle Ay üssünün ilk dönemlerinde kullanılamayacağı düşünülmektedir.

6.1 Güneş Pilleri

Diğer enerji kaynakları pahalı veya karmaşık olduğundan Ay üzerinde farklı bölgelere yerleştirilen güneş pilleri ile elektrik enerjisi üretimi en uygun çözüm olarak görünmektedir.

Güneş pillerinin ilk uygulamaları hesap makinesi gibi az enerji harcayan basit aletlerde görülmüştür. Etkinliği arttıkça elektrik hatlarının ulaşamadığı uzak bölgelerde de kullanılmaya başlanmıştır. Gün geçtikçe petrol ürünleri gibi fosil temelli yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak adına daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Artık trafik ve park

ışıkları için kullanımı normal hale gelmiştir. Bu yaygınlaşmanın sebebi ise fotoelektrik sistemlerin modüler bir yapıda olması ve ürettiği elektrik enerjisinin her tür cihazda kolaylıkla kullanılabilmesidir (Schrunk vd 2008).

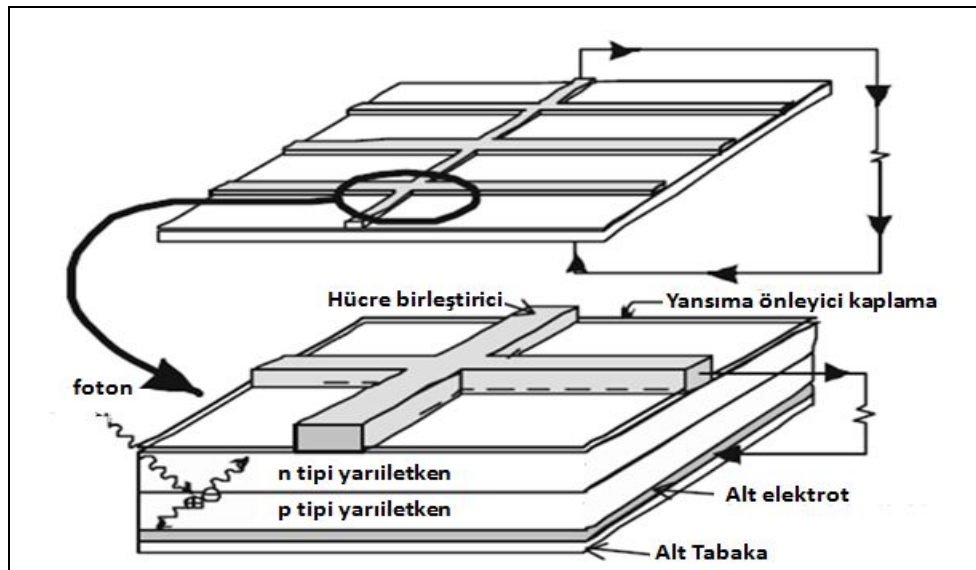
Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilebilen güneş pillerinin alanları genellikle 1 m² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarı-iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin denetimli olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Günümüzde bu maddelerin içinde en sık kullanılanı silisyumdur.

Yarı-iletken madde olarak çok kristalli silisyum kullanılır. p ve n tipi yarı-iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür ve elektrik akımı oluşmaz. pn eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam etmekte ve elektrik akımı oluşmaktadır (Güneş Enerjisi).

İnce film teknolojisi, güneş pilleri için gerekli olan ışık emicilerin ağırlığını azaltmak için geliştirilmiştir. Her ne kadar bu teknoloji ile maliyetler azalsa da enerji dönüştürme verimliliği de azalma eğilimindedir. Bu olumsuzluğu gidermek için ise çok katmanlı ince film yapısı kullanılmaktadır.



Şekil 6.1. Güneş Pilinin Yapısı (<http://gunespilinedir.com/gunes-enerjisi> web sayfasından alınmıştır (erişim:12 Mart 2009)).

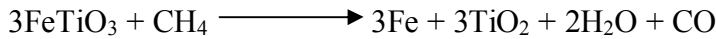
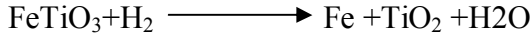
Güneş pillerinin bileşenleri; bir alt tabaka, alt elektrot, silisyum p-n eklentileri, üst elektrot, yansıma önleyici kaplama ve hücre birleştiricidir. (Şekil 6.1.) Üst ve alt elektrotlar alüminyum veya demir silisitten üretilebilir. Alt tabaka ise regolitin eritilmesiyle elde edilen camdan üretilebilecektir. Yansıma önleyici kaplama ise TiO_2 , SiO_2 veya buharlaştırılmış regolitten üretilebilir. Demir, alüminyum veya kalsiyum ince film metaller hücre birleştirici olarak kullanılabilir.

Ay kaynakları kullanılarak Ay üssü için gerekli olan enerjiyi sağlayacak güneş pilleri üretilebilecektir. Üretim için gerekli tüm malzemeler Ay'da bulunmaktadır. Ay yüzeyini kaplayan yoğun boşluk sayesinde ince film kaplama işlemi doğrudan Ay yüzeyinde yapılabilir. (Schrunk vd 2008).

Ay'da oksijen ve silisyumun her ikisinin de çıkarılması için yapılan regolit işleme işlemi, anortit ($CaAl_2Si_2O_8$) gibi bir cevherin karbonlu ısı indirgenmesini de kapsamaktadır. Reaktiflerin kaybolarak Dünya'dan yeniden getirilmesini önlemek için, anortit gibi cevherlerin işlenmesi için kapalı çevrim süreci gerekmektedir. Metan, metan çatlamlarının ortadan kaldırılması için değiştirilmiş bir süreçte azaltma aracı olarak kullanılabilir. Kapalı döngüsel süreçteki aşağıdaki tepkime ile oksijen ve silisyum üretimi birlikte sağlanabilir:

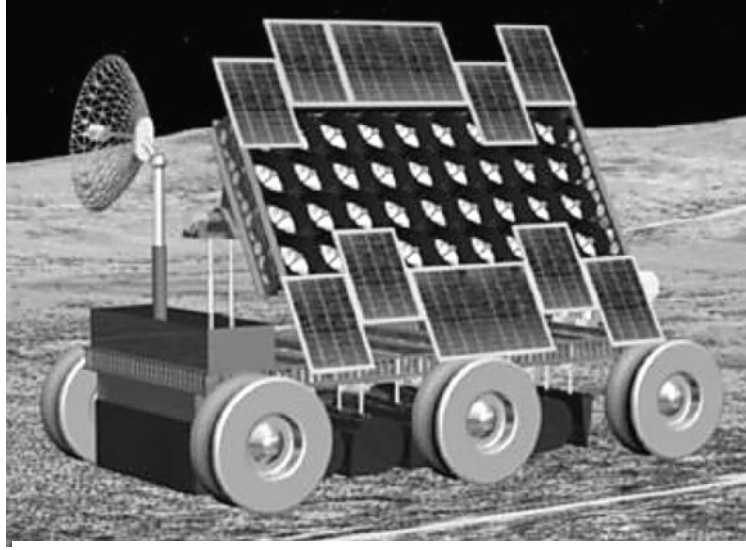


Demir ve titanyum dioksit (TiO_2), hidrojen ve Ay denizlerinde bol miktarda bulunan ilmenit mineralinin ($FeTiO_3$) karbonlu ısı indirgenmesi ile elde edilebilmektedir. Bu işlem için aşağıdaki tepkimelerden biri kullanılabilir:



Ay regolitinden elde edilen silisyumla üretilen güneş pillerinin geliştirilmesi için ön çalışmalar başlatılmış ve bu silisyumla güneş pillerinin yapılabilirliği gösterilmiştir. Ancak bu silisyumun orta kalitede olması nedeniyle güneş pillerinin verimini artırmak için silisyumun tekrar saflaştırılması gerekecektir.

Şekil 6.2.'de kavramsal tasarımı görülen 200 kg.lık hareketli bir robotik araç Ay yüzeyinde hareket ederek, bölgedeki büyük kaya ve taş parçalarını temizleyip ve güneş pillerinin cam alt tabanının üretilebilmesi için yüzeyi hazırlamaktadır. Bu süreçteki her buharlaştırma faaliyeti için doğrudan güneş enerjisinden sağlanan ısı enerjisi kullanılacaktır. Bu enerji her biri 1000 W. çıkış gücüne sahip en az altı adet 1 m^2 'lik güneş kolektörü tarafından sağlanacaktır. Bu güneş kolektörlerinden birincisi robotik araç üzerinde bulunacak, yüzeyde 4 mm'lik bir regolit tabakasını eritecek ve böylece güneş pillerinin cam alt tabakasını oluşturacaktır. İkinci güneş kolektörü, silisyum ve gerekli katkı maddelerinin buharlaştırılarak cam alt tabaka üzerine serilmesini sağlayacaktır. Sonraki kolektör metal üst elektrotları yerleştirecek ve hücreleri bir bağlantı örtüsüyle bağlantılandıracaktır. Diğer kolektörler yansıma önleyici kaplamayı sağlayacaklardır.



Şekil 6.2 Ay Regolitinden Güneş Pili Üreten Robotik Araç Tasarımı (Schrunk vd 2008).

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya güneş pili birimi ya da fotovoltaiik birim adı verilir.

Gerekli temel malzemelerin elde edilmesi için regolit işleme süreci, ikinci bir robotik araç ile yapılabilecektir. İlk güneş pilleri, Dünya'dan getirilen malzemelerden üretilen olacaktır. 100 kW/saat elektrik enerjisi üretebilecek ince film güneş pillerinin elde edilebilmesi için 40 kg. malzeme yeterli olacaktır. 200 kg. ağırlığındaki robotik işleme aracı ilk güneş pilleri imal edildikten sonra üretim bölgesine getirilecektir. Bu aracın ihtiyacı olan enerji de güneş pillerinden sağlanacaktır. Bu iki araçla ilk güneş enerjisi üretim tesisi oluşturulabilecektir (Duke vd 2001).

6.2 Güneş Kolektörleri

Isıl ve termodinamik dönüşüm, güneş enerjisinin ısıtma etkisinden (sera etkisi) yararlanılarak suyun ısıtılması esasına dayanır. Bu su sıcak su ihtiyacını karşılamakta kullanılabileceği gibi aynı zamanda elektrik enerjisi üretiminde de kullanılabilmektedir.

Güneş enerjisinin sera etkisinden yararlanmak için altta, güneş ışığını soğurmaya yarayan kara cisim, üstte cam tabakadan oluşan kapalı sistemler kullanılmaktadır. Soğurucu tabaka arasında, içinde suyun dolaştığı bir kanal bulunur. Güneş ışınları cam yüzeyden içeri girer ve kara cisimce soğrulur. Alınan bu enerji kızılaltı ışıma olarak dışarı verilir. Bu ışıma cam tabakayı geçip dışarı ulaşmadığından sistemden çıkamamakta ve böylece sistemin ısısı artmaktadır (Güneş Enerjisi/Gün Isısı).

Güneş kolektörleri, Dünyasal kullanımları yanında günümüzde ISS gibi uzay araçlarında da kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda içerdiği dengeleme halkası ile güneş panelleri güneş ışığını dik alacak şekilde yönlendirilmiş olup, Ay üssü kurulumunun ilk dönemlerinde aynı şekilde kullanılabilecektir.

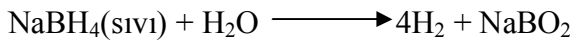
6.3 Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri yakıttaki kimyasal enerjiyi herhangi bir enerji dönüşüm süreci gerekmeksizin elektrik enerjisine yüksek verimle dönüştüren cihazlardır. Bu açıdan yakıt pilleri, standart pillerle aynı şekilde çalışır ancak daha verimlidirler. Uzayda ilk kullanımı Gemini uzay aracında olmuş ve daha sonra birçok uzay görevinde kullanılmıştır.

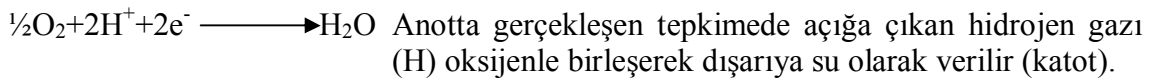
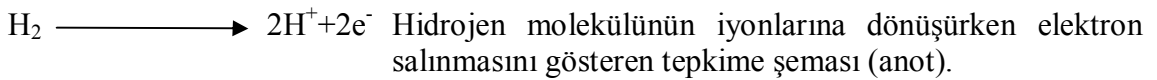
Yakıcı maddenin kütesinin de toplam kütleyle dâhil edilmesi gerektiğinden yakıt pili sisteminin toplam kütlesi planlanan işletim zamanı ile doğru orantılı olacaktır. 500 W.h/kg. güç düzeyindeki sabit kütleli bir sistem kullanımı halinde yaklaşık olarak 2,6 kW enerji elde edilecektir. Üretim için önemli bir endüstriyel üretim tesisi bulunmaması nedeniyle ticari yakıt pilleri, şarj edilebilir pillere göre daha pahalı bir enerji üretim sistemi durumundadır (Griffin ve French 2004).

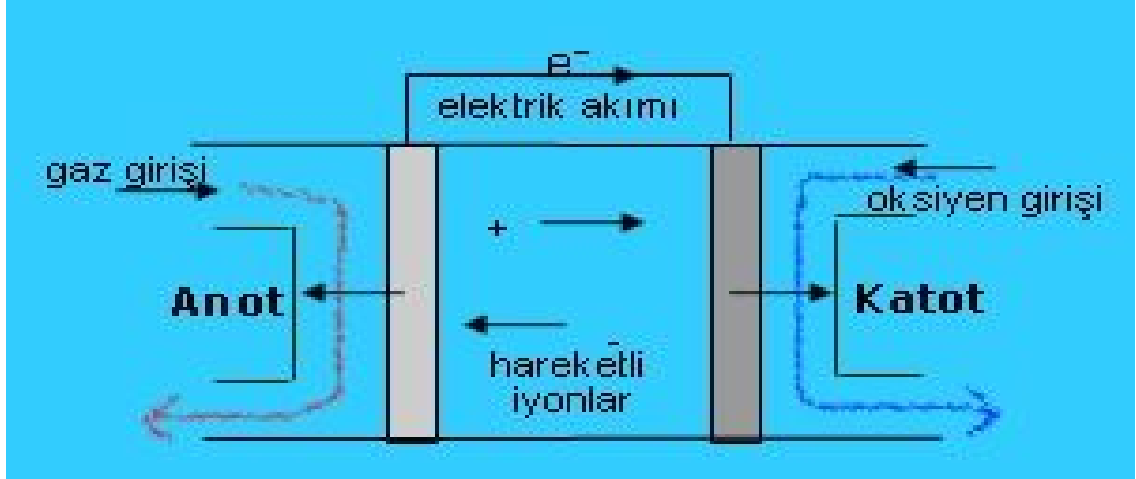
Yakıt pilinin çalışma mekanizması suyun elektrolizi tepkimesinin tersi olarak gerçekleşmektedir. 1839'da William Grove isimli İngiliz bilim insanı suyu oluşturan elementleri elektrik akımı yardımıyla ayırtırmayı başardı (suyun elektrolizi). İşte bu tepkimenin tam tersi tepkimeyle, yani oksijen ve hidrojen atomlarını birleştirerek bir elektrik akımı ortaya çıkarılabileceği görüşü o yıllardan beri biliniyor olsa da sistemin verimli olarak kullanılamayışı nedeniyle projenin üzerinde uzun bir süre durulmamıştır. Verimliliğin sağlanamamasının nedeni, hidrojen gazını depolamak çok geniş alanlar gerektirir. Özellikle taşıtlarda ve elektronik cihazlarda bu teknolojinin kullanılması, bu büyük depolama ihtiyacı nedeniyle neredeyse imkânsız bir hale gelmiştir. Hidrojen bir gaz olduğu için tıpkı LPG'li araçlarda olduğu gibi sıkıştırılarak depo edilebilse de bu haliyle bile diğer yakıtlardan 4 kat fazla yer kaplamaktadır. Son dönemlerde ise hidrojen tutucu bazı metaller yardımıyla bu sorunu aşmak mümkün olmuştur. Bu metallerde hidrojen, hidrür halinde depo edilmektedir. Depolama sorununun çözülmesiyle yakıt pili çalışmaları hız kazanmıştır.

Sodyum bor hidrürün tepkiyerek hidrojen oluşturma tepkimesi aşağıda verilmiştir. Sodyum bor hidrür olarak depo edilen hidrojen ayrıştırılarak yakıt pilinde kullanılmaktadır.



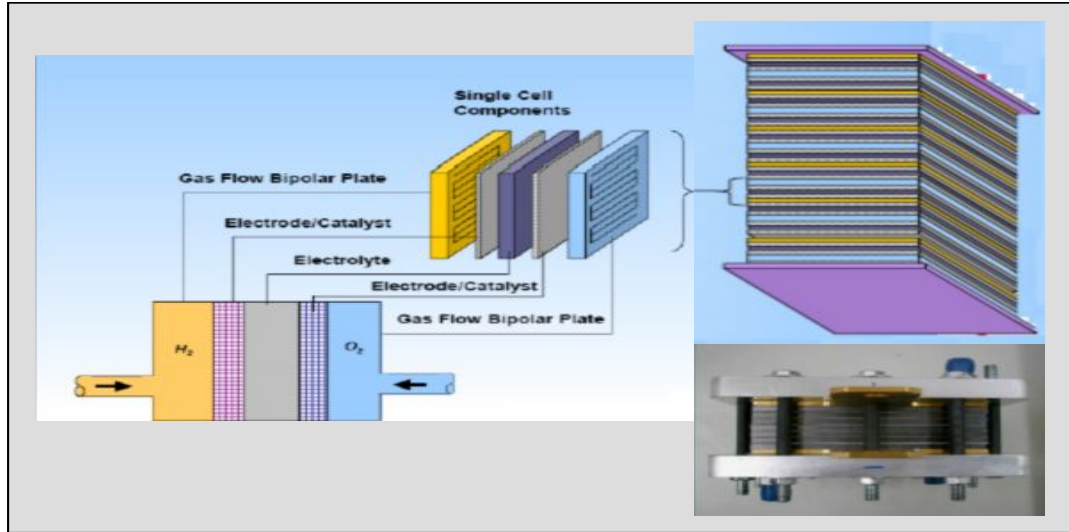
Yakıt pillerinin çalışma mantığı aslında çok karmaşık değildir (Şekil 6.3.). Bu sistemlerde elektrik enerjisi kimyasal yollardan elde edilmektedir (elektrokimyasal metot). Yakıt pilinin içerisinde gerçekleşen bir dizi kimyasal tepkimenin sonucunda elektrik enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu tepkimelerde kullanılan başlıca element hidrojendir. 2 hidrojen atomunun birbirleriyle birleşerek oluşturdukları hidrojen molekülü tekrar hidrojen iyonlarına ayrılmakta ve bu esnada dışarıya elektron verilmektedir. Bu elektron ise elektrik akımının oluşturulmasında kullanılmaktadır:





Şekil 6.3. Yakıt Piliin Çalışma Prensibi (<http://www.alternaturk.org/yakitpili.php> web sayfasından alınmıştır (erişim:12 Mart 2009)).

Yakıt pili temel olarak, iki elektrot (anot ve katot) ve elektrotlar arasında konulan elektrolitten meydana gelmektedir (Şekil 6.4.) (Yakıt Pili Teknolojisi).



Şekil 6.4. Yakıt Pili Yapısı
(<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/etkinlikler/hidromobil/FC-EgitimHidromobil2.pdf> web sayfasından alınmıştır (erişim:12 Mart 2009)) .

Her ne kadar sayısız yakıt-yakıcı birleşimi mümkün ve bunlar deneysel olarak denenmiş olsa da, uzay görevlerinde operasyonel olarak sadece oksijen ve hidrojen yakıcı maddelerini içeren bileşimler kullanılmaktadır. Yakıt pillerinin atık maddesi saf sudur ve bu su çok az arıtma ile veya arıtma yapılmadan mürettebatın kullanımına sunulabilmektedir. Laboratuvar verileri, yakıt pillerinin dönüştürme verimliliğinin yaklaşık %35 olduğunu ortaya koymaktadır (Griffin ve French 2004).

Ticari yakıt pili çalışmalarında metan, metanol, etanol, doğalgaz gibi çeşitli malzemeler denenmektedir. Şekil 6.3.'teki şema genellikle aynı olsa da kullanılan gazlar ve hareketli iyonlar yakıt pilinin türüne göre değişiklik göstermektedir. Çoğu türde hidrojen hareketli iyonken bazı türlerde oksijen de aynı maksatla kullanılmaktadır.

Kullanılan elektrolite göre yakıt pili türleri aşağıda verilmiştir.

- Alkali yakıt pili (AYP),
- Fosforik asit yakıt pili (FAYP),
- Erimiş karbonat yakıt pili (EKYP),
- Katı oksitli yakıt pili (KOYP),
- Polimer elektrolit membranlı(PEMYP),
- Doğrudan metanol yakıt pili (DMYP),
- Sodyum borhidrüllü Yakıt Pili (SBHYP) (Yakıt Pili ve Güç Koşullandırma).

Doğrudan metanol yakıt pili (DMYP) olarak adlandırılan farklı bir yakıt pili kavramı, mobil uygulamalar için çok küçük ebada sahip yakıt pili güç kaynağı imkânı sunmaktadır. DMYP güç kaynağı olarak küçük ebat ve yüksek enerji yoğunluğu gerektiren uzay giysileri ve diğer uygulamalar için büyük bir kullanım imkânı sağlayabilecektir. Eski ve büyük örnekleri kadar verimli olmasa da DMYP lityum pillere göre iki kat fazla enerji yoğunluğu sağlayabilmekte ve metanol ekleyerek kolayca şarj edilebilmektedir. DMYP'nin ilk kullanım alanı ticari dizüstü bilgisayarlarda ve cep telefonlarında olmuştur. Uzay çalışmalarında kullanımı gelişme aşamasındadır.

ISS gibi büyük sistemlerde pillerin yerini kendini yenileyici yakıt pilleri almaktadır. Bu sistemlerde yakıt pilleri hidrojen ve oksijeni depolamakta ve karanlıkta kalınan dönemlerde elektrik üretmektedir. Yörüngenin aydınlıkta kalınan dönemlerinde güneş panelleri uzay aracının güç ihtiyacını karşılamak ve faaliyetler sırasında suyu elektroliz ederek yakıt pillerini şarj etmek için elektrik üretmektedir. Ortaya çıkan hidrojen ve oksijen, bir sonraki karanlıkta kalınan dönemde yakıt pillerinde yakıcı olarak kullanılmak üzere depolanmaktadır. Kendini yenileyici yakıt pilleri laboratuvar ortamında üretilmiş ancak henüz mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek oranda küçültülememiştir (Griffin ve French 2004).

Yakıt pillerinin diğer pillere göre; yakıt esnekliği, ölçü/boyut esnekliği, sessizlik, yüksek başarımlar gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır.

Yakıt pilleri özellikle Ay gecelerinde de çalışmalarına devam edecek olan Ay araçları için yardımcı kaynak olarak düşünülmektedir ancak atık olarak ortaya çıkan suyun tekrar hidrojen ve oksijen bileşenlerine çevrilmesi için enerjiye ihtiyaç vardır. Elektrik birçok faaliyette doğrudan kullanılabildiği gibi yakıt pillerinde su çıkışını tekrar hidrojen ve oksijene çevirmekte de kullanılabilecektir (Schrunk vd 2008).

Uzay mekiğindeki yakıt pilleri bir defada 17 günden daha uzun süre kullanılabilmektedir. Mevcut yakıt pili teknolojisi uzay mekiklerinde kullanılan yakıt

pillerinden çok daha gelişmiştir. Yakıt pili konusunda ortaya konan son örneklerden biri olan PEM (Proton Exchange Membrane) yakıt pilleri çalışma esnasında çok daha az ısı ortaya çıkarmaktadır ve çok daha hafif, çok daha küçüktür. Bu sebeplerden Dünya'dan Ay'a taşınması da daha ekonomiktir. Bununla birlikte henüz PEM yakıt pilleri uzayda denenmemiştir.

Yakıt pillerinin elektrolizler yardımıyla birbirine bağlanması sonucunda devamlı elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Bununla birlikte gündüzleri güneş enerjisi, geceleri ise yakıt pillerinin kullanımı daha uygun olacaktır. Gündüz boyunca güneş enerjisi yakıt pillerinden ortaya çıkan suyun elektrolizinde kullanılabilecektir. Kayıp az olsa da bu şekilde geri kazanılacaktır (Colonization of The Moon).

6.4 Aynalar ve Güneş Yoğunlaştırıcılar

Ay yüzeyinde rüzgâr olmadığından aynalar ve güneş yoğunlaştırıcılar düşük ağırlıklı olarak üretilebilecek ve mylar film ya da istifleme için sıkıştırılıp daha sonra açılmış başka bir maddeden de yapılabilir. Dünya'dan getirilecek bu malzemeler düz bir yüzey bulunduktan veya hazırlandıktan sonra otomatik olarak yerleştirilecektir. Hatta yüksek bölgelere yerleştirilen direklerin üzerine yerleştirilmiş hafif aynalar sayesinde Güneş'in diğer tarafta olduğu zamanlarda bile güneş ışığı alınabilecektir.

Güneş yoğunlaştırıcılar petrol üretiminin azaldığı dönemlerde ortaya atılmış bir fikirden doğmuştur. Önce güneş ışınlarından çeşitli ayna yerleşimleri ile yüksek derecelerde ısı elde edilmekte ve daha sonra elektrik enerjisine çevrilmektedir. Ayrıca ısı olarak doğrudan da kullanılabilmektedir. Kanal, çanak ve enerji kulesi olmak üzere üç çeşit güneş yoğunlaştırıcı bulunmaktadır (Schrunk vd 2008).

6.5 Roket Yakıtı ve Yakıcı Madde

Kimyasal roketler çalışmak için yakıt ve yakıcı maddeye bir arada ihtiyaç duymaktadırlar. Sıvı yakıtlı roketler katı yakıtlı olanlara göre hem daha yüksek itki gücü sağlamakta hem de kısılabilmek, kapatılabilmek ve yeniden çalıştırılabilmek avantajlarına sahip olmaktadır. Uzay mekiklerinde ve daha yeni roket teknolojilerinde sıvı oksijen ve sıvı hidrojen kullanılmaktadır. Ay tabanlı taşıma sistemlerinde, daha sonraki Mars görevlerinde de kullanılmak amacıyla metan kullanımı da planlanmaktadır. Yakıcı madde olarak Ay'da üretilecek en iyi madde oksijen olacaktır. Tüm kimyasal roketlerde yakıcı madde ağırlığı yakıt ağırlığını aşmaktadır. Eğer yakıcı madde Ay kaynakları ile üretilebilirse, Dünya'dan fırlatmada yüklenecek yakıt ağırlığı 4-6 kat azalacaktır. Bu ve diğer nedenlerden dolayı Ay'da oksijen üretiminin, enerjiden sonra ikinci öncelikli faaliyet olacağı tahmin edilmektedir (Schrunk vd 2008).

7. TARIM FAALİYETLERİ

Uzun süreli Ay üssü görevleri büyük ölçüde mürettebatın yaşam desteği için; gıda, atmosferik oksijen ve bitkilerce üretilen temiz su üretim miktarına bağlı olacaktır. Bu nedenle planlı bitkisel üretim yapılan uzay tarım sisteminde çok hızlı bir devir hızında yüksek oranda ürün kazancı sağlamak, üs içindeki karbondioksiti oksijene çevirebilmek ve suyun arıtılmasını sağlamak önem kazanmaktadır (Kitaya vd 2008).

Günümüzde Mars yolculuğu ve Ay üssü çalışmaları yapan ABD, AB, Rusya ve Japonya gibi devletler ve birlikler bitkilerin yetiştirildiği ve bu sayede Ay üssü için hava, gıda ve temiz su sağlayan biyolojik yenileyici yaşam destek sistemleri üzerinde yoğun olarak çalışmaktadırlar. Bu amaçla kurulan tesislerde 2004 yılından itibaren deneysel çalışmalar yapılmaktadır (Guo vd 2008).

7.1 Uygulanacak Yöntem

Uzay görevleri için öncelikle topraksız tarım yapılması planlanmaktadır. Çünkü topraklı tarım için uygun toprağın Ay üssüne taşınması büyük bir fırlatma kütle ve hacmine ve yüksek maliyete neden olacaktır. Dünya’da bile birçok avantajı nedeniyle topraksız tarım uygulamaları başlatılmıştır.

Topraksız tarım bitkilerin; toprak kullanılmadan, gereksinim duydukları besin maddelerinin organik ya da inorganik katı yetiştirme ortamlarına verilerek denetimli sera şartlarında yetiştirilmesi anlamına gelmektedir. Bu sayede bitki, toprağın içinde su ve besin maddesine ulaşmak için harcaacağı enerjiyi gövdesinin gelişimi ya da meyvesinin üretimi için kullanmaktadır. Avantajlarından bazıları ise; ürün kalitesinde ve miktarında artış, gübre ve kimyasal ilaç kullanımına ihtiyaç duyulmaması, su tasarrufu, istenen zamanda istenen ürünün üretilmesi vb.dir.

Her ne kadar topraksız tarım uygulamaları yeni yeni gelişmeye başlamış olsa da aslında ilk uygulamalar çok eskiye dayanmaktadır. Çinlilerin pirinç yetiştiriciliği ve Eski Mısırlıların milattan yüzlerce yıl önce Nil Nehri’nin sularında topraksız yetiştiricilik yapmaları bu sistemin tarihteki bilinen ilk örnekleridir (Öztürk ve Sözüdoğru 2007).

Topraksız tarım deyince ilk akla gelen yöntem hidrofonik yani su kültürü ile yapılan tarım yöntemi olsa da günümüzde uygulamalar çok daha gelişmiş yöntemlerle yapılabilmektedir. Özellikle uzay uygulamaları gibi kapalı ortamlarda uzun süreli faaliyetlerde besin çözeltilerinin kirlenme ve bitkilerin, üzerinde yaşayan mikroorganizmalar ve mantarlar sebebiyle hastalanma riski bulunmaktadır. Suyun kirlenmesi ise üssün tamamını etkileyeceğinden hidrofonik yöntemler yerine bitkilerin toprak benzeri alt tabaka (SLS) üzerinde yetiştirilmesi fikri geliştirilmiştir. Bitkilerde zehirleyici etkiye sahip olan krom ve nikelin yüksek oranda bulunması nedeniyle Ay regolitinin bu faaliyetlerde kullanılmasının uygun olmayacağı düşünülmektedir. Bunun yerine Dünya’dan hazır olarak getirilen SLS üzerinde tarım yapılması planlanmaktadır.

SLS, buğday ve pirinç gibi bitkilerin saplarının öğütülmesi ile meydana getirilmekte olup Ay üssünde bitki üretimi gerçekleştirildikten sonraki dönemlerde Dünya’dan getirilmesi ihtiyacı ortadan kalkacaktır. SLS üzerinde tarım uygulaması çalışmalarında bitki hastalıklarının önlenmesinin yanında daha yüksek verimlilik sağlanmış ve bir

önceki hasattan kaynaklanan atıkların uygun bölümleri gerekli eklemeler yapılarak tekrar kullanılabilmiştir (Liu vd 2008).

7.2 Yetiştirilecek Bitkiler

Bu çalışmalarda öncelikli olarak hangi bitkilerin yetiştirilmesi gerektiği üzerinde durulmaktadır. Yüksek bitkiler mürettebatın oksijen, su ve gıda ihtiyacını karşılayabilirler ancak bu tür bitkiler özellikle ilk dönemlerde Ay üssü için uygun olmayacaktır. Yüksek bitkilerin yerine köklü ve yapraklı bitkilerin yetiştirilmesi daha etkili olacaktır. Bitkiler Ay şartlarının limitlerine uymalı ve ihtiyaçları karşılamalıdır. Bu nedenle uygun bitki türleri seçilmelidir.

Ürün ve türlerinin seçilmesi ile ilgili bugüne kadar ABD, Rusya, Japonya ve Avrupa'da birçok araştırma yapılmıştır. Konu ile ilgili ilk olarak ABD'de 1962 yılında uzay biyoloji sempozyumu yapılmış ve birçok yapraklı ve köklü aday bitki listelenerek tartışılmıştır. Takip eden yıllarda daha ayrıntılı analizler yapılmıştır. Analizlerde kıstas olarak; ürün miktarı, besin kalitesi, yetiştirme süresi ve tarımsal gereksinimler kullanılmıştır. Günümüze kadar yetmişen fazla bitki yetiştirilmek üzere önerilmiştir (Qin vd 2008).

Bir fikir vermesi açısından Ay yüzeyindeki biyolojik yenileyici yaşam destek sistemleri ortamında yetiştirilmek üzere 14 farklı bitkiyi kapsayan bir çalışma örnek olarak alınmıştır. Bu bitkiler; buğday, pirinç, soya fasulyesi, fıstık, tatlı biber, havuç, domates, kişniş, kanola, marul, turp, kabak, soğan ve sarımsaktır (Liu vd 2008).

Soya ve fıstığın yenilebilen bölümleri farklı şekillerde tüketilebilecektir. Özellikle fıstığın, sadece yağ üretiminde kullanılması planlanmaktadır. Yapılan hesaplamalar, 50 g. fıstıktan 20 g. yağ çıkarılabileceğini ifade etmektedir. Soya fasulyesi ise yalnızca soya sütü ve soya filizi üretiminde kullanılacaktır. 350 ml. soya sütü üretmek için 46; 100 g. soya filizi üretmek için 12,5 g. soya fasulyesi gerekecektir.

Ayrıca beslenmeyi çeşitlendirmek ve baharat olarak yiyecekleri tatlandırmak amacıyla listeye kişniş de eklenmiştir. Taze kişniş yaprakları, yüksek oranda beta karoten ve askorbik asit içermektedir. Mürettebat için ayrıca buğday ve pirinç samanı üzerinde yetişen istiridye mantarı da yetiştirilecektir. Mürettebat başına kullanılacak günlük gıda miktarları Çizelge 7.1.'de, mürettebat başına yetiştirilecek her bir bitki için gerekli olan ekim alanı ise Çizelge 7.2.'de verilmiştir.

Ay'da üretilecek bu gıdaların yanında Ay'da en azından ilk dönemlerde yetiştirilemeyecek olan hayvansal gıdalara ve tuz, şeker vb. ihtiyaçlar da olacaktır. Bu gıdalar Ay üssüne Dünya'dan götürülecektir. Götürülecek malzemelerin miktarı ise yaklaşık olarak bir yıl için mürettebat başına 87 kg hayvansal gıda, 2,5 kg tuz, 14,5 kg şeker, 1,5 kg sıvı potasyum ve 42,5 kg bitkiler için mineral olacaktır.

Gıdaların toplam kütesinin 20 kişilik mürettebat için yıllık 3000 kg civarında olması, buna yakın ağırlıkta atığın ise atık depolarında depolanması beklenmektedir (Liu vd 2008).

Gıda Çeşidi	Günlük Miktar (g)
Dünya'dan getirilenler	
Konserve balık	131
Et sosu	35
Balık sosu	23
Şeker	40
İyotlu tuz	7
Ay'da yetiştirilenler	
Pirinç	214
Buğday	200
Fıstık yağı	20
Soya sütü	350
Soya filizi	100
Kanola	150
Domates	120
Kişniş	80
Biber	90
Kabak	65
Kabak çekirdeği	7
Sarımsak	10
Turp	50
Havuç	40
Marul	15
Soğan	5
İstiridye mantarı	150
Toplam	1902

Çizelge 7.1. Mürettebat Başına Günlük Gıda Miktarları (Liu vd 2008).

Bitki Çeşidi	Gerekli ekim alanı (m ²)
Pirinç	15,8
Buğday	11,3
Fıstık	8,7
Soya fasulyesi	4,4
Kanola	2
Domates	1,7
Kişniş	1,2
Biber	0,9
Kabak	0,5
Sarımsak	0,3
Turp	0,3
Havuç	0,2
Marul	0,1
Soğan	0,1
Toplam	47,5

Çizelge 7.2. Mürettebat Başına Yeterli Ürün İçin Gerekli Ekim Alanı Değerleri (Liu vd 2008).

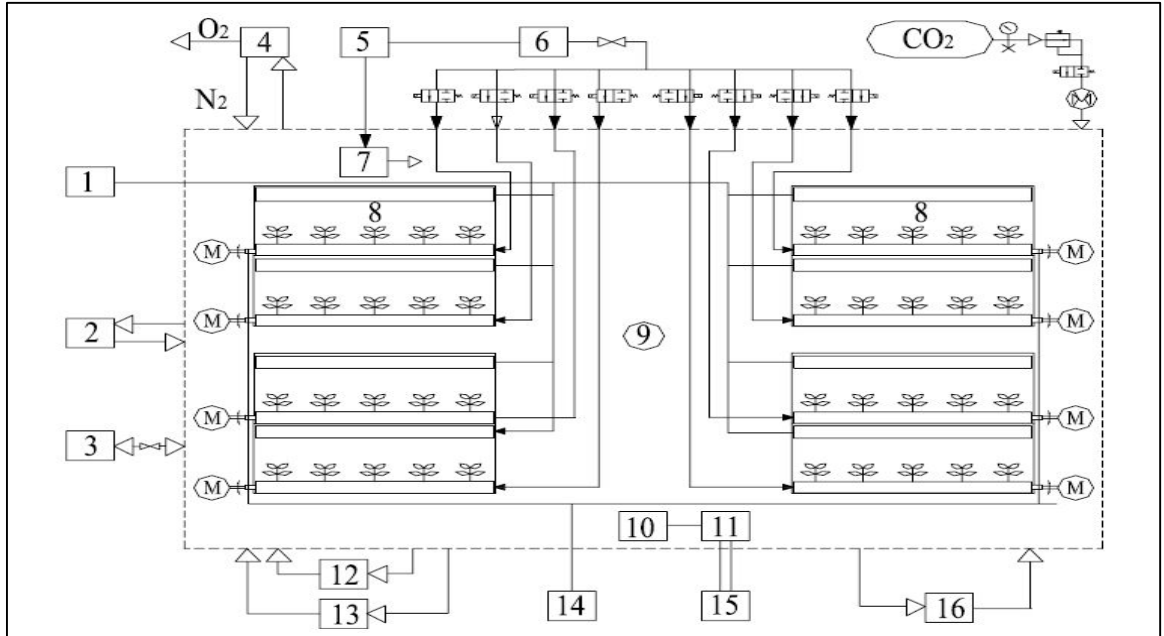
7.4 Seranın İç Tasarımı

Seraların tasarımında yalıtım ve hava döngüsünün sağlanmasına ve ortam ısısının mümkün olduğunca sabit tutulmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle seralarda aydınlatma ve ısıtmada güneş ışığı kullanılmayacağı düşünülmektedir.

Ay üssü serasında; sıcaklık, nispi nem, oksijen konsantrasyonu, karbondioksit konsantrasyonu, toplam basınç, aydınlatma şiddeti, ışıklandırma periyodu, büyüme alanındaki su içeriği, eklenen karbondioksit miktarı, alınan oksijen miktarı ve etilen konsantrasyonundan oluşan iç atmosferik parametreler otomatik ve etkin bir şekilde denetlenebilecek ve yönlendirilecektir. Sistem, sağ ve sol tarafında ayrı ayrı iki sıra raftan oluşmaktadır. Bitkinin büyümesine göre bu sıralar otomatik olarak ayarlanmaktadır. Işık kaynağı olarak %95 kırmızı ve %5 mavi ışık yayan diyotlar kullanılacaktır. Her bir lamba sırasının ortalama ışık yoğunluğu $255,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ değerine ulaşacaktır (Guo vd 2008).

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu mineraller bitkisel besin artıklarından ve regolitten elde edilecek, elde edilemeyen kısımları ise Dünya'dan getirilecektir.

Sistem içinde toplam 10 alt sistem bulunmaktadır. Bunlar; 1- Faaliyet odası, 2- Isı, nem ve havalandırma denetimi, 3- Kısmi ve toplam hava basınç denetimi, 4- Etilen konsantrasyonu denetimi, 5- Bitki aydınlatma denetimi, 6- Bitki besin sıvısı denetimi, 7- Video izleme, 8- Havadaki mikroorganizmaların denetimi, 9- Hava örnekleme ve 10- Veri izleme denetimi. Şekil 7.1.'de sistemin şematik diyagramı görülmektedir (Guo vd 2008).



Şekil 7.1. Ay Üssü Sera Sistemi Şematik Diyagramı: 1, aydınlatma kaynağı; 2, müşterek klima; 3, hava kesesi; 4, oksijen giderici; 5, nemlendirici su tankı; 6, sıvı besin tankı; 7, nemlendirici; 8, bitki yetiştirme kapları; 9, kamera; 10, sensörler; 11, ölçme-denetim birimleri; 12, karbondioksit çözümleyicisi; 13, oksijen çözümleyicisi; 14, bitki yetiştirme kaplarının yükseltici ölçme-denetimi; 15, ölçme-denetim konsolu; 16, biyolojik hava filtresi; m, bitki yetiştirme kaplarının yükselticileri (Kitaya vd 2008).

7.5 Atık Süreci

Bitkilerin yenmeyen kısımları iki şekilde işlenebilmektedir. Yüksek oranda odunsu içeriğe sahip buğday ve pirinç sapı gibi atıklar steril olmayan şartlarda istiridye mantarı üretiminde kullanılabilir. Bunun için bu saplar ısıtma yöntemleri ile öğütülecektir. Mantarlar geleneksel yöntemlerle 19-27 °C sıcaklıkta 60-70 günde üretilmektedirler. Mantarlar toplandıktan sonra mürettebatın tükettiği kısımların dışındaki bölümleri buğday ve pirinçlerin altına koyulacaktır. Düşük odunsu içeriğe sahip bitki atıkları ise uygun bitkiler ekilmeden önce SLS'ye eklenebilir. Atıklar, geri dönüşüm sistemine verilmeden önce vakum ile kurutulacaktır (Liu vd 2008).

7.6 Sistemin Faaliyete Geçirilmesi

Geleneksel yöntemlerle biyolojik yenileyici yaşam destek sistemlerinin faaliyete geçirilmesi ve ürün alınması için birkaç aylık bir süre gerekmektedir. Bu sürenin kısaltılması için Dünya'da kademeli ekim yapılmış kapların Ay yüzeyine gönderilmesi düşünülmektedir. Ancak bu uygulama, ıslak olarak metrekaresi yaklaşık 100 kg. olan SLS'nin bu şekilde taşınması 20 kişilik mürettebat için yaklaşık 95 tonluk bir kütlenin taşınması anlamına gelecektir (Liu vd 2008).

Bunun yerine SLS kuru olarak Ay yüzeyine gönderilmesi ve bu şekilde taşınacak kütlenin 19 ton olması planlanmaktadır. Ürün alınması için gereken sürede ise gıdalar geçici olarak Dünya'dan gönderilecektir. Mürettebatın ilk üç aylık sürede tüketeceği gıdanın toplam kütlesi yaklaşık 3 ton'dur. Ay yüzeyine getirilen SLS'lerin hazırlanan birimlere yerleştirilerek ekime hazır hale getirilmesi planlanmaktadır.

8. YAPI FAALİYETLERİ

Büyük inşaat faaliyetlerinde kullanılan Dünya standartları, önemli miktarda ve ağırlıkta yapı malzemeleri, ağır araç-gereç ve donanım, büyük bir emek gücü; Dünya dışı yapılarda kullanılamayacak kavramlardır. Yüksek taşıma maliyeti ve yapı malzemelerinin ay ortamındaki radyasyonlu boşluktaki başarımlarının bilinmemesi gibi çeşitli nedenlerle Ay tesislerinin tasarımında çözülmesi gereken büyük engeller bulunmaktadır.

Ay yapılarının inşaatı planlanırken işgücü ve donanım gereksiniminin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Bu hedef sadece; üs için yüzeyin hazırlanması, malzemelerin Ay yüzeyine getirilmesi, Ay yüzeyindeki taşımacılık, inşaat ve montaj süreçleri gibi tüm sistem ve operasyonlarda planlamaların koordineli yapılması ile mümkün olabilecektir. Ay yüzeyindeki birçok sınırlama bulunması nedeniyle uzaktan denetlenebilen ve otomatik çalışan cihazlar gerekli olacaktır (Koelle 2000).

Robotik yapım araç ve tekniklerinin Ay üssü yapımında kullanılması sayesinde hem güvenlik sorunları büyük ölçüde çözülmüş olacak hem de bu tekniklerde meydana gelecek gelişmeler sonucunda Dünya’da da benzer uygulamaların başlatılması sağlanabilecektir.

Tüm bunların yanında Ay üssü yapılarıyla ilgili tüm sorunlar çok iyi tanımlanmalı, çok iyi araştırılmalı ve faaliyete başlamadan önce yer testleri yapılmalıdır. Bu çalışma şu hususları içermelidir;

- Ay şartlarının ve yapı standartlarının tanımlanması,
- Yapı türünün seçilmesi,
- Yapı malzemelerinin tercihi, üretilmesine ve/veya Dünya’dan götürülmesine karar verilmesi,
- Yapı donanımlarının Ay şartlarına ve üretim koşullarına uyumlu hale getirilmesi,
- Uygun yapı tekniklerinin Ay şartlarına uyumlu hale getirilmesi (Toklu ve Järvstrat 2003).

8.1 Ay Üssü Yapımını Etkileyecek Ortam Özellikleri

8.1.1 1/6 oranındaki çekim gücü

Herhangi bir malzeme Dünya’ya göre Ay’da 6 kat daha hafif bir ağırlığa sahiptir. Yani taşıma sistemleri Dünya’ya göre 1/6 oranında kuvvet harcayacaklardır (Ruess vd 2006).

Her ne kadar düşük çekim gücü taşıma kolaylığı sağlasa da aynı zamanda kazı faaliyetlerinin daha zor yapılmasına neden olacaktır. Düşük çekim gücü nedeniyle toprağa tutunmak daha zorlaşacağından kazıcı donanımların toprağın içine girmesi de zorlaşacaktır.

Yerçekiminin daha düşük olması, yapıların temellerinin daha çok yük taşıyabileceği anlamına gelmemektedir. Ay toprağının doğrusal elastikiyet özelliği gösterdiği kabul edildiğinde esneklik katsayısının yerçekiminden etkilenmediği söylenebilir. Bununla birlikte toprağın yük taşıma kapasitesi, etrafındaki çekme kuvvetine bağlıdır. Eğer ilgilenilen noktanın etrafındaki toprak daha yüksek bir yerçekiminden dolayı daha ağır ise, çekme kuvveti daha büyük olacaktır ve ilgilenilen noktadaki toprak daha büyük yükleri çökmeden taşıyabilecektir (Benaroya ve Bernold 2008).

Ayrıca örneğin, m^2 'de 500 kg'lık ağırlığa sahip olan bir çatı yapısı düşünüldüğünde bu çatı yeryüzünde $0,5 \times 9,8 = 4,9$ kN/ m^2 'lik yük sağlamaktadır. Aynı çatı Ay'da 2 m kalınlığındaki 1500 kg/ m^3 kütleyle sahip regolit kaplamasıyla birlikte toplam $(1/6) \times (0,5 + 2 \times 1,5) \times 9,8 = 5,7$ kN/ m^2 'lik bir yüke neden olacaktır. Regolit kaplaması ne kadar kalın olursa aşağı doğru olan yük de o kadar artacaktır. Yani yerçekiminin düşük olması dikey yüklerin azalmasını sağlamayacaktır (Toklu ve Järvstrat 2003).

8.1.2 Boşluk

Ay'ı çevreleyen yoğun boşluk, güvenilir cihazların kullanımını imkânsız hale getirmekte ve kimyasal ve moleküler açıdan bu şartlar altında istikrarsız davranmasına neden olmaktadır. Bu durumun neden olduğu sorunlardan bir diğeri de basınçlı sistemlerden yağlayıcılar ve yağlardaki gazların uçmasıdır. Bu sebepten dolayı uzayda hidrolik sistemler kullanılamamaktadır. Gazların uçması sonucunda tozlar parça aralarına kolayca gireceğinden astronomik aynalar, güneş panelleri ve diğer makinelerin hareketli parçaları için de zararlı olacaktır.

Başka bir problem ise arada hava katmanı bulunmadığından yüzey yüzeye teması nedeniyle aşındırma etkisinin çok daha fazla olmasıdır. Dinamik sürtünmenin artması yüzeylerin birbirine kaynamasına neden olmaktadır, örneğin kazıcı uç kayalara kaynamaktadır. Boşluğun kötü bir ısı iletkeni olması da bu sorunun artmasına neden olmaktadır. Aşındırma etkisinin artması, tren yolu ve tekerlekler gibi malzemelerin çok daha çabuk yıpranmasına neden olmaktadır.

Boşluktaki patlamalar da dikkate alınması gereken bir problemdir. Meydana gelen herhangi bir patlama, gazların ortaya çıkmasına neden olmakta ve basınç 100000 atmosfer basıncını geçmektedir. Bu basıncın meydana getireceği parça ve blast etkisini kestirmek hayli güçtür. Ay yüzeyine inen bir aracın roketinin harekete geçirdiği parçacıklar, teorik olarak Ay'ın çevre uzunluğunun yarısını kat edebilmektedirler (Benaroya ve Bernold 2008).

8.1.3 Ay tozu

İnsanoğlu Ay'a ilk ayak bastığında küçük ama korkunç bir düşmanla mücadele etmiştir; yapışkan Ay tozu. Uzun zamandır Ay yüzeyindeki bir numaralı tehlike olarak tanımlanmakta olan Ay tozu, çeşitli hasarlara neden olmaktadır. Bu hasarların başında bilimsel donanımların tozlanması sonucunda daha fazla güneş ışığını emerek aşırı ısınması nedeniyle arıza yapması ve görmeyi engelleyici toz bulutları haline gelerek inişleri zorlaştırması sayılabilmektedir. Ayrıca bu toz uzay giysilerine yapışarak uzay insanlarıyla birlikte yaşam alanlarına girmekte ve daha sonra giysilerden ayrılarak uzay

insanlarının soluduğu havaya karışmakta, sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Ay tozu, ortalama 70 μm ile yaklaşık insan saçı kalınlığındadır. Parçacıklar güneş rüzgârları nedeniyle pozitif yüklenmekte ve bunun sonucunda toz parçacıklarının bilimsel donanımların ve uzay giysilerinin yüzeyine yapışmasına neden olan güçlü elektrostatik yapışkanlık ortaya çıkmaktadır.

2006-2008 yılları arasında yapılan bir araştırma ile 1969 yılında Ay yüzeyinden üç hafta boyunca elde edilen veriler incelenmiştir. Bu çalışma; gün içerisinde Güneş'in yükselmesiyle ortaya çıkan yapışkan güçlerin Ay tozunu yüzeylere yapışmaya zorladığını ortaya koymaktadır. Çalışmada Ay'daki elektrostatik yapışkan güçler, güneş ışınlarının geliş açısı ve çekim kuvveti arasındaki etkileşimleri analiz edilmiştir. Sonuçta, Güneş'in yükselmesiyle birlikte düşük çekim kuvveti nedeniyle tozları çekerek yukarı çıkardığı ve Ay tozunun dikey yüzeylere yapıştığı kararna varılmıştır.

Verilerin alınmaya başlandığı ilk sabah yatay güneş pili tamamen tozdan arındırılmıştır. Henüz zayıf bir ışık geldiğinden tozların yapışkan gücü kolaylıkla yok edilebilmiştir. Ancak dikey güneş pili güneş ışınlarını daha iyi aldığından yapışkanlık daha kuvvetli olmuştur. Güneş'in yükselmesiyle birlikte güneş ışınlarının dikey güneş piline geliş açısı küçüldüğünden yapışkanlık da zayıflamıştır. Gece olduğunda ise tüm toz parçacıkları düşmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda Ay tozunun yapışkanlığının güneş ışınlarıyla bağlantılı olması nedeniyle zararlarından korunmak için güneş ışınlarının önlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu amaçla güneş ışınlarını engelleyecek geniş sundurmalar kullanılması sorunu büyük ölçüde çözecektir (Moon Dust Hazard Influenced By Solar Elevation).

8.1.4 Atmosferin bulunmayışı

Ay'ı çevreleyen herhangi bir atmosferin bulunmaması Ay üssü için büyük bir mikrometeorit ve radyasyon tehlikesine neden olmaktadır. Güneş'ten veya uzay boşluğundan gelen radyasyon kendini engelleyecek herhangi bir atmosfer olmadığından doğrudan yüzeye ulaşmaktadır. Aynı şekilde mikrometeoritler de doğrudan Ay yüzeyine çarpmaktadır. Bu tehditlere karşı bir koruma kalkını oluşturulması gerekmektedir.

Bunun yanında açık alanda bu tehditler nedeniyle inşa faaliyetlerinin mümkün olduğunca basit ve hızlı yapılması gerekmektedir. Bu nedenle Ay'da yapı elemanlarının Araç Dışı Faaliyet'lerini mümkün olduğunca azaltacak şekilde tasarımların yapılması gerekmektedir. Yapı malzemeleri, ilk yapıların inşasında yerel faaliyetleri en aza indirmek amacıyla çok pratik, bir anlamda modüler imal edilmelidir.

Atmosferin yokluğu aynı zamanda gece gündüz döngülerinde aşırı sıcaklık değişimlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gündüz doğrudan güneş ışığına maruz kalan Ay yüzeyinde sıcaklık 100 °C'ye çıkarken, Güneş'in kaybolduğu gece süresince -150 °C'ye kadar düşmektedir (Ruess vd 2006).

Bu tehlikelerden üssün ve mürettebatın korunması için akla gelen en uygun uygulama Ay regolitinin kullanılmasıdır. Yaklaşık 2 m kalınlığında bir regolit tabakasının tüm tehlikelere karşı koruma sağlayacağı değerlendirilmektedir.

8.1.5 Yerel malzemelerin kullanılması

Uzun vadede Dünya dışı yerleşimin en önemli faktörü yerel malzemelerin kullanılması olarak görülmektedir. Yapılan incelemelerde Ay üssü yerleşimi için gerekli malzemelerin çok büyük bölümünün yerel malzemelerle karşılanabileceği ifade edilmektedir.

Ay üzerindeki ana yerel malzeme kaynağı regolit olacaktır. Regolit; yapı malzemesi olarak veya gabionlar veya kum torbaları içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmasının yanında çimento ve tuğla yapımında da hammadde olarak kullanılabilir.

Ancak yukarıda sayılan malzemeler basınca dayanıklı malzemelerdir. Metal ve plastik gibi çekmeye dayanıklı malzemelerin üretimi ise Ay'ın kolonizasyonunun ilk dönemleri için mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, bu malzemeler belirli bir teknolojik seviyeye erişene kadar tamamen Dünya'dan getirilecektir (Toklu 2005).

Daha önce de bahsedildiği gibi Ay; demir, oksijen, alüminyum, titanyum ve silisyum bakımından çok zengin kaynaklara sahiptir. Bu elementler üretim teknolojileri geliştirildikten sonra ay üretim süreçleri için kaynak oluşturacaklardır. Örneğin, demir, titanyum ve alüminyum yapılarda, silisyum ise güneş pilleri, bilgisayar yongaları ve iletişim kabloları üretiminde kullanılacaktır (Schrunk vd 2008).

8.1.6 İç basınç

Ay üssünün yerleşim birimlerinin içindeki atmosfer bileşiminin Dünya atmosferine yakın olması akla en uygun yaklaşımdır. Bu şartların oluşturulması ile ilgili en önemli eksik azottur. Ay'da azot mevcudu yetersiz olduğundan Dünya'dan yeterli miktarda azot (veya diğer seyreltici gazlar) getirilmesi gerekecektir. Ciddi azot kayıplarında ise yoğun oksijen içeren bir atmosfer geçici olarak kabul edilebilmektedir. Araç dışı faaliyet süresince uzay giysilerinde saf oksijen kullanılabilir.

Seçilen iç basınç seviyesi, yapısal çekme kuvvetini düşürmek, kaçak kayıplarını azaltmak ve araç dışı faaliyetler için mürettebatın uzay giysisine girişini kolaylaştırmak için deniz seviyesindeki değerin daha altında bir değerde (%50-75 oranında) olmalıdır (Koelle 2000). NASA'nın geçmişteki programlarında uzay insanları için yaşanabilir bir ortam sağlamak amacıyla uyguladığı iç basınç değeri 0.34 atm (34,5 kPa; 5 psi) ile 1 atm (101,4 kPa; 14,7 psi) arasında değişmektedir. Yaklaşık olarak 0.68 atm (69 kPa; 10 psi)'lik bir içbasınç değerinin en uygun ortamı sağlayacağı değerlendirilmiştir (Ruess vd 2006).

İç basınçla ilgili diğer bir konu ise yapılar üzerindeki yüklerle ilgilidir. Dünya'da yapıları etkileyen esas yükler yerçekimi ve çevresel yükler iken Ay'da çevresel yükler

bulunmamakta ve yerçekimi yükleri ihmal edilebilir seviyelerdedir. Yapılar üzerindeki esas etkili yük ise iç basınçtan kaynaklanmaktadır.

Örneğin, m^2 'de 500 kg. basınç uygulayan bir çatı yapısı Dünya'da $4,9 \text{ kN/m}^2$ (0,048 atm), Ay'da ise $0,8 \text{ kN/m}^2$ (0,0079 atm) yüke neden olacaktır. İç basınçtan kaynaklanan yük ise yapılan tercihe uygun olarak yaklaşık 69 kPa (0,68 atm) olacaktır. Bu değerin yanında yerçekimi kuvveti ihmal edilebilmektedir. Bunun sonucunda da Ay üssü binalarında basınç yüklerinden çok çekme yükleri dikkate alınmaktadır. İç basıncın dengelenmesi için yapıların üzerine yerleştirilecek regolitin gerekli kalınlığı ise 20 metreyi bulmakta ve bu nedenle pratik bir çözüm sağlamamaktadır. Bu nedenle yapılar; yüksek çekme mukavemetine sahip malzemeden ve dairesel tipte tasarlanmaktadır (Toklu 2005).

8.1.7 Aktif tasarım

Tasarımın tüm tarihi boyunca tasarım mühendisleri, günümüzde pasif tasarım olarak tanımlanan klasik yaklaşımı tercih etmişlerdir. Bu şekilde, yapıların tasarımında belirli seviyelerde güvenlik faktörleri kullanılarak gerilme ve deformasyona karşı korunmaları sağlanmış, bu seviyeler aşıldığında ise hasar riski kabul edilmiştir. Örneğin depremin hesaba katılan ölçekten daha yüksek olması, barajlarda hesaplanandan fazla su birikmesi veya tasarlanandan fazla trafiğin ortaya çıkması durumunda bu yapılar kullanılamayacaktır. Deprem durumunda yapı hasara uğrayacak, fazla su gelmesi durumunda taşkın oluşacak belki de baraj hasar görecektir, fazla trafiğin oluşması durumunda ise yollar görevini yapamayacaktır (Toklu ve Järvstrat 2003).

Bu tasarımın uygulanmasında, tasarlanan yapıların güvenliğini artırmak için fazladan malzeme kullanılarak binayı etkileyeceği düşünülen tüm etkenlerin bertaraf edilmesi sağlanmaktadır. Ancak bu yaklaşımda yapılan hesaplamalara göre yapının korunması sağlanabilecek olsa da yapıdaki biçimsel ve yapısal değişiklikler yapılması durumunda fazladan basınç ve deformasyon ortaya çıkacağından bu yaklaşım yine de yetersiz kalabilecektir.

Ayrıca yapıların ya da yapı malzemelerinin Dünya'dan uzayda herhangi bir yörünge veya gök cismine taşınması büyük bir maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle teknolojiye gelişmelere ve maliyetlerdeki düşmelere rağmen ulaşım ve taşıma faaliyetleri uzay kolonizasyonu için her zaman önemli bir bileşen olacaktır. Sonuçta pasif tasarımın tercih edilmesi özellikle uzay yapıları için uygun olmayacaktır.

Son zamanlarda, aktif tasarım olarak tanımlanan yeni yaklaşımda ise yapılar hataların önlenmesi için akıllı şekilde tasarlanmaktadır ya da daha genel bir ifadeyle kendini değişen koşullara uydurmaktadır. Dünya dışı yapılar için toplam çökme bir yana herhangi bir çatlak dahi hava kaçağına neden olacağından başarısızlık sayılacaktır. Bu nedenle bu yapılarda hataların düzeltilmesinden ziyade önlenmesi önemli olacaktır. Hatalı bir cihaz nedeniyle bir binanın kullanılamaz hale gelmesi kesinlikle akıllıca olmayacaktır. Bunun yerine yapının akıllı ya da aktif olarak inşa edilmesi ile bu tür problemler bertaraf edilebilecektir. Bu tasarım örneğin; duvarlardaki basınç değerleri kritik seviyeye ulaştığında yapı etrafındaki öngerilme kablolarını veya iç basıncı azaltmak için acil hava boşaltma sistemini etkinleştirerek sorunu çözecektir.

Aktif akıllı bir yapı temel olarak dört bileşenden oluşmaktadır; algılayıcılar, denetim ünitesi, işleticiler ve yapının kendisidir. Sistemin temel işleyişi; yapısal ve çevresel bazı etkilerin ölçümlerinin alınarak merkezi bir üniteye aktarılması, yorumlanması, bu etkiler belirli seviyelere çıktığında düzeltici işlemlerin merkezi ünite tarafından otomatik olarak yapılması şeklinde yürümektedir.

Algılayıcılar yapının içine yerleştirilerek kritik basınç, yük ve gerilme değerlerini algılamalıdır. Ölçümler ise otomatik olarak analiz edilip değerlendirilmeli, tespit edilen hareketin seviyesi ve tipi belirlenmeli ve uygun işlemin yapılması için işleticilere komut verilmelidir. Denetim ünitesi tarafından yönlendirilen işleticiler aracılığıyla alınan geçici ve kalıcı önlemler sayesinde yapılarda hasar ve deformasyonların oluşması önlenilecektir.

Böyle bir sistem kesinlikle klasik pasif yapılar için gerekli olan teknolojinin çok daha üstünde bir teknolojiye ihtiyaç duyacaktır. Ancak yapı tamamlandığında hatalara karşı güvenlik düzeyi artacağından, bunun yanında denetim, karar alma ve uygulamalarda manuel faaliyetler en aza ineceğinden ve yapı ağırlığı pasif tasarıma göre daha hafif olacağından özellikle uzaydaki yapılar için çok faydalı olacaktır. Ayrıca bu sistemlerin en büyük avantajı hiçbir ek malzemeye ihtiyaç duymaması olacaktır.

Aslında aktif tasarım kavramı yalnızca hata durumlarını kapsamamaktadır. Ayrıca yapıların güneş enerjisinden en fazla yararlanacak şekilde tasarlanmasını da kapsamaktadır (Toklu 2004).

Aktif yapı tasarımı, Dünya’da da geliştirme aşamasında olan bir sistemdir. Özellikle son zamanlarda sıkça duymaya başladığımız akıllı yapılar, bu tasarımın örnekleridir (Toklu 2005).

8.2 Kullanılabilecek Malzemeler

Ay üssü için, malzemelerin Dünya’dan Ay yüzeyine götürülmesi yüksek maliyetlere neden olacaktır. Her ne kadar roket teknolojisinde gelişmeler yaşanmakta olsa da toplam maliyet içerisinde taşıma maliyetleri her zaman önemli bir paya sahip olacaktır. Bu nedenle mümkün olduğunca yerel malzemelerin kullanılması ve Dünya’dan taşınan malzemelerin miktarının azaltılması gerekmektedir (Toklu ve Järvstrat 2003).

İnşaat mühendislerinin asli amacı Ay kaynaklarının Ay yapıları için girdi olarak kullanımını mümkün kılmaktır. Bu kaynaklar işlenmeden kullanılabileceği gibi işleminden geçtikten sonra da kullanılabilecektir. Ay’ın kullanılacak ana kaynağı regolit, Ay’da kullanılacak en temel yapı malzemesi ise, yerel malzeme ile yapılacak olan beton olarak kabul edilmektedir. Bu kabulün sebebi; çimento üretiminde kullanılan tüm hammaddenin Ay kaynaklarından elde edilebilmesi ve ayrıca Ay toprağı ve taşlarının agrega olarak kullanılabilecek olmasıdır.

Ancak, Ay üssünün başlangıç döneminde doğal olarak büyük oranda Dünya’dan getirilen malzemeler kullanılacaktır. Belirli bir teknoloji seviyesine ulaşıldıktan sonra ise yerel malzemelerin kullanımı ağırlık kazanacaktır.

Genel olarak hammadde kaynaklarına ve üretim yerine göre nihai yapı yeri Ay olan beş tip yapı çeşidi bulunmaktadır. Bu yapılar Çizelge 8.1.'de gösterilmiştir. Çizelge'de de görüldüğü üzere zaman geçtikçe Dünya kaynaklı malzemeler yerini Ay kaynaklı malzemelere, Dünya'daki üretim de yerini Ay'da üretime bırakacaktır (Toklu 2000).

Yapı tipi	Kaynak merkezi		Üretim yeri	
	Dünya	Ay	Dünya	Ay
1	X		X	
2	X			X
3	X	X		X
4		X		X
5	X	X	X	X

Çizelge 8.1. Ay Yapılarında Kullanılabilecek Kaynaklar ve Üretim Yerleri (Toklu 2000).

8.2.1 Metaller

8.2.1.1 Çelik

Çelik, ya doğrudan şekillendirilmek üzere dökülebilmekte ya da ısıtılıp sıcakken dövme, kalıptan basma, haddeleme ve diğer işlemlerden geçirilerek külçe haline getirilebilmektedir. İşlenmiş çelik, farklı formları ve son ürünleri ile mühendislikte en çok kullanılan malzemelerin başında gelmektedir.

Kimyasal bileşimine göre çelikler; karbon çelik, alaşım çelik ve paslanmaz çelik olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Karbon çelik, nispeten ucuz ve etkili bir malzeme olarak tüm Dünya'da inşaat işlerinde en yaygın kullanılan malzemedir. Bu nedenle mühendislerin en fazla deneyime sahip olduğu malzeme karbon çeliktir ve birçok uygulama ay üzerinde yapılacak inşaatı uygun şekilde değiştirilebilecektir.

8.2.1.2 Alüminyum

Alüminyum çok yönlü bir metal olup bilinen herhangi bir şekilde dökülebilir. Levha, yuvarlak, tel vs. şekle sokulabilmektedir. Alüminyum; perçinlenebilmekte, kaynak ve lehim yapılabilir ve bu şekilde en kullanışlı alaşımlardan biri haline gelmektedir.

Çok yüksek sıcaklıklarda (200-250 °C) alüminyum alaşımlar bir miktar güç kaybı yaşamaktadır. Ancak sıfırın altındaki sıcaklıklarda, yumuşaklığını korurken gücünü artırmakta ve bu şekilde en kullanışlı alaşımlardan biri haline gelmektedir.

Dünya dışı yaşam için bir gökçismi düşünüldüğünde inşa edilecek yapılar için yapılan önerilerin çoğu standart ana yapı olarak alüminyum basınçlı dış yapıyı esas almaktadır. Diğer metallere nispeten düşük ağırlığı ve artırılabilir mukavemeti yanında alüminyum, az miktarda radyasyon koruması da sağlamaktadır (Cohen 1998).

Alüminyum, yapı içindeki düzenlemeler için de uygundur. Bu yapı içi düzenleme, tüm mobilya ve donatımları da kapsamaktadır. Bu düzenlemeler yerleşim bölgesini yaşanabilir hale getirmek için çok önemlidir (Cohen 1998).

8.2.1.3 Titanyum

Titanyum çelikten %40 daha hafif ve alüminyumdan %60 daha ağırdır. Yüksek mukavemetli ve düşük ağırlıklı birleşimi titanyumu çok yararlı bir yapı malzemesi haline getirir.

Titanyum üretimi, oksijen, azot ve hidrojene olan hassasiyeti nedeniyle bir hayli zor olmaktadır. Bu elementlerin titanyumun saflığını azaltması ile titanyum daha kırılgan bir hal almaktadır. Bu gazların titanyumun içine karışmasının önlenmesi için özel koşullar altında ve yüksek sıcaklıklarda üretilmesi gerekmektedir. Titanyum ticari olarak sac, levha, tel, kalıp, tüp ve dövme tiplerinde üretilmektedir. Titanyum reaktif olması nedeniyle ancak vakumlu ocakta dökülebilmektedir.

Diğer yapı malzemelerine göre pahalı bir ürün olmasına rağmen hafif olması nedeniyle düşük taşıma maliyeti titanyumun Ay yapılarında kullanılmak üzere çelik ile rekabet edebilmesini sağlamaktadır.

Ancak titanyum, oksijenle kolayca etkileşime girdiğinden ay üssünde ana yapı veya içyapı için uygun olmayacaktır. Büyük olasılıkla, gezegensel veya gezegenler arası yerleşim için bir atmosferden daha düşük basınçta sahip bir ortam oluşturulacaktır. Bu durumda iç ortamın oksijen oranı normalden daha yüksek olacağından titanyumun yapısında bozulmalara neden olacaktır. Bu nedenle titanyumun; rampalar, merdivenler, basamaklar gibi basınçlandırılmış ortamın dışında kullanılması daha uygun olacaktır (Cohen 1998).

8.2.1.4. Magnezyum

Magnezyum, Dünya'daki tüm metallerin içinde hafiflik bakımından birinci, bolluk bakımından altıncıdır. Yumuşaktır ve tüm metallerin içinde biçimlendirmeye en müsait olanıdır. Hafifliği, yüksek işlenebilirliği ve döküm kolaylığı nedeniyle magnezyum; otomobil parçalarında, elektrikli araçlarda, sportif malzemelerde, havacılık donanımlarında ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımlar; çubuk, bar, sac, levha ve kalıp ve dövme formlarında üretilmektedir.

8.2.2 Kumaşlar

Membran (seçici geçirgen zar) gibi kumaşlar; kanvas kumaşın içine elyaf işlenerek üretilmektedirler. Daha sonra koruma için son kaplamadan geçirilmektedirler. İnşaat işlerinde kullanılan elyaf çeşitleri arasında; polyester, cam, politetrafloroetilen, naylon ve kevlar bulunmaktadır. Bunların içinde kevlar, düşük ağırlığı ve yüksek mukavemeti ile ay uygulamalarında kullanılacak en uygun malzemedir. Son kumaş özellikleri, özellikle yırtılma dirençleri, dokuma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kaplama için esas olarak politetrafloroetilen ve polivinil klorür kullanılmaktadır. Membran kullanımının sadece inşaatlarla sınırlı kalmayacağı, yalıtım ve güvenlik amaçlı da kullanılacağı düşünülmektedir (Crawford 2004).

8.2.3 Yeni malzemeler

8.2.3.1 Alaşımlar

Alaşımlar yapı elemanları, hafif yapısının sağladığı avantajlarının yanında sabit basınçlı dış yapı için alüminyumun sunduğu avantajların birçoğuna da sahiptir. Özellikle bazı polimer esaslı alaşımların koruma sağlaması düşünülmüş olup hâlihazırda bazı kullanım zorlukları bulunmaktadır.

Sert alaşımlar yapılarda başka karmaşık sorunlar da ortaya çıkarabilmektedir. Bu durumda yapılar için en uygun seçim katmanlı alaşımlar olacaktır. Katman yapı, mikrometeorit ve patlama etkilerine karşı en iyi korumayı sağlamaktadır.

Ancak bunun sağlanması için malzemenin tabakalar halinde döşenmesi gerekmektedir. Ancak bu tür alaşımlar yapılarda ortaya çıkacak hasarların tespiti ve onarımı çok zor olacaktır. Alüminyumun hasar tespiti ve onarımı Ay ortamında bile daha kolaydır. Alaşımlarla ilgili diğer bir konu da titreşim ve gürültüyü iletmeleridir. Yapılan araştırmalarda alaşımların malzemelerin hem tek hem de çift kat duvarlı ortamlarda alüminyuma göre gürültüyü yaklaşık 10 dB daha fazla ilettiği ortaya konmuştur (Cohen 1998).

8.2.3.2 Karbon nanotüpler

Karbon nanotüpler çok yeni bir araştırma sahasıdır. Bu sistemler grafit tabakalarının silindirik etrafına düzgün şekilde döşenmesiyle elde edilmektedir. Sadece birkaç nanometre çapındaki bu tüpler (şimdilik) bir milimetreden fazla boyaya sahiptir. Boyu bu genişliğe göre oldukça uzundur. Bu özellikleri ile boyutların büyük ölçekli cihazlar için uygun hale getirilmesi durumunda benzersiz bir malzeme halini alacaktır. Bu doğrultuda konu ile ilgili çalışmalar yapan uzmanların ve uygulamaların sayısı sürekli artmaktadır.

Başta imkânsız olarak değerlendirilen bu tüpler, düşük öz ağırlıklarına göre tüp doğrultusunda inanılmaz güce sahip olmaları nedeniyle mühendisliğin tüm alanlarında devrim sayılabilmektedir (Ruess vd 2006).

8.2.3.3 Geosentetikler

Son zamanlardaki bazı çalışmalar, Dünya'daki banket, duvar ve rampa yapımlarında toprak güçlendirmesi için geosentetiklerin kullanılmasını öngörmektedir. Ancak bu tekniğin Ay'da uygulanması için bazı problemlerin çözülmesi gerekmektedir.

Öncelikle plastik malzemeler hassastırlar ve radyasyona maruz kaldıklarında bozulmalara uğrarlar. Birçok geosentetiğin cam geçiş ısısı Ay gibi soğuk havaya sahip yerlerin ısısının çok üstündedir. Bu da plastikleri gevretmekte ve böylece takviye elemanı olarak kullanılmaz hale getirmektedir. Bunların yanında geosentetiklerin boşluktan nasıl etkilendiklerine ve regolit gibi daha aşındırıcı topraklara nasıl tepki vereceklerine dair çok az tecrübe vardır (Benaroya ve Bernold 2008).

8.2.4 Doğal malzemeler

Yapı malzemesi olarak kullanılabilecek olan regolit, ay camı ve cam alaşımlar ile ay metallerinden ikinci bölümde bahsedilmiştir.

8.3 Kolonileşme Sürecinde Oluşturulacak Yapı Kavramları

Günümüze kadar birçok yapısal tasarım ortaya atılmıştır. Bu tasarımlarda teneke kutulardan şişirilebilir yapılara ve hatta ay malzemelerinden üretilen betona kadar birçok farklı malzeme ve mühendislik yaklaşımı kullanılmıştır. 1996-1997 yıllarında NASA Ay, Mars ve ötesinin keşfi ile ilgili önemli konularda teknoloji geliştirilmesi için bir yol haritası oluşturmak üzere bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışmada kalıcı bir Ay üssünün tam olarak işlevsel hale gelebilmesi için evrimsel bir gelişme süreci içerisinde sınırlı bir kapasite ile başlayarak adım adım geliştirilmesi ve genişletilmesi planlanmıştır. Bu gelişme ve genişleme sürecinde üç ana aşama tanımlanmıştır (Benaroya 2006).

8.3.1 Hazır birimler

Sert kabuklu birim Dünya’da üretildikten sonra Ay’a hazır halde gönderilmektedir. Bu yapılar günümüzde kullanılmakta olan ISS’nin birimlerine benzemektedir. Bu kompozit yapılar günümüzün teknolojisiyle yüksek güvenilirlikte üretilebilmekte ve kolayca tamir edilebilmektedir.

Bu aşama günümüz için yetersiz kalmaktadır. Her ne kadar bu tür yapılar güvenli olsa da, taşıma zorlukları bulunması, genişlemeye imkân sağlamaması ve uzayın kolonileştirilmesi görevinde gelişmeyi desteklememesi nedeniyle kullanılması düşünülmemektedir.

8.3.2 Dünya’da üretilip Ay’da birleştirilen yapılar

Kalıcı bir Ay üssü için geçerli kavramlar olarak şişirilebilir, açılabilir veya monte edilebilir yapılar teklif edilmiştir. Bu türün tüm yapılarında öncelikle üssün kurulacağı yüzeyde düzeltmeler yapılmakta ve daha sonra üzerine üs inşa edilmektedir. Bu aşamadaki yapılarda Ay kaynakları kullanılmamakta, sadece birleştirme veya kurma işlemleri Ay üzerinde yapılmaktadır.

Günümüzdeki Ay üssü tasarımları için en uygun aşamadır. Ay üssünün ilk dönemlerinde kullanılacağından dolayı güvenli olmasının yanında henüz Ay kaynaklarından faydalanılamamaktadır. Ancak zamanla bu yapılar terk edilecek ve üçüncü aşamaya geçilecektir (Cohen 1998).

8.3.3 Yerinden malzemelerle inşa edilen yapılar

Üçüncü aşamada, bazı üretim tesisleri Ay yüzeyinde kurulacak, böylece prefabrik malzemeler veya yapı taşları gibi yapı malzemeleri üretiminin sağlanmasıyla belki de yapı malzemelerinin tamamının Ay’da üretimi sağlanabilecektir. Bu sayede daha büyük ve daha etkin yapılar inşa edilebilecektir. Bu süreç sadece zorunlu kaynakların ve üretim malzemelerinin dışındaki tüm malzemelerin Ay kaynaklarıyla elde edilmesine kadar devam edecektir (Toklu 2000).

Üçüncü nesil yapılar henüz çok uzak ve bir hayli karmaşık görünmektedir, belki de sadece varsayımlara dayanmaktadır (Ruess vd 2006).

8.4 Yapı Türleri

Binaların yapımı konusunda sayısız fikir bulunmaktadır. Bina tasarımları, insanoğlunun Ay hakkındaki bilgilerinin artması ve teknolojik imkânların büyümesi paralelinde zamanla büyük oranda gelişmiştir. Ortaya konulan bina tasarımları için uzay araçlarının parçaları veya kullanılmış yakıt tanklarından şişirilebilir parçalara kadar çeşitli fikirler öne sürülmüştür. Daha ilk zamanlarda keskin sıcaklık değişiklikleri, atmosfer ve manyetik alanın bulunmaması ve uzun geceler gibi ay ortamının zararlı etkileri fark edilmiş ve tasarımlarda dikkate alınmıştır.

Öne sürülen görüşlerden biri de yapıların toprağın altına yapılması ve böylelikle radyasyon ve mikrometeoritlerden korunabileceği yönündedir. Bu görüşün tek avantajı yalnızca korunma da değildir. Ay'da gündüz sıcaklık yaklaşık 100 °C'ye yükselmekte, gece ise yaklaşık -150 °C'ye düşmektedir. Yeraltında ise gündüz ve gece sıcaklık ortalaması -20 °C civarındadır ve bu ortamda insanlık normal yaşamını sürdürebilecektir. Ancak özellikle Ay yüzeyinde toprağı kazmanın çok güç olması nedeniyle günümüzde bu yaklaşım kabul görmemektedir.

Böyle bir ortamda üs yapmak kolay olmayacaktır. Dünya'dan aya getirilecek makinelerin ilkinin yaşam alanlarının kazılması için kullanılacak olan uzaktan kumandalı bir kazıcı olması gerekmektedir. Çökmenin önlenmesi için akla gelen ilk tedbir bölgenin sertleştirilmesidir. Bunun için ise uygun malzemelerden üretilmiş beton benzeri sertleştiricilerin püskürtülmesi düşünülmektedir. Yerinde üretilen gözenekli yalıtım malzemeleri daha uygun olacaktır. Daha sonra kendinden şişebilen yapıların buraya yerleştirilmesiyle havanın yapı içinde tutulması da sağlanabilecektir. Bu konudaki alternatiflerden biri de toprağı kazmak yerine Ay'da toprak altında mevcut bulunan lav kanallarının kullanılmasıdır.

Bu konudaki daha kolay bir çözüm ise ay üssünün yüzeyin üzerine yapılması ve birimlerin üzerinin ay toprağı ile örtülmesidir. Ay regoliti eşsiz bir silisyum ve demir karışımı içermektedir. Bu karışım sayesinde regolit, mikrodalga enerjinin kullanılmasıyla cam gibi katılaştırılabilecektir. Bu şekilde ay tuğlası yapı tasarımında ve yumuşak toprak sert ve seramik yapılı dış duvarın yapımında kullanılabilecektir. Bunun dışında ay üssünün yüzeyde yapılması ve güçlendirilmiş diğer malzemelerle radyasyon ve mikrometeoritlerden korunabileceği fikrini savunanlar da bulunmaktadır. Suni olarak yaratılan manyetik alan Ay üssünde de radyasyon koruması amaçlı kullanılabilecektir. Ay üzerindeki bazı bölgeler güçlü bölgesel manyetik alanlara sahiptir. Bu bölgeler Güneş'in ve uzaydan gelen parçacıkların etkisini kısmen azaltmaktadır (Colonization of The Moon).

Her ne kadar kullanılacak yapı şekline karar verilmemiş olsa da Ay üssü için tasarlanan yapılarda tüm yüzeylerine eşit yerçekimi ve basınç uygulaması açısından keskin yüzeylerden kaçınılarak dairesel şekiller kullanılmasının verimliliği artıracak ortak düşünce halini almıştır. Dış basınç olmadığından iç basınç tasarımda etkin olacaktır (Ruess vd 2006).

Günümüze kadar Ay üssü için beş farklı ana yapısal tür önerilmiştir;

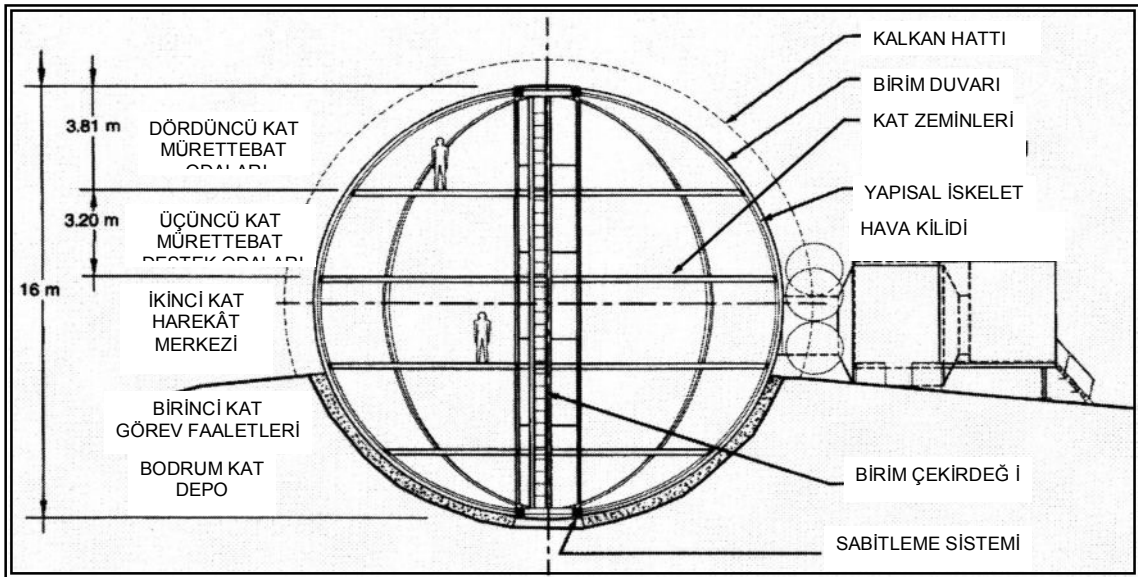
8.4.1 Şişirilebilir yapılar

Şişirilebilir yapı kavramı bir Ay üssü yapımında inşaat sürecini kısaltma ve maliyetleri azaltma açısından önemli bir kavramdır. Membran kumaşlar iç basınç yüklerini etkili şekilde karşılayacaklardır. Basınç kaybı durumunda şişirilebilir yapılar kendi ağırlıkları nedeniyle çökeceklerinden tasarım aşamasında delinme riski de göz önünde bulundurulmalıdır. Ay yapılarında Dünya’da kullanılan basit membran kumaşların gerekli tüm ihtiyacı karşılayamayacağı bilinmektedir. Membran kumaş yapının çok katmanlı olarak üretilmesi durumunda meydana gelebilecek tehlikelere karşı kısmen de olsa bir önlem alınmış olacaktır(Ruess vd 2006).

Şişirilebilir yapıların bir diğer önemli avantajı ise yaşanılabilirlik konusunda en uygun ortamı sağlamasıdır. Diğer yapı türlerine oranla daha geniş bir yaşam alanı sağlamaktadır. Bu tür yapılar ana yapı için kullanılmadığı durumda dahi sera, araç garajı gibi yapılar için ideal bir kullanım imkânı sunmaktadır (Cohen 1998).

8.4.1.1 Küresel şişirilebilir yapılar

Bu şişirilebilir yapılar, basınçlandırılmış bir dış kabuk, katları oluşturan zemin tabakaları, duvarlar, donanımlar ile iç yapıyı ve basınç kaybı durumunda dış kabuğu destekleyecek olan yapısal bir kafesten oluşmaktadır (Şekil 8.1.).



Şekil 8.1. Küresel Şişirilebilir Yapı Örneği (Ruess vd 2006).

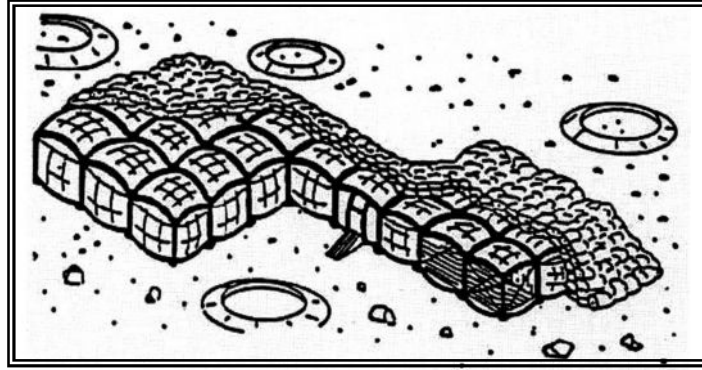
İnşaat yapılırken öncelikle tabanın düzeltilmesini ve simit şekilli temelin basıncı ayarlandıktan sonra şişirilmemiş yapının buraya yayılmasını gerektirir. O zaman organik köpük şişirilen yapının içine doldurularak bölümlerin iç basıncı ayarlanacaktır. Şişirilen yapıların zeminine yapıların sabit kalması ve düzgün bir zemin elde etmek için sıkıştırılmış toprak yerleştirilecektir. Bu işlem sırasında hava kilidi sağlayan kapıdan geçiş yapılacağı için zor bir çalışma olacaktır. Ayrıca bu işlem sırasında bina içlerinde toz bulunmamasını sağlamak da çok önemlidir (Benaroya ve Bernold 2008).

Yapılan analizde, 16 m. çapında bir küre yapının, şişirildiğinde 2145 m³ hacim ve 4 katta 594 m² yüzey sağlayacağı hesaplanmıştır. Dış kabuk mukavemeti artırılmış kevlar kumaştan üretilmiş olup geçirimsiz bir iç tabaka ve termal yalıtımlı bir dış kaplama olacaktır. Yapısal kaplamanın 10 mm kalınlığında kevlardan yapılmış olması durumunda yapısal dış kabuk üzerine 4400 kg'lık bir kütle meydana getirecektir. Regolitin yerleştirilmesi çok zahmetli bir faaliyet olup ilk zamanlar personelin epey zamanını alacaktır.

İçyapı; zemini, malzemeleri ve döşemeleri koruyacak şekilde basit çerçeve yapıdadır. Ayrıca herhangi bir basınç kaybı olduğunda regolit kaplamasını da destekleyecektir. Kaba bir tahminle çerçeve 16300 kg. civarındadır. Burada kavramsal bir problem bulunduğu kolaylıkla görülmektedir. Çok katlı yapının sağlanması ve basınç kaybı durumu için ikincil bir yapının sağlanması sonucunda ağırlığın düşük tutulması amacıyla şişirilebilir yapı tercih edilirken, iç yapının ağırlığı, ana yapının ağırlığının dört katı bir değere ulaşmaktadır (Ruess vd 2006).

8.4.1.2 Kutu şekilli şişirilebilir yapılar

Bir yastık veya kutu şekilli yapı, kalıcı bir Ay üssü için olası bir kavramdır. Önerilen üs, elyaf alaşımların kullanıldığı kapitone şişirilebilir basınçlı ve çekmeye dayanıklı bir yapıdır. Bu, diğer birçok şişirilebilir yapı tipinden önemli ayrılıklar göstermektedir. Küre şekilli şişirilebilir yapıya, yerleşim için iç hacmin en iyi şekilde düzenlendiği bir alternatif getirmiştir. Şişirilebilir yapılar, çeşitli ay uygulamaları için genel bir deneme tahtası görevi görebilecektir (Şekil 8.2.).



Şekil 8.2. Kutu Şekilli Şişirilebilir Yapı Örneği
(Ruess vd 2006).

Şişirilmiş çekmeye dayanıklı membran, basınçlı alanlar için ideal yapısal çözüm sunar. Elyaf alaşım membranlar malzeme özellikleri ve taşıma maliyetleri açısından çok uygun malzemelerdir. Şişirilebilir membran yapı öncelikle, yapısal verimlilik ve inşa kolaylığı sunar. Önerilen yapı, tek katlı şişirilebilir bir birimden oluşmaktadır. Temel birim, 6,1x6,1x2,44 m (uzunluk, genişlik, yükseklik) ebadında aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

- Aynı yarıçaplı bir kürenin bölümleri olan bir çatı ve alt döşeme.
- Küreye benzeyen iki kat kavisli prizmatik şekilli dört tarafı membran duvar.

- Çerçeve sistemi dört adet boru şeklinde çekme kolonundan oluşmaktadır. Bu kolonlar yeterli çekme mukavemetine sahip ince membrandan yapılmıştır. Ayrıca basınç yüklerine karşı dört yukarı ve dört aşağı boru şeklinde kemer bulunmaktadır.

Kemerlerin yönlenmesinin dikey düzlemde olması sistemin modülerliğini kolaylaştırmaktadır. Eğer iki ya da daha fazla birim bir arada yerleştirilirse ortak iç duvarın tasarımı, fonksiyonel tasarım ve komşu birimler arasındaki basınç farklılıklarına bağlı olacaktır (Benaroya ve Bernold 2008).

8.4.1.3 Yarı silindir şekilli şişirilebilir yapılar

Genel olarak küresel şişirilebilir yapılarla aynı özellikleri göstermesine rağmen şeklinden kaynaklanan avantajıyla tek katlı yapılar için daha uygun olması nedeniyle ikincil içyapıya ihtiyaç duymamaktadır. Bu da kütle yönünden büyük bir azalma sağlayacaktır. Bölmeye ihtiyaç duymayan ve emniyet açısından büyük bir risk taşımayan sera türü yapılar için ideal bir yapıdır (Şekil 8.3.).



Şekil 8.3. Yarı Silindir Şekli Şişirilebilir Yapı Örneği
(Seedhouse 2009)

8.4.2 Kablo yapılar

Kablo yapılarda, çatı için imal edilen şişirilebilir bir yapı kraterin ağız bölümünü kapatır ve kablolarla yere sabitlenir. Gerilim kabloları dâhil gerilim sistemleri, kablo ile güçlendirilmiş kumaşlar ve kablo ağları Dünya’da yapılarda kapsamlı şekilde kullanılmıştır. Bu sistemlerin avantaj ve dezavantajları, farklı bir yapı sistemine uygulandığında daha iyi anlaşılacaktır (Benaroya 2006).

Ay kraterine yapılacak kablo yapı, kazı ve koruma faaliyetlerini azaltmak için Ay’ın doğal özelliklerini kullanmaya çalışan bir düşüncedir. Bu kavram, kapsamı en geniş olanlardan biridir. Bu nedenle ikinci ve üçüncü kuşak kavramları arasında kraterin gerçek boyutu ve kullanılan malzemelere göre sınıflandırılacaktır. Benzer çatı yapıları Dünya’da stadyumlarda ve diğer bazı yapılarda kullanılmıştır. Benzer şekilde Dünya’daki yapılarda kullanılmış olan parmaklıklı tekerlek veya tensegrity (tensile-integrity; çekme-tümleşik) düzen kablolar ile basınç kaybı ve diğer yük bozulmaları durumunda istikrarsızlıktan kaçınılabilecektir.

Krater çeperindeki sıkıştırma halkaları, kablo demirleme denetimine yetecek genişlikte kesit çapına sahip olacaktır. Kaplama, ay malzemelerinden yapılan ince cidarlı metal levhalar veya Dünya'dan götürülecek membran olabilecektir. Kablolar ya Dünya'dan götürülecek veya cam elyaf gibi ay malzemelerinden üretilcektir. İçeride gerilim halkalarının üzerine monte edilecek bir çift mercek ile güneş ışığının ortamı aydınlatacak kadar içeri girmesi sağlanabilecektir. Merceklerin araları su veya başka bir şeffaf koruma malzemesi ile doldurulabilecektir.

Kayalar eritilerek krater çeperlerine ortak kullanım alanlarının yanında özel odalar da yapılabilecektir. Krater zemini ise tarım, araştırma ve depolama için kullanılabilir (Benaroya ve Bernold 2008).

8.4.3 Sert (rijit) yapılar

En basit tasarıma sahip olan yapı türüdür. Metal alaşımdan oluşan gövdesinde alüminyum kullanılması tercih edilmektedir. Daha kolay üretim nedeniyle genellikle silindirik ya da yarı silindirik şekillerde tasarlanmaktadır.

İnsanlık inşaat alanında en büyük deneyime; kiriş, kemer ve çerçeve gibi sert yapılar konusunda sahiptir. Sert bir yapısal kabuk, sağlamlık ve yüksek delinme direnci gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu tarz yapının bir diğer avantajı ise üretimi yapıldıktan sonra yeryüzünde iken denetimlerinin yapılabilmesidir.

Sert yapılar, şişirilebilir yapılardakinin aksine ikincil bir yapıya gerek kalmadan aynı anda tüm yük durumlarına uygun tasarlanabilmektedir. Dezavantajı ise genellikle yüksek bir kütle ve yüksek taşıma hacmidir (Ruess vd 2006).

8.4.4 Yer altı yapıları

Lav kanalları bölümünde bahsedilmiştir.

8.4.5 Mobil Ay üssü

Bazı uzmanlar basınçlı bölmeye sahip ay araçlarının kalıcı ya da yarı kalıcı ay üsleri olarak kullanılabileceğini ifade etmektedir. Bu şekilde mürettebat, ay üzerinde yapacakları bilimsel çalışmalarda büyük bir serbestiyet kazanacaktır. Ancak enerji ihtiyacı, iletişim ve uzun süreli mikrometeorit ve radyasyon koruması gibi nedenlerle çok mümkün görünmemektedir. Ayrıca bu tarz bir üs, sınırlı alan nedeniyle tarım gibi konularda kısıtlamalara neden olacaktır. Ancak bilimsel görevlerde günlerce çalışabilecek basınçlı bölmeye sahip tekerlekli araçlardan faydalanılabilecektir (Benaroya ve Bernold 2008).

8.5 Yapı Türlerinin Değerlendirilmesi

Bir ay üssü için yapısal türlerin değerlendirilmesi aslında çok zor bir iştir. Çünkü Ay'da üs yapımı ile ilgili birçok konuda bilgi eksikliği bulunmaktadır. Ancak yine de en uygun yapı türünün tespit edilebilmesi için önemli olduğu düşünülen belirli kıstaslara göre bir değerlendirme yapmak gerekecektir. Ancak burada ele alınan kıstasların birçoğu öznel olduğundan bunların yapısal kavramlara çok dikkatli şekilde uygulanması gerekmektedir. Farklı kıstasların nesnel olarak ağırlıklandırılması da başka bir sorundur.

Ancak, önemli olan bu çabaların ay tasarım ve inşası için mantıklı kararlara dönüştürülmesidir.

Aşağıda Ay üssü kavramlarının değerlendirilmesini sağlayacak önemli olduğu düşünülen kıstaslara yer verilmiştir. Mevcut teknolojilerin geliştirilmesi veya görevlerde meydana gelebilecek değişiklikler bu kıstasların değerini artırıp azaltabileceği gibi yeni kıstasların ortaya çıkmasına da neden olmaktadır.

8.5.1 Taşıma

Taşınacak malzemelerin kütle ve hacmi; toplam maliyeti etkileyen ana unsurlardır. Ayrıca taşıma faaliyetlerinin artırılması riski de artıracığından istenen bir durum değildir. Ancak taşıma teknolojilerinde ortaya konulan gelişmeler yanında daha az riskli ve daha düşük maliyetli taşıma sistemlerinin geliştirilmesi durumunda diğer kıstaslara oranla önemini yitireceği düşünülmektedir.

Taşıma konusunda en avantajlı yapı türleri yer altı yapılarıdır. Yer altı yapılarında genel olarak yapı malzemesine ihtiyaç duyulmayacaktır. Sadece iç düzenleme için çok hafif araç ve malzeme gerekmektedir.

Kutu şekilli şişirilebilir yapılar ile kablo yapılar çok küçük bir kütle ve istif hacmine sahip olacaktır.

Şişirilebilir küre yapılarda ise basınçlı dış kabuk taşıma açısından küçük bir kütle ve hacme sahip olsa da katlar, merdivenler ve yapısal çerçeve ile ilgili iç düzenlemeler nedeniyle fazladan kütle ve hacme sebep olmaktadır ve bunların kütlesi ana yapıdan daha fazla olmaktadır.

Sert yapılar ise diğer yapı türlerine nazaran daha büyük bir kütlenin taşınmasını gerektirecektir. Ayrıca hacim olarak diğerlerinden farklı olarak katı yapı malzemeleri içerdiğinden hacim olarak da dezavantajlı bulunmaktadır.

8.5.2 İnşa kolaylığı

Ay ortamı daha önce bahsedildiği gibi işgücü için çok da uygun bir ortam değildir. Dolayısı ile inşa kolaylığı özellikle güvenlik açısından önem kazanmaktadır. Ayrıca inşa sırasında meydana gelecek aksaklıklar nedeniyle genel planlamada sorunlar çıkabilecektir. Bu nedenle yapılar mümkün olduğunca kolay inşa edilebilecek şekilde tasarlanmalı, mümkünse sadece birleştirme işlemi Ay ortamında yapılmalıdır.

Şişirilebilir yapılarda membranlarla çalışılması durumunda dikkat çok önemlidir. Yapım büyük olasılıkla ağır donanım gerektirmeyecektir. İç katların yapımı zaman alacaktır. Kutu şekilli şişirilebilir yapılarda ise katlar yoktur ancak tek bölümlerin birbiriyle bağlantılarının sağlanması gerekmektedir.

Kablo yapılarda yapım kolaylığı büyük ölçüde yapının yayılma alanına bağlıdır. Kablo yapıları öngerilme kazandırılması gerekmektedir ki bu işlem ay yüzeyinde zor bir işlemdir.

Sert yapılarda, kemer kabuk yapı parçalar halinde prefabrik olarak üretilip kolayca monte edilerek kurulabilecektir. Sert dış kabuk sayesinde iç düzenlemeler daha sonra da yapılabileceğinden ayrıca avantajlıdır. İnşa kolaylığı açısından en avantajlı yapı türü durumundadır.

Yer altı yapılarda öncelikle giriş tüneli yapılmalıdır. Bundan sonra, basınçlı yapı korumalı ortamda yapılabilir ve diğerlerinden farklı olarak regolit kaplamasına ihtiyaç duymaz. Ancak yer altı inşasıyla ilgili birçok zorluklar vardır.

8.5.3 Genel yapı sistemleri ve malzemeleri ile ilgili deneyim

Ay inşaatını sayısız bilinmeyen ve değişken etkileyecektir. Yapısal sistemlerle ilgili ilk tasarımları etkileyen birçok bilinmeyen bulunması istenen bir durum değildir. Buna ek olarak eğer bilinen yapılarla ilgili deneyimler varsa Ay üssü inşaatı sırasında problemlerin çözümü daha kolay olacaktır. Geniş ilk örnek denemeleri deneyim kazandıracaktır. Genel olarak düşünüldüğünde emniyet konusunu içerdiğinden dolayı en önemli faktör olarak da kabul edilebilecektir.

Şişirilebilir membran kumaş yapılarla ilgili çok az deneyim vardır. Dünya’da kullanımı yaygın olmadığı gibi Ay ortamından nasıl etkileneceği konusunda da bilgi eksikliği bulunmaktadır.

Kablo yapılar ise Dünya’daki modern stadyum çatıları ile aynıdır. Böyle bir yapı ile deneyimi bulunan birçok uzman bulunmaktadır. Ancak Ay ortamında yapıların basınçlandırılması gerektiğinden Dünya’daki deneyimler yeterli olmayabilecektir.

Sert yapılar en bilinen yapı türüdür. Dünya’daki yapıların büyük çoğunluğunun sert yapı tarzında yapılması yanında yalıtımlı sert yapılar konusunda da yeterli deneyim bulunmaktadır.

Yer altı yapılarında lav kanallarının kararlılığı bilinmemektedir. Dünya’da yer altı yapıları ile ilgili mevcut deneyimler ise Ay ortamının özelliklerinden dolayı buraya uyarlanamayacaktır.

8.5.4 Kazı ve temel faaliyetleri

Kazı faaliyetleri için öncelikle Ay’a ağır makinelerin götürülmesini gerektirecektir. Kazı öncesi yer hazırlığı gerekmektedir ancak derin kazılardan kaçınılmalıdır. Dünya’da yaygın olarak kullanılan beton temel uygulamaları ise Ay üssü yapımının ilk zamanları için kullanılabilir değildir. Yeni temel türleri geliştirilmelidir. Yatay ve çekme kuvvetlerinin azaltılması veya tamamen kaçınılması esastır. Ay toprağından azami yararlanmak zorunludur.

Şişirilebilir küre yapılarda yapının yarısı yer seviyesinin altındadır. Bu nedenle yapı yüksekliğinin yarısı kadar kazı gerekmektedir. Ayın doğal özellikleri kazıyı azaltmak için kullanılabilir. Kutu şekilli şişirilebilir yapılarda ise tek gerekli olan şey toprağın düzlenmesidir. Şişirilebilir küre yapılarda küçük temel uygulamaları yeterli olabileceken, kutu şekilli şişirilebilir yapılar için ayrıca temel gerekmecektir.

Kablo yapılar, doğal kraterlerin kullanımına dayanmaktadır. Krater duvarlarının içine tünel yapılabilir ancak bu zorunlu değildir. Bu yapıların temeli bulunmayacaktır.

Sert yapılar için toprağın düzenlenmesi yeterlidir. Tek katlı olarak tasarlandıklarından sadece dikey yükleri desteklemek için küçük temel uygulamaları yeterli olacaktır.

Yer altı yapılarında kanallara ulaşım için tünel yapılması gerekmektedir. Temel gerekmemekle birlikte güvenlik için bazı iyileştirmeler gerekecektir.

8.5.5 Genişletilebilirlik

Özellikle ikinci nesil üs yapılarının kullanım sırasında değişikliklere uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Verilecek görevlere ve kazanılacak teknolojik gelişmelere bağlı olarak Ay üssünün kapasitesinin artması kaçınılmazdır. Dolayısıyla genişlemeye uygun olmayan yapılar ya tasarım aşamasında daha geniş olarak düşünülecek ki bu tercih özellikle ulaşım maliyetlerini büyük oranda artıracaktır, ya da kapasite artırımı durumunda yeni bir yapı inşaatı yoluna gidilecektir. Bu nedenle yapılar, eklemelere veya genel düzenin değiştirilebilmesine imkân tanınmalıdır.

Şişirilebilir küre yapılar ve kablo yapılar bu imkâna sahip değildirler. Özellikle şişirilebilir küre yapılar için genişletilebilirlik mümkün görünmemektedir.

Yer altı yapıları ise genişletilebilmek için doğal şartlara bağlıdır.

Kutu şekilli şişirilebilir yapılar ile sert yapılar ise birimler halinde eklemelerle bu kıtası en iyi sağlayan yapı türleridir.

8.5.6 Genel değerlendirme

Yapılan değerlendirmede sert yapılar, her ne kadar taşıma konusunda diğerlerine oranla dezavantajlı olsa da diğer kıtaslara göre en uygun yapı türü olarak ortaya çıkmaktadır.

Özellikle inşa kolaylığı, deneyim ve genişletilebilirlik konularında diğer yapı türlerine göre daha avantajlıdır. Dünya dışında bir gökcisminde yaşamın henüz ilk aşamasının planlanmasında özellikle emniyet ön planda olacaktır. Bu konuda mürettebatın psikolojik yönden emniyette olduklarını düşünmeleri de gerekecektir. Örneğin şişirilebilir bir yapının küçük bir hasar sonucu basınç kaybına uğrayacağı düşüncesi bile mürettebatın rahat olmasını engelleyecektir.

Genel olarak yer altı yapıları ve kablo yapılar, taşıma yönünden avantajlı olsalar da kullanım ve emniyet açısından çok umut vermemektedirler. Özellikle henüz tam anlamıyla bilinmeyen bir ortamda doğal şartlara uyum sağlamak zorunda kalmak insanlar için kolaylıkla kabul edilecek bir durum değildir. Bu nedenlerle yapı tercihi gözardı edilmişlerdir.

Şişirilebilir yapılar ise yeterli deneyim kazanıldıktan sonra ve teknolojik yönden geliştirildikten sonra her türlü amaç için kullanılabilecektir. Ay üssünün ilk aşamasında ise sera ve depo gibi emniyet gereksinimi çok yüksek olmayan yapılarda kullanılabilecektir.

8.6 Yerleşim Düzeni

Ay üssünün yerleşim planı, tasarım ve uygulama aşamalarının en karmaşık ve değişmeyen konularından biridir. Bununla birlikte araştırma, yaşam, üretim, gibi farklı amaçlar için farklı birimler üretilmesi uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu birimler farklı yapılandırmalarla düzenlenebilecektir. Yerleşim düzeni için belirlenen beş temel düzen şunlardır; doğrusal, avlu biçimli, merkezden yayılan biçimli, dal biçimli ve salkım biçimli. Bu olasılıklar tasarım ve inşaatı yönlendirebilecektir

8.6.1 Doğrusal

En basit yapılandırma şekli doğrusal olandır. Bu tip yapılandırmada bölümler tek bir doğrultuda birbiri ardına eklenmektedir. Bölümler arası erişim ve emniyet konularında sıkıntılar ortaya çıkmasına müsait bir düzenleme şeklidir (Ruess vd 2006).

8.6.2 Avlu

Doğrusal bir yapılandırma kendi kendisini keserse temel özelliği kaybolmuş olur. Kaplanan alan daha büyük ve kullanım alanı daha küçük olur. Avlu, kendine özgü olarak tanımlanabilecek bir yapılandırmadır. Doğrusal sistemde olduğu gibi bir ana akım yönü bulunmaktadır. Ancak bu sistemde bu akım kapalı bir döngü oluşturmaktadır.

8.6.3 Radyal (merkezden yayılan tip)

Radyal yapılandırma, ikiden daha fazla yönde doğrusal uzantısı olan merkezi bir alandır. Merkez alan ana fonksiyonların sunulduğu alan olup ikincil alanlar bu ana alanın etrafında yayılmışlardır. Bu ikincil alanlar şahsi kullanım alanları olarak kullanılırlar. En önemli avantajı, merkez bölgesine kolay erişimdir.

8.6.4 Dallanma

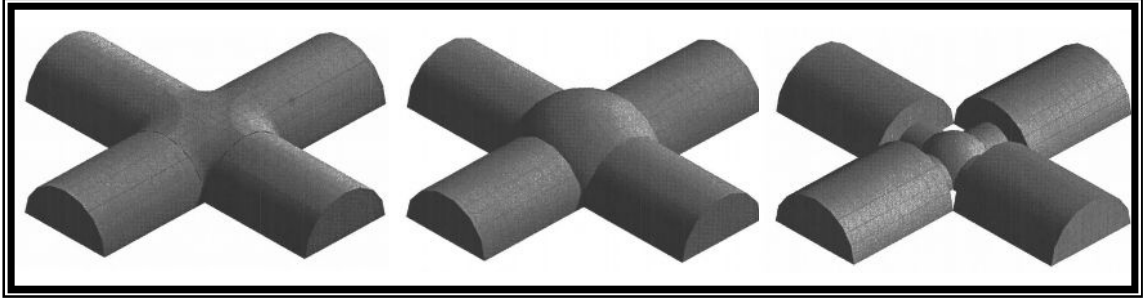
Eğer doğrusal büyüyen sistem ana doğrultu dışında ikincil yollarda da genişlerse dallanma tipi yapılandırma ortaya çıkmaktadır.

8.6.5 Küme

Küme yapılandırması ana akım yönüne sahip değildir. Genel olarak geniş bir alanda oluşturulmaktadır.

Önerilen yerleşim düzenleri arasında doğrusal genişleme düzeni dallanma sisteminden daha çok kabul görmüştür. Bu nedenle, doğrusal ve radyal düzenler diğerlerinden daha uygundur. Bir radyal düzenleme; acil çıkış, tesislere ve ay yüzeyine erişilebilirlik vb. bakımından diğerlerine göre çok daha umut vericidir. Merkezi fonksiyonel alan, farklı şekillerde tasarlanabilmektedir (Şekil 8.4.) (Ruess vd 2006).

Basit olması açısından bu çalışmada ilk şekil tercih edilmiştir.



Şekil 8.4. Radyal Düzenleme İçin Farklı Çözüm Şekilleri (Ruess vd 2006).

8.7 Yerleşim Alanı Boyutları

Bir ay üssü yerleşim alanının boyutlarını belirlemek çok karmaşık bir iştir. Personel sayısı, görev süresi ve üssün amacı (endüstriyel, bilimsel vs.) gibi sayısız faktör yerleşim alanının büyüklüğünü etkileyecektir. Dolayısıyla, yerleşim alanı boyutunu belirlemek için en uygun yöntem bir değişkeni esas alarak hesaplama yapmaktır. Değişkenlerin içinde ise en uygun seçenek personel sayısı olarak görülmektedir. Yaşam alanı ifadesi, malzeme ve depolama hacminin dışındaki boş hacim olarak yorumlanmaktadır.

Günümüze kadar gerçekleştirilen iki haftadan az süreli kısa görevlerde personel, uçuşun büyük bölümünü bir koltukta geçirebilmiştir. ABD'nin 1965-1966 yıllarında gerçekleştirdiği ikinci insanlı uzay uçuş projesi olan Gemini görevlerinde mürettebata kişi başına $0,57 \text{ m}^3$ yaşam hacmi ayrılmıştır. NASA'nın İnsanlı Sistemler Bütünleme Standartlarına göre dört aydan daha uzun süreli görevler için kişi başına en az 20 m^3 hacim gerekmektedir. Bu tavsiyeye karşın ISS'de kişi başına ayrılan hacim miktarı 120 m^3 olarak belirlenmiştir.

Karar verilmesi gereken konulardan bir diğeri ise en uygun tavan yüksekliğinin ne kadar olacağıdır. Günümüzde tavan yüksekliği ile ilgili ortaya konulan öngörüler 2.44 ile 4 m arasında değişmektedir. Düşük çekim gücünün etkilediği ortamlarda insanlar Dünya'dakinden daha fazla dikey boşluğa ihtiyaç duymaktadırlar. Yürürken ve özellikle koşarken insanlar yerden havalanarak yükselmektedirler. Bu yüzden tavan yüksekliğinin 4 m olarak kabul edilmesi en uygun seçim olacağı düşünülmektedir. Tavan yüksekliğini azaltabilmek amacıyla ortaya konan en ilginç düşüncelerden biri de manyetik bot kullanımıdır. Tabi ki bu botların işe yaraması için döşemenin metal olması gerekecektir.

Bununla birlikte tavan yüksekliği net yüksekliğe eşit değildir. Işıklandırma ve havalandırma gibi çeşitli destek sistemleri bu yüksekliğin 0,5-1 m.lik bölümünü kullanacaktır (Ruess vd 2006).

8.8 Yapısal Tasarım

8.8.1 Üs zemininin hazırlanması

Üs için yer hazırlanması kurulum faaliyetlerinin ilki olacaktır. Bu faaliyetin, uygun makineler ile geniş alan düzeltmesi ve yüzey işleme faaliyetlerini kapsaması

beklenmektedir. Üs için belirlenen alan ortalama bir metre derinlikte kazılacaktır. Daha sonra yüzey, magnetron tüpler içeren parabolik yansıtıcılar kullanılarak silikatın eritilerek toprağa karıştırılması şeklinde işleyen mikrodalga sinterleme yöntemiyle regolit eritilmesi ile yaklaşık 0,1 m kalınlığında sertleştirilmiş bir katmanla kaplanacaktır. Regolit soğuduktan sonra, kazılan alan tekrar doldurulacak ve aynı seviyeye getirilecektir.

Ay'daki en büyük tehlikelerden biri olan Ay tozunun 0,1 m'lik üst tabakasının sinterlenmesi ile hem yaşam ve çalışma birimleri için sağlam bir temel hem de cihazlar için tozsuz bir ortam sağlanmış olacaktır (Koelle 2000).

Zemin bu şekilde hazırlandıktan sonra daha sonraki dönemlerde estetik bakımından Dünya'da kullanılan yöntemler kullanılarak yüzey kaplaması yapılacaktır.

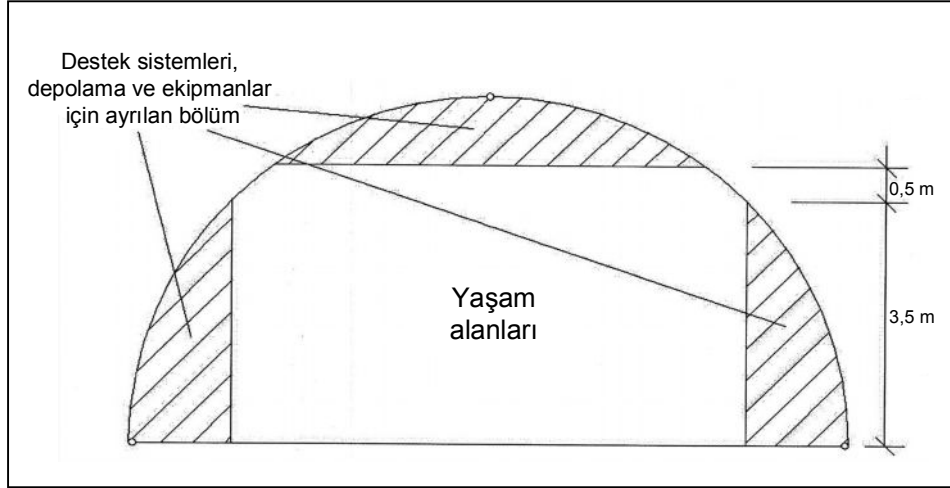
8.8.2 Dış kabuk

Ana yapı için yapısal gereklilikleri en uygun şekilde karşılayabilmek için yuvarlak kemer yapı uygun olacaktır. Malzeme olarak ise 20 mm kalınlığında alüminyum kullanılacaktır. İç zeminde ek yapısal yüklerden kaçınmak ve aynı zamanda ana yapısal elemanları azaltmak için tek katlı bir yerleşim ile daha fazla etkinlik sağlanacaktır. Bu nedenle kemerler için 5 m.lik bir yükseklik uygun olacaktır. Yerçekimi kuvvetinin tasarımı etkileyen en önemli girdi olduğu Dünya şartlarında genellikle en etkili tasarım parabolik kemer şekilleri kullanılarak tasarlanmaktadır. Bir kemer yapı, yapıyı etkileyen eğilme momenti çok az olacak ya da hiç olmayacak şekilde tasarlanmalı, eğilme momentinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

Ancak ay üzerinde tasarımda belirleyici rol yerçekimi etkisi değildir. İç basınç yerçekimine göre çok daha etkilidir. Böyle bir durumda en uygun yapı tarzı yuvarlak kemer yapıdır çünkü iç basınç, her noktaya aynı yön ve kuvvette etki yapacağından şekilsel bozukluklar ortaya çıkmayacaktır.

Başka bir konu da mafsalların kullanımı ile ilgilidir. Mafsalların kurulumu, sert bağlantılardan daha kolaydır. Ayrıca mafsallar, tasarımcılara yapının farklı kesimlere bölünmesi konusunda kolaylık sağlayarak taşıma boyutlarının azaltılmasını sağlayacaktır. Mümkün olan azami mafsallık sayısı üçtür. Dört veya daha fazla mafsallık yapının bir mekanizmaya dönmesine ve statik istikrarını kaybetmesine neden olmaktadır. Kemer yapıda eğilme momenti çok düşük olduğundan iki veya üç mafsallık düzenlemeler tek mafsallık düzenlemeden daha iyi sonuç verecektir. İnşa edilebilirlik açısından üç mafsallık uygulama tercih edilmiştir (Şekil 8.5.).

Zemin hazırlandıktan sonra yapı elemanları inşa alanına getirilecektir. Yapı elemanları için taşınabilir uzunluk, taşıma sisteminin kapasitesi ile sınırlıdır. Taşıma konusunda kolaylık sağlaması amacıyla dış duvar 10 m. boyunda iki parça halinde üretilerek getirilmesi düşünülmektedir. İnşa alanına getirilen dış duvar parçaları kaynak ile birleştirilecektir.



Şekil 8.5 Üç Mafsallı Kemer Yapı Kesiti (Ruess vd 2006).

Kutup bölgelerinde güneş ışınlarının alındığı sürelerde yüzey sıcaklığı -50°C civarında olduğundan güneş ışınlarının alınmadığı dönemlere göre inşaat çalışmaları için daha uygun şartlar sağlanmaktadır. Sıcaklık farklılıklarından korunmak amacıyla kaynak işlemlerinin gündüz yapılması en uygun seçenek olacaktır.

Dış montaj tamamlandıktan sonra üs içinde kalacak olan malzemeler yerleştirilecek ve birimlerin iç duvarları yerleştirilerek odaların düzenlenmesi sağlanacaktır. Daha sonra ise bitiş duvarları yerleştirilerek ana bina tamamlanacaktır (Ruess vd 2006).

8.8.3 İç duvarlar

Şekil 8.5.'te gösterildiği gibi yarım silindir şeklindeki dış kabuğun iç duvarlar kullanılarak dikdörtgen bir yaşam alanına çevrilmesi uygun olacaktır. Yaşam alanı dışında kalan bölge ise malzemeler ve depolama için kullanılabilecektir. Basınçlı ortamda kullanılacağından dolayı özel bir malzemeye ihtiyaç duymayan iç duvarların mümkün olduğunca ince ve hafif malzemedan yapılması taşıma açısından kolaylık sağlayacaktır. İç ve dış duvarlar arasında kalan bölümler ise depolama için kullanılabilecektir.

8.8.4 Bitiş duvarı

Bitiş duvarları için en etkili tasarım çeyrek küredir. Bu düzende eğilme momenti en aza indirilmiştir. Ancak, düşük taşıma hacmi, hava kilitlerinin kolay uygulanması ve tesislerin genişletilebilmesi gibi çeşitli nedenlerle 20 mm kalınlığında basit bir plaka düzeni tercih edilmiştir. Bitiş duvarlarının dışı ise yine regolit kaplaması ile kaplanacaktır. Ancak ana yapıdan farklı olarak bu kaplamada kum torbaları yerine gabionlar kullanılarak regolit kaplaması dik duvara uygun şekilde kullanılabilecektir. Bitiş duvarını etkileyen tek yük iç basınçtan kaynaklanmaktadır (Ruess vd 2006).

8.8.5 Hava yalıtımı ve basınçlandırma

İç düzenleme tamamlandıktan sonra bitiş duvarları kemerlerin sonuna sürgülenecektir. Böylelikle kemer ve bitiş duvarları arasındaki birleşim sağlanmış olacaktır. Daha sonra

yapıların hava yalıtımı, gerekli yerlerde yapısal birleşim boyunca yapıya yapıştırılan membran kumaş şeritler ile sağlanacaktır.

Tüm gerekli yalıtım işlemleri tamamlandıktan sonra yapı ilk kez basınçlandırılır. Bu sayede yapı üzerine yüklenecek olan regolit kaplamasının meydana getireceği yük dengelenmiş olacaktır.

8.8.6 Yalıtım tabakası

Ay üssü tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan biri yalıtımdır. Güneş'ten gelen yüklü parçacıklar ve galaktik kozmik radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için yalıtım bir zorunluluktur. Ayrıca oluşturulacak yalıtım, üssü mikrometeorit çarpmalarından ve yüksek sıcaklık değişimlerinden de koruyacaktır.

Korumadan istenen, yüksek enerjili parçacıkların ve bu parçacıkların koruma tabakasına çarpmasıyla oluşan ikincil parçacıkların etkin bir şekilde zayıflatılması ve sığınak içindeki radyasyon seviyesinin belirli bir seviyenin altına indirebilmesidir. Genel olarak içinde yüksek oranda hidrojen içeren su ve polietilen gibi malzemeler özellikle nötronlara karşı iyi koruma malzemeleridir. Ancak su zamanla azalacağından azalan miktarın tamamlanmasını sağlayacak bir sisteme ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında suyun kullanılabilmesi için korozyon ve donma sorunlarının da çözülmesi gerekmektedir (Pham ve El-Genk 2009).

Temel olarak en yüksek elektron yoğunluğuna sahip element radyasyona karşı en iyi korumayı sağlamaktadır. Dolayısıyla en iyi korumayı hidrojen sağlayacaktır. Hidrojenin diğer bir avantajı ise radyasyon etkisiyle atomları parçalanarak başka bir çekirdeğe dönüşmediğinden ikincil radyasyon oluşturma seviyesi çok düşüktür. Radyasyon parçacıkları koruma malzemesine çarptığında küçük nükleer tepkimeler oluşturmakta ve bu koruma malzemesinin hücresel yapısını bozarak ikincil radyasyonun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Birçok kişinin en iyi radyasyon koruyucunun kurşun olduğunu düşünmesine rağmen aslında bu doğru değildir. Çünkü kurşun radyasyonun bir bölümünü emerek zararlı ikincil radyasyonun büyük miktarda ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte hidrojen içeren malzemeler üs binalarının gerektirdiği yapısal bütünlüğü sağlayamamaktadır.

Yalıtım çalışmalarında halen alüminyum kullanılmakta olup yapılan incelemelerde Ay üssü için Ay yüzeyinde bol miktarda bulunan regolitin (ay toprağı) alüminyumdan daha iyi koruma sağladığı görülmüştür. Regolitin diğer bir avantajı ise Dünya'dan taşınmayacak olmasıdır. Çünkü koruyucu bir yalıtım için alüminyum kullanılması durumunda büyük bir kütle ve hacmin taşınması anlamına gelecektir. Bu nedenle günümüze kadar olan çalışmalarda nispeten daha ince alüminyum dış duvar ve üzerine yeterli miktarda regolit tabakası serilmesi düşüncesi kabul görmüştür. Günümüzde ise alüminyumdan daha iyi koruma sağlayan ve daha hafif malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde yüksek hidrojen içerikleri yanında farklı çeşitleri ile farklı amaçlar için kullanılabilen polimerler üzerinde yapılan çalışmalar göstermektedir ki, gelecekte radyasyon koruması için en temel malzeme polimer olacaktır. Polimerlerin içinde ise en yüksek hidrojen içeriği nedeniyle en uygun malzeme olarak polietilen seçilmiştir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda elde edilen polietilenler Ay üssü yapılarında kullanılması için yeterli katılığa ulaşamamış olsa da yakın dönemde NASA'da geliştirilen ve RFX1 olarak adlandırılan polietilen tabanlı bir malzemenin alüminyumdan daha hafif ve daha mukavemetli olduğu ifade edilmektedir. Alüminyumla karşılaştırıldığında RFX1, güneş patlamalarından kaynaklanan radyasyona karşı %50 ve galaktik kozmik radyasyona karşı %15 daha fazla koruma sağlamaktadır. Bununla birlikte RFX1, uzay endüstrisi için yeni bir malzemedir. Dünya'da ise helikopterlerde koruyucu kalkan olarak kullanılmaya başlanmıştır (Seedhouse 2009).

Radyasyon kaynakları ve radyasyonun neden olduğu biyolojik etkiler ile ilgili yeterli bilgi bulunmadığından ideal bir koruma tasarlamak zor bir görevdir. Bu nedenle tasarlarda en kötü durum dikkate alınmaktadır. 1956 yılında ortaya çıkan radyasyon bugüne kadar tespit edilen en yüksek değere sahip olmuştur. Bu değere sahip radyasyon için hesaplanan polietilen koruma tabakası kalınlığı 190,5 mm'dir. Ancak bu kalınlıktaki bir tabaka büyük bir kütleye sahiptir. Bu nedenle alternatif olarak Ay regoliti düşünülmüş ve yaklaşık 508 mm kalınlığındaki regolit tabakasının belirtilen radyasyon için yeterli olduğu tespit edilmiştir (Seedhouse 2009).

Her ne kadar radyasyon koruması için yukarıda belirtilen kalınlıktaki regolit yeterli olsa da ısı yalıtımının sağlanması için özellikle kutup bölgelerinde güneş ışınlarının alınmadığı yerlerde sıcaklığın -230 °C'ye kadar düştüğü göz önüne alınırsa ısı koruması yönünden bu kaplamanın yeterli olmayacağı açıktır. Yapılan bir çalışmada tek katlı yapılar için 0,7 m'lik bir regolit kaplamasının -170 °C için bile yeterli olmadığı ortaya konmuştur (Grandl 2007). Bu nedenle Ay üssü yapıları için 2 m'lik bir regolit kaplamasının esas alınmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Regolitin yarı silindir şeklindeki yapıların üzerinde düzgün dağılımının sağlanması için ise gabion kutular ve kum torbaları önerilmektedir. Dünya'da istinat duvarı, köprülerde, demiryolları ve otoyollarda kullanılan gabion, genel olarak galvanizli ve PVC kaplı olarak üretilmektedir. Ay ortamında paslanma tehlikesi bulunmadığından dolayı galvaniz kaplamaya ihtiyaç duyulmayacaktır. Kutuların mukavemetinin artırılması için tüm kenarları daha kalın çaplı tellerle çevrelenmelidir. Gabion kutuların, yüksek mukavemet, esneklik, daha homojen bir dağılım ve herhangi bir hasar durumunda kolay tamir edilebilme gibi avantajları bulunmaktadır.

Kum torbalarının şişirilebilir yapılar için de kullanılabilecek olan kevlar kumaşından yapılması düşünülmektedir. Kevların, itreşimleri emme, mukavemet, hafiflik ve ısıya karşı yüksek dayanım gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır.

Özellikle kevların hafif olması ve yapısından kaynaklanan ısı yalıtımı nedeniyle regolit kaplamasında kum torbası kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca herhangi bir hasar durumunda münferit olarak hasar gören torbanın değiştirilmesiyle sorun kolaylıkla çözülebilecektir.

Tüm bunların yanında NASA ve Ulusal Havacılık Enstitüsü ortak destekleyiciliğinde düzenlenen Devrimci Havacılık ve Uzay Sistemleri Kavramları çalışması kapsamında, katılımcı üniversite öğrencileri tarafından 2020 yılında inşa edilecek olan Ay üssünün radyasyon korumasının sağlanması için "lunar texshield" olarak adlandırılan çok hafif

polimer malzemeden bir battaniye üretilmiştir. Yapılan incelemede üretilen malzeme; istenen genişlikte üretilebildiği, kolaylıkla yapılara uygulanabildiği ve istendiğinde çok katlı olarak da kullanılabildiği görülmüştür. Bu malzemenin bir diğer özelliği ise gelen güneş ışınlarını emerek elektrik enerjisine çevirebilmesi ve saklayabilmesidir. Bu tasarımın uygulamaya geçirilebilmesi durumunda Ay üssündeki yapıların yalıtımı konusunda büyük bir kolaylık sağlanacaktır (More Star Trek Than Snuggie).

8.8.7 Pencereleler

Pencerelerin iki işlevi bulunmaktadır. Binaların dışındaki ortamın gözlenmesi ve yaşam şartlarının az da olsa iyileştirilmesi. Böylece personelin kendini daha geniş bir ortamda hissetmesi sağlanacaktır.

ABD'nin insanlı tüm uzay programlarında araçlarda pencere bulunmuştur. Pencereler insanlı uzay uçuşları için son derecede önemlidir. Ancak, personelin morali gibi getirilerinin karşılığı yüksek mühendislik maliyeti olarak ortaya çıkmaktadır. Mercury görevinden ISS'ye kadar tüm programlarda çoğu pencere için cam kullanılmıştır (Ruess vd 2006).

Uzayda kullanımda cam, plastik gibi diğer şeffaf malzemelere karşı optik konusunda birçok avantaja sahiptir. Örneğin cam, diğerlerine nazaran atomik oksijen çarpmalarına karşı daha dayanıklıdır. Plastiklerin çoğu uzay ortamında atomik oksijen çarpmalarına maruz kaldığında birkaç gün içinde yorulmaktadır. Morötesi ışınlar maruz kalan plastikler genellikle gevrekleşmektedir. Camda ise bu tür bozulmalara rastlanmamıştır.

Yapı malzemesi olarak ise cam birçok istenmeyen özelliğe sahiptir. Statik yorulma, gevrekliğe bağlı çökme ve çok küçük darbelerde bile mukavemetinde düşüklük tecrübeleri yaşanmıştır. Ay ortamında camın en büyük dezavantajı çarpmalar olacaktır. Bununla ilgili ISS'de uygulanan çözüm ise pencere tasarımında sarf edilebilir cam levhaların kullanılmasıdır. Kullanılan iki kat cam ile hasar görme durumunda başka bir soruna neden olmadan değişim yapılabilir. Ayrıca pencerelerin dış tarafına hareketli panjurların yerleştirilmesi ile hasar oranı da azaltılabilecektir (Cohen 1998).

Pencerelerle ilgili diğer bir sorun ise regolit kaplamasının da aşılması gerektiğidir. Bu konuda alüminyum kanalların kullanılması sorunu çözebilecektir.

8.8.8 Hava kilidi

Hava kilidi özel bir sınıf bölmeden oluşmaktadır. Dışarıdaki boşluk ile içerideki havayı birbirinden ayıran bölme olarak özel bir düzenlemeye ihtiyacı bulunmaktadır. Araç dışı faaliyetlerde kullanılacak olan uzay giysilerinin iç basıncı ne kadar düşük olursa mürettebatın hareketleri o kadar kolaylaşacaktır. Bu yüzden hava kilidindeki basınç seviyesi yaşam bölümlerindeki basınçla uzay giysilerindeki basıncı dengeleyecek bir seviyede olmalıdır.

Hava kilidi ile ilgili bir diğer sorun ise araç dışı faaliyetlerde mürettebatın giysilerine ve donanımlarına yapışan tozların temizlenme zorunluluğudur. Yaşam bölgelerine girecek olan toz büyük sıkıntılara neden olacağından hava kilidi bölümünde temizliğin yapılması için gerekli düzenleme yapılmalıdır.

8.9 Yaşam Destek Sistemleri

LSS; insanlı uzay uçuşunda insanların uzayda hayatta kalmalarını sağlayan bir grup cihazdan meydana gelmektedir. LSS için Denetimli Ekolojik Yaşam Destek Sistemleri (CELSS) terimi de kullanılmaktadır (Life Support System).

LSS genel olarak; hava tazeleme sistemi, atmosfer basınç denetim sistemi, ısı denetim sistemi, temiz su ve atık su sistemleri ve atık toplama sisteminden meydana gelmektedir. Bu sistemler soğutma veya ısıtma sistemleri yanında mürettebat için yaşam alanı bölümünde yaşanabilir bir ortam da sağlamaktadır (Environmental Control and Life Support System).

8.9.1 Hava tazeleme sistemi

Bu sistem, nispi nem oranının %30-75 değerlerinde olmasını, karbondioksit ve karbon monoksit gazlarının ise %1 seviyesinin altında kalmasını sağlar ve mürettebat odalarındaki ısı ve havalandırmayı denetler. Sistem her bir mürettebatın bir gün içinde tükettiği oksijenin (0,59 m³) ortaya çıkan karbondioksitten (0,52 m³) tekrar kazanılmasını sağlar.

Hava tazeleme sistemi; su soğutma döngülerinden, kabin içi hava döngülerinden ve basınç denetiminden oluşur. Mürettebat odalarındaki hava kabin hava değiştiriciler tarafından toplanarak su soğutma döngüleriyle soğutulmakta ve tekrar odaya verilmektedir (Environmental Control and Life Support System).

8.9.2 Aktif ısı denetim sistemi

Ay üssünün yaşam alanlarında ısıyı 18-24 °C arasında ve çiy noktasını 14-16 °C arasında tutacak şekilde tasarlanmalıdır. Bunun sağlanması için, donanımlardan ve metabolizmadan kaynaklanan ısı yüklerinin aktif olarak giderilmesi ve dış ortamdan ısı girişi çıkışlarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Her birime verilen toplam ısı yükü seçilen yerleşim bölgesinin şartları esas alınarak hesaplanmalıdır.

Kavramsal ısı denetim sistemleri sistemdeki ısı yüklerini toplayarak dış ortama atmak için tasarlanmıştır. İçinde bulunulan ortam ile ısının atıldığı dış çevre birbirinden farklı olduğundan aktif ısı denetim sistemi tasarımı da farklı olacaktır. Aktif ısı denetim sistemi için temel yapılandırma 1988 yılında ISS teknolojisi ile başlatılmıştır. İç ortamdaki ısı yüklerinin toplanması teknolojisi tek safhada; hissedilir ve gizli ısı yüklerini toplayabilmek için 2-21 °C sıcaklıktaki suyun ortamda çevrimi ile sağlanmaktadır. Herhangi bir uygulama için, dış ortamdan kaynaklanan ısı artışları ve kayıpları tahmin edilmelidir. Bu tahmin büyük oranda sağlanan yalıtıma bağlıdır. Yeterli regolit kaplaması, ısı kayıp ve kazancını önemsiz değerlere düşürecektir (Koelle 2000).

8.9.3 Atmosfer basınç denetim sistemi

Atmosfer basınç denetim sistemi, yaşam alanlarının basıncını 69 kPa (yaklaşık 0.68 atm) olarak ayarlayacaktır. Bina içi atmosferin, %20 oksijen ve %80 azot karışımından oluşturulması planlanmaktadır (Environmental Control and Life Support System).

8.9.4 Su arıtma sistemi

NASA tarafından ISS için geliştirilen su arıtma sisteminin, Ay üssünde de kullanılması planlanmaktadır. 250 milyon dolara mal olan ve Mayıs 2009 yılında kullanılmaya başlanan sistem sayesinde idrar, ter, temizlik için kullanılan su ve havadaki nem gibi sıvı atıklar yedi aşamalı bir arıtım sisteminden geçirildikten sonra içime hazır hale gelmektedir. Suyu deneyenler tadının normal suya benzediğini belirtmişlerdir.

Yapılan denemelerde altı mürettebatlık ISS’de altı saat içinde 20 litre su arıtılmıştır. Sistem sayesinde yılda atık miktarının 6800 kg. azalacağı tahmin edilmektedir (Space Shuttle Astronauts Declare Recycled Urine a Great Taste).

Arıtım sisteminde; idrar öncelikle büyük bir kaptan toplanmakta ve burada kaynatılarak buharı alınmaktadır. Kalan atıklar ise depolanmaktadır. Buhar daha sonra diğer sularla karıştırılarak filtrelerden ve kimyasal tepkimelerden geçirilerek temizlenmesi sağlanmaktadır. Bu aşamalarda yüksek ısılarda katalitik tepkimeden de geçirilen suyun içindeki istenmeyen organik kirleticilerin de yok edilmesi sağlanmaktadır.

Aslında idrardan içme suyu elde edilmesi işlemi dünyadaki su döngüsünde gerçekleşmektedir. Ancak bu süreç uzun bir zamanda gerçekleşmektedir. Uzayda ise bir haftalık bir sürede gerçekleşmektedir (Ultimate Recycling on the ISS: Urine to Water).

8.10 Aydınlatma

Ay üssü mürettebatına yeterli aydınlatmanın sağlanabilmesi için mühendisler iki önemli engeli aşmak zorundadırlar. İlk olarak, enerji üretimi konusunda yeterli gelişim sağlanana kadar elektrik harcaması kısıtlı olacaktır. Daha önceki uzay görevlerinde de kısıtlı aydınlatma örnekleri yaşanmıştır. İkincisi, elektrik ışığının ortam ısını yükseltmesi, yaşam destek sistemlerinin faaliyetlerinin artırılmasına neden olacaktır.

Bu nedenle ortam aydınlatmalarında iyi bir karışıklık ve düşük parlama gerekmektedir. Çalışma ortamlarında ışık parlak olmalı ve düzgün dağılmalıdır. Parlak ışık gereken çalışma ortamları için günışığı, yaşam alanları için ise beyaz ışık daha uygun olacaktır. Ayrıca iki komşu bölgenin aydınlatmaları arasında büyük farklar bulunması da uyum sorunlarına neden olacaktır.

Flüoresan ampuller daha verimli ve daha uzun ömürlü olmaları ve ortama daha az ısı vermelerinin yanında ayrıca daha fazla renk algılanmasını sağlarlar. Dünyadaki gün ışığına daha yakın bir ışık sağlamaktadır. Ancak çok soğuk ortamlarda akkor ampuller daha iyi çalışmaktadır. Bu nedenle hava kilitlerinde, gece ve gölgede yapılan araç dışı faaliyetlerde akkor ampuller daha uygun olacaktır. Toplu yaşam alanlarında ise sosyal faaliyetler için aydınlatma gereklidir. Aydınlatma ile geniş alanlar toplu ve bireysel faaliyet alanlarına ayrılabilir. Kullanıcı denetimli aydınlatma ise özel yaşam için gerekmektedir (Harrison 2001).

Sonuç olarak aydınlatma, Dünya’daki gibi doğrudan güneş ışığından faydalanılmayan Ay üssü gibi yerlerde mürettebatın psikolojik yönden sorun yaşamaması için denetimli bir şekilde sağlanmalıdır.

9. ÜSSÜN TASARIMI

Bu bölümde daha önceki bölümlerde ifade edilen bilgiler ışığında Ay üssünün tasarımından bahsedilecektir. Daha önce de belirtildiği gibi Ay üssünün ilk dönemleri için 20 kişilik bir mürettebatı esas alınarak tüm hesaplamalarda bu sayı esas alınmıştır. Bununla birlikte ilerleyen dönemlerde mevcut teknolojinin gelişmesi ve planlanan görevlerin sayı ve kapsam olarak artması sonucunda mürettebat sayısının da artacağı düşünülmektedir.

9.1 Üs İçin Yer Seçiminin Yapılması

Daha önce de bahsedildiği gibi Ay üssü için en uygun yer olarak güney kutup bölgesindeki Shackleton kraterinin iç çeperleri uygun olarak değerlendirilmiştir. Kraterin en üst bölgesi yerine iç çeperlerinin seçimi sayesinde güneş rüzgârları ve güneş patlamalarının etkisi büyük oranda azaltılmış olacaktır.

9.2 Taşıma Planı

Ay üssü için ilk aşamada hemen hemen tüm malzemeler Dünya'dan Ay'a götürülecek olup bu malzemelerin yaklaşık kütlelerinin Çizelge 9.1'de belirtildiği gibi olacağı düşünülmektedir.

Malzemeler	Kapsamı	Kütle (kg)
Yapılar	Ay üssü ana yapı, sera vb.	94.000
Duvarlar	Bitiş duvarları, iç duvarlar, basınçlı kapılar, hava kilidi, geçişler vb.	37.000
Tarım malzemeleri	SLS, kaplar vb.	20.000
Araçlar	Basınçlı, basınçsız araçlar, iş araçları	10.000
Ortak kullanım alanları	Spor, yemekhane, dinlenme, televizyon odası malzemeleri	5.000
Servis malzemeleri	Mutfak, çamaşırhane, LSS, depolar vb.	12.000
Laboratuvar malzemeleri	Laboratuvarlar, revir, antenler, teleskop, enerji panelleri vb.	55.000
Hammadde	İlk üç aylık gıda, üç aylık gıda hammaddesi, güneş pili için gerekli malzemeler, azot, su vb.	30.000
Mürettebat malzemeleri	Yatak, dolap, kıyafet vb.	3.000
Diğer	Gabionlar, kum torbaları vb.	2.000
TOPLAM		268.000

Çizelge 9.1. Ay Üssü İçin Dünya'dan Taşınacak Malzemelerin Tahmini Kütlesi

Malzemelerin taşınması için yapılan hesaplamalarda daha önce de belirtildiği gibi Ares-5 fırlatma aracı dikkate alınmıştır. Ares-5'in Ay yörüngesi için taşıma kapasitesi 56.800 kg'dır. Dolayısı ile malzemelerin nakli için 5 fırlatma görevi planlanmıştır. Ayrıca kurulum aşamasında mürettebatın barınması için ilk etapta bir geçici birim için de bir Ares-5 fırlatma görevi planlanmıştır. Mürettebatın nakli için ise 5 adet Ares-5 ve 5 adet Ares-1 görevi planlanmıştır. Dolayısı ile toplam 5 adet Ares-1 ve 11 adet Ares-5 görevinin yeterli olacağı düşünülmektedir.

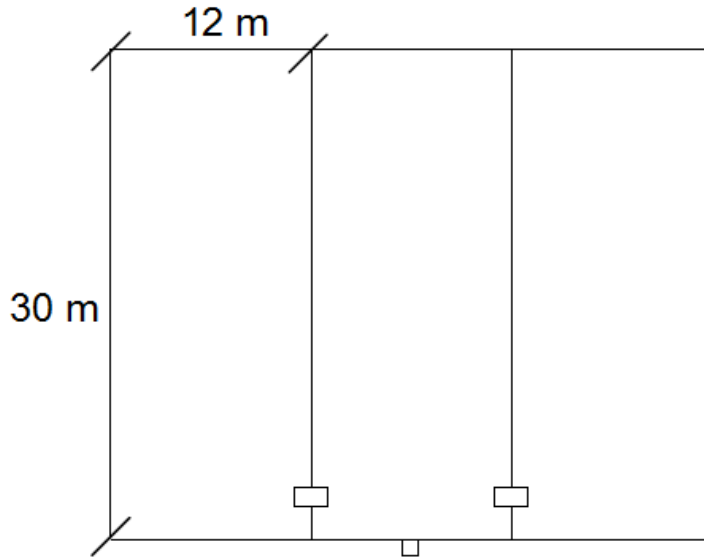
9.3 Seranın Kurulması

Daha önce de belirtildiği gibi 20 mürettebat için gerekli tarım alanı 950 m²'dir. 50 m²'lik gıda depolama ve atık depoları ihtiyacı ile birlikte toplam sera alanı 1000 m² olarak planlanmıştır.

Seranın da ana yapı gibi basınçlandırılması ve aynı atmosfer bileşenine sahip olması düşünülmektedir. Ancak sera tasarımı hayati riskler bulunmaması ve taşıma konusundaki avantajları nedeniyle ana binadan farklı olarak birer mm kalınlığında 10 katlı kevlar kumaştan şişirilebilir yapı kullanılması düşünülmektedir. Seranın üzeri de ısı ve radyasyon yalıtımı için ana yapı gibi regolitle kaplanmalıdır.

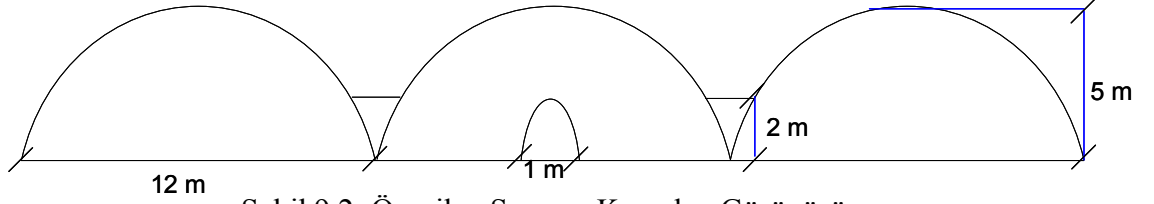
Ana yapının ikinci birimi olan ortak yaşam birimine basınçlı bir kapı ile birleştirilmesi planlanmaktadır. Sera içinde mürettebat devamlı olarak bulunmayacağından seranın iç basıncının, insanlı görevler için kabul edilen en düşük değer olan 0,34 atm olarak alınmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Önerilen seranın; 12x30 m'lik üç ayrı birimden meydana gelmesi planlanmakta olup üstten görünüşü Şekil 9.1.'de görüldüğü gibidir. Birimler arasında 1 m. genişliğinde ve 2 m. yüksekliğinde geçiş kapıları bulunması ve ortadaki birimle ana yapının ortak yaşam biriminin 1 m'lik bir tünel ile birleştirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 9.1. Önerilen Seranın Üstten Görünüşü.

Önerilen seranın karşıdan görünüşü Şekil 9.2.'deki gibi olup sera yüksekliğinin 5 m, ana yapı ile bağlantıyı sağlayan tünelin yüksekliğinin ise diğer geçiş kapıları gibi 2 m olması düşünülmektedir. Tünel genişliği ise 1 m. olarak tasarlanmıştır.



Şekil 9.2. Önerilen Seranın Karşıdan Görünüşü.

9.4 Ana Binanın Bölümleri

9.4.1 Yaşam alanları

Genel olarak mürettebatın şahsi faaliyetlerini yürüttüğü ve dinlendiği bölümlerdir. Çalışma alanlarının dışındaki bölümleri kapsamakta olup yer planlamasında şahsi odaların diğerlerinden ayrı olmasına dikkat edilmelidir. Yaşam alanları ve işlevleri Çizelge 9.2.'de belirtilmiştir.

Bölümler	İşlevler
Şahsi odalar	Mürettebatın uyuduğu, şahsi malzemelerini bulundurduğu ve şahsi faaliyetlerini yürüttüğü bölümlerdir. Tek kişilik düzenlenen odalar isteğe bağlı olarak birleştirilebilecektir.
Spor salonu	Üs personelinin özellikle düşük yerçekimi etkisi nedeniyle düzenli olarak yapmak zorunda kalacakları egzersizleri için yeterli ve uygun bir alan gerekecek olup spor salonu bu ihtiyacı karşılayacaktır.
Dinlenme salonu	Mürettebatın kitap okuma, şahsi bilgisayarla çalışma gibi faaliyetlerinde kullanacağı bir bölümdür. Dinlenme salonunda bulunacak internet bağlantısı sayesinde mürettebatın Dünya ile bağlantı kurabilmesi sağlanacaktır.
Televizyon salonu	Mürettebatın televizyon vb. toplu faaliyetlerinde kullanacakları bölümdür. Daha gürültülü bir ortam olması nedeniyle dinlenme salonundan ayrı olarak planlanmıştır.
Yemekhane	Mürettebatın yemeklerini yediği bölümdür. Toplu eğlence durumunda da kullanılabilecektir.

Çizelge 9.2. Yaşam Alanları

9.4.2 Çalışma alanları

Ay üssünün büyümesine bağlı olarak zamanla birçok farklı çalışma alanı oluşturulacaktır. Ancak öncelikle Çizelge 9.3'te belirtilen çalışma alanlarının kurulması gerektiği düşünülmektedir.

Bölümler	İşlevler
Kimya/metalürji laboratuvarı	Bu laboratuvarın faaliyetleri öncelikle maden araştırmaları üzerinde yoğunlaşacaktır. Bu çalışmalarla değerli madenler bulunabilecek ve malzemeler geliştirilecektir (Koelle 2002).
Fizik laboratuvarı	Fizik laboratuvarı öncelikle çevre koşullarının araştırılması ve bu koşulların uygun kullanım alanlarının özellikle de radyasyon ve boşluk alanlarının araştırma ve kullanımı imkânlarının keşfedilmesi faaliyetleri üzerinde çalışacaktır (Koelle 2002).
Canlı bilimleri laboratuvarı	Öncelikle mürettebat üzerindeki düşük yerçekimi ve yüksek radyasyonun fizyolojik ve Ay yaşamının psikolojik etkilerinin araştırılması faaliyetleri ile ilgilenecektir. Ayrıca hayvanlarla ilgili çalışmalar ve yaşam destek deneyleri de yapılacaktır (Schrunk vd 2008).
Malzeme bilimleri laboratuvarı	Malzemelerin özellikleri, yapıları ve davranışlarının incelendiği bölümdür. Ay'ın farklı şartlarının imkan tanıdığı yeni malzeme türleri araştırılacak ve üretimleri sağlanacaktır.
Revir	Mürettebatın sağlık işlemlerinin ve periyodik muayenelerinin yapıldığı bölümdür.
Gözlem ve enerji denetim bölümü	Gözlem denetim bölümünde, çeşitli şekillerde elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve Dünya'ya gönderilmesi faaliyetleri yürütülecektir. İletişim faaliyetleri için gerekli sistemler de bu bölümde bulunacaktır. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerjinin üretilmesi, depolanması ve kullanılması gibi çeşitli faaliyetlerin denetim merkezi de bu bölümde olacaktır. Ay üssünün ileri dönemlerinde elde edilen enerjinin Dünya'ya gönderilmesi durumunda da denetim yine bu bölümde olacaktır.
Hava kilidi ve çıkış bölmesi	Mürettebatın araç dışı faaliyetlerde kullanacağı giysiler, malzemeler bu bölümde bulundurulacaktır. Ayrıca araç dışı faaliyet sırasında giysilere yapışan tozların temizlenmesi için gerekli düzenek de kurulmalıdır. Mürettebatın uzay giysisine uyum sağlayabilmesi için birimin basınçlandırma ayarlaması diğer birimlerden bağımsız olarak yapılacaktır.
Komuta bölümü	Tüm birimlerin birleştiği orta bölgede bulunan bu bölüm aracılığıyla komuta denetim faaliyetleri yürütülecektir.

Çizelge 9.3. Çalışma Alanları

9.4.3 Servis ve temizlik bölümleri

Yaşam ve çalışma alanları dışında ana üs binasında bulunan servis ve temizlik alanları Çizelge 9.4.'te belirtildiği gibidir.

Bölümler	İşlevler
CELSS merkezi	CELSS denetimlerinin sağlandığı bölümdür.
Geri dönüşüm merkezi	Atık suların ve bina içinde oluşan karbondioksitin toplandığı bölümdür. Karbondioksitin oksijene çevrilmesi işlemi her ne kadar sera tarafından gerçekleştirilecek olsa da özellikle ilk dönemlerde kimyasal yollarla yapılacaktır. Suyun temizlenmesini ise su arıtma sistemi sağlayacaktır.
Mutfak	Yiyeceklerin depolandığı, pişirildiği ve sıcak içeceklerin hazırlandığı bölümdür. Ayrıca bulaşık yıkama faaliyetleri için gerekli düzenek de bu bölümde olacaktır.
Banyo	Mürettebatın banyo ihtiyacını karşıladığı bölümdür.
Çamaşırhane	Mürettebatın şahsi olarak kullanacağı çamaşır ve kurutma makinelerinin bulunduğu bölümdür.
Tuvalet	Mürettebatın tuvalet ihtiyacını karşıladığı bölümdür.
Koridorlar	Bölümler arasında geçişi sağlayacaktır.

Çizelge 9.4. Servis ve Temizlik Alanları

9.5 Yerleşim Alanı Boyutlarının Hesaplanması

Daha önce de belirtildiği gibi NASA'nın İnsanlı Sistemler Bütünleme Standartlarına göre dört aydan daha uzun süreli görevler için kişi başına en az 20 m³ hacim gerekmekte olup bu tavsiyeye karşın ISS'de kişi başına ayrılan hacim miktarı 120 m³ olarak belirlenmiştir. Ay üssünde mürettebatın 1 yıllık sürelerle görev yapacağı dikkate alındığında en yüksek değer en esas alınması daha uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu nedenle mürettebat başına hacim değerinin ISS'de olduğu gibi 120 m³ alınmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Ay yüzeyinde çekim gücünün düşük olması nedeniyle insanlar yürürken ve koşarken yerden havalanarak hareket etmektedirler. Ayrıca iç basınçlı ortamlarda ağır uzay giysileri de olmadığından bu havalanmalar daha fazla olacaktır. Bu nedenle 2,44 m'lik yükseklik yeterli görülse de tavan için öngörülen en yüksek değer olan 4 m'nin alınması daha uygun olacaktır.

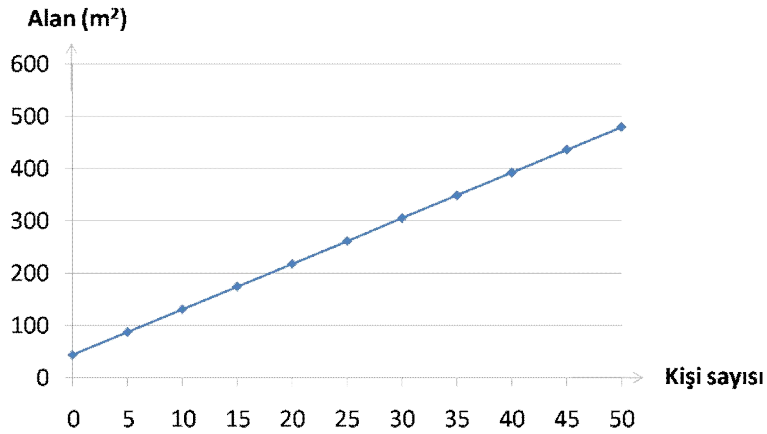
Işıklandırma ve havalandırma gibi çeşitli destek sistemlerinin ise 0,5 m'lik bir bölümü kullanacağı kabul edilirse mürettebat için 3,5 m'lik bir net yükseklik bulunacaktır.

Bu rakam esas alınarak yapılan hesaplama göre her bir personel için ayrılacak zemin yaklaşık 34,5 m² olarak belirlenecektir. 20 kişilik bir mürettebat için hesaplanan toplam alan yaklaşık 690 m² olacaktır.

Bu çalışmada Ay üssünün toplam alanı 688 m² olarak alınmıştır. Bu alanın 218 m²'si (%32) yaşam alanları, 288 m²'si (%42) çalışma alanları, 182 m²'si (%26) ise servis ve temizlik alanları için ayrılmıştır.

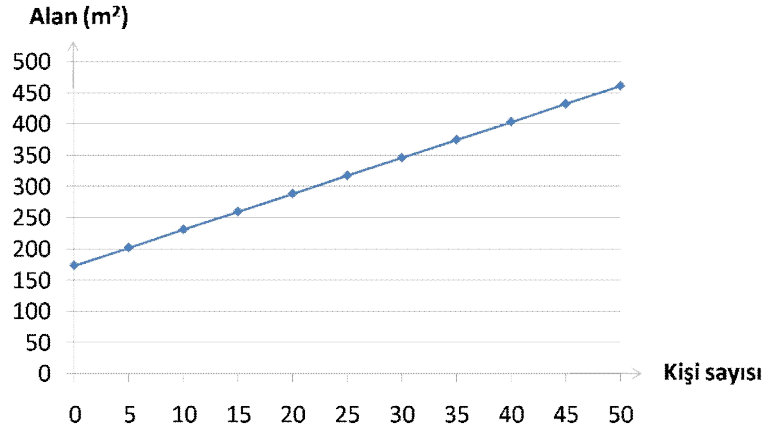
Ay üssünün mürettebat başına alan hesaplamasının yapılabilmesi için öncelikle yaşam alanları, çalışma alanları ve servis ve temizlik alanlarının ayrı ayrı incelenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Yaşam bölümlerinden şahsi odalar mürettebat sayısı ile doğru orantılı iken yemekhane alanı için mürettebat sayısına bağımlılık daha düşüktür. Spor salonu, dinlenme salonu ve televizyon salonu bölümlerinde ise mürettebat sayısına bağımlılık düşük seviyededir. Yaşam alanları ile ilgili kesin bir oran kabul edilmemiş olsa da bu çalışma için toplam yaşam alanının %20'lik bölümünün sabit olarak alınması, kalan alanın ise mürettebat sayısına göre değişmesi uygun olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 20 kişilik mürettebat için hesaplanan 218 m²'lik toplam yaşam alanının 43,6 m²'si sabit alınacak, 174,4 m²'lik alanı ise mürettebat sayısı ile değişecek ve mürettebat sayısına göre yaşam alanı grafiği Şekil 9.3.'teki gibi oluşacaktır.



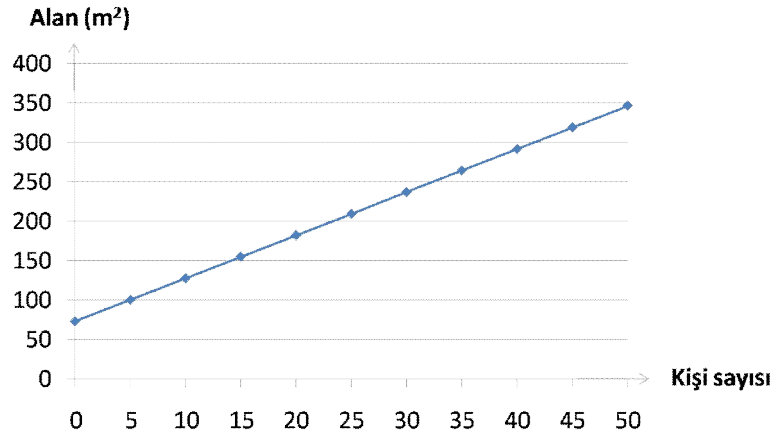
Şekil 9.3. Mürettebat Sayısına Göre Yaşam Bölümleri Alanı

Çalışma bölümlerinden revir, hava kilidi, gözlem ve enerji denetim bölümü ve komuta bölümü alanlarının mürettebat sayısına bağımlılığı düşüktür. Bu alanlar büyük oranda sabit alınacaktır. Laboratuvar bölümleri ise mürettebat sayısına daha bağımlıdır. Kesin bir değer mevcut olmasa da bu çalışmada çalışma alanları için %60'lık bölümün sabit olarak alınması, kalan alanın ise mürettebat sayısına göre değişmesi uygun olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 20 kişilik mürettebat için hesaplanan 288 m²'lik toplam çalışma alanının 172,8 m²'si sabit alınacak, 115,2 m²'lik alanı ise mürettebat sayısı ile değişecek ve mürettebat sayısına göre yaşam alanı grafiği Şekil 9.4.'teki gibi oluşacaktır.



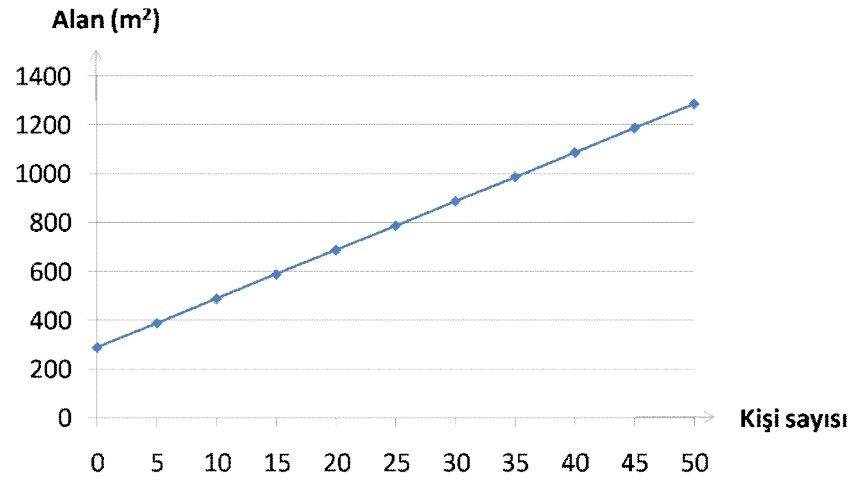
Şekil 9.4. Mürettebat Sayısına Göre Çalışma Bölümleri Alanı

Servis ve temizlik bölümlerinden CELSS merkezi, geri dönüşüm merkezi ve mutfak alanlarının mürettebat sayısına bağımlılığı düşüktür. Bu alanlar büyük oranda sabit alınmalıdır. Banyo, çamaşırhane, tuvalet ve koridorlar ise mürettebat sayısına daha bağımlıdır. Kesin bir değer mevcut olmasa da bu çalışmada servis ve temizlik alanları için %40'lık bölümün sabit olarak alınması, kalan alanın ise mürettebat sayısına göre değişmesi uygun olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 20 kişilik mürettebat için hesaplanan 182 m²'lik toplam çalışma alanının 72,8 m²'si sabit alınacak, 109,2 m²'lik alanı ise mürettebat sayısı ile değişecek ve mürettebat sayısına göre yaşam alanı grafiği Şekil 9.5.'teki gibi oluşacaktır.



Şekil 9.5. Mürettebat Sayısına Göre Yaşam Bölümleri Alanı

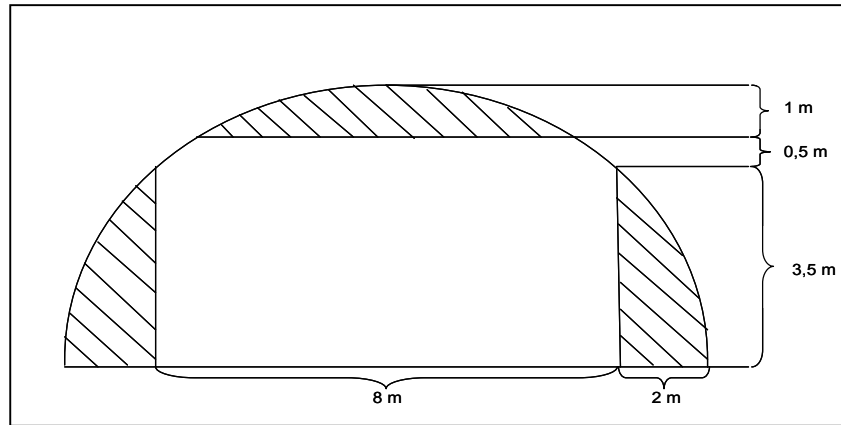
Sonuç olarak Ay üssünün mürettebat başına toplan alan hesaplamasının yapılabilmesi için yukarıda yapılan hesaplamalar ve grafikler birleştirilmelidir. Bu doğrultuda yaşam alanlarının %20'si (43,6 m²), çalışma alanlarının %60'ı (172,8 m²), servis ve temizlik alanlarının ise %40'ı (72,8 m²) sabit alınmıştır. Dolayısıyla 43,6+172,8+72,8=289,2 m²'lik alan sabit olarak alınacaktır. Ay üssünün mürettebat başına alan hesaplamasının Şekil 9.6.'da belirtildiği gibi olacağı düşünülmektedir.



Şekil 9.6. Mürettebat Sayısına Göre Toplam Ay Üssü Alanı

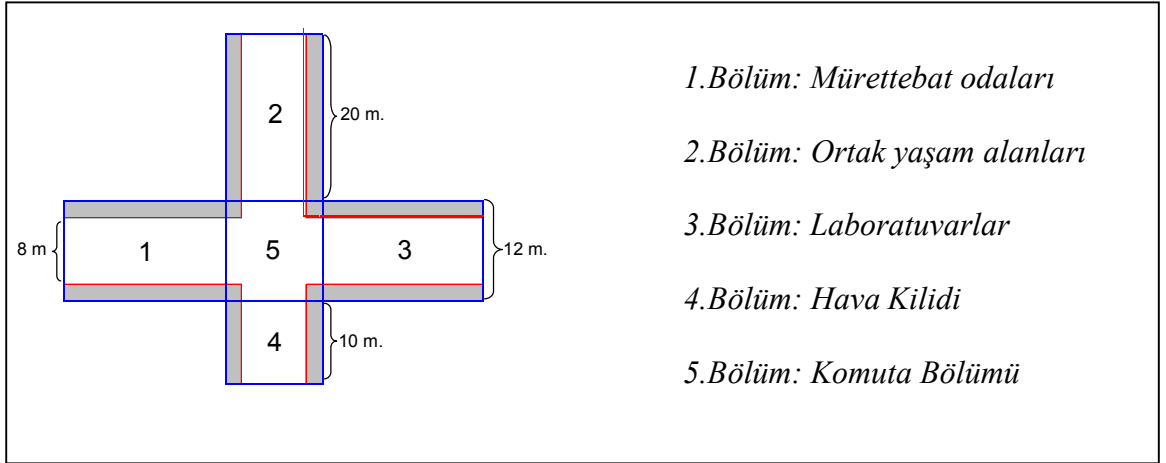
9.6 Üssün Yerleşim Düzeni

Yerleşim için radyal düzenin, ana bina için sert (rijit) yapının tercih edildiği daha önce ifade edilmiştir. 20x12 m'lik birimlerin içinde Şekil 9.7.'de görüldüğü gibi kenarlardan ikişer metre içeriye yerleştirilen iç duvarların yaşam alanının sınırlarını oluşturması planlanmıştır. Bu duvarların yüksekliği ise 3,5 m olacaktır. Birimlerin orta bölümü oluşturan kenarlarında ise herhangi bir sorun ihtimaline karşı basınçlı duvar ve kapıların kullanılması planlanmıştır.



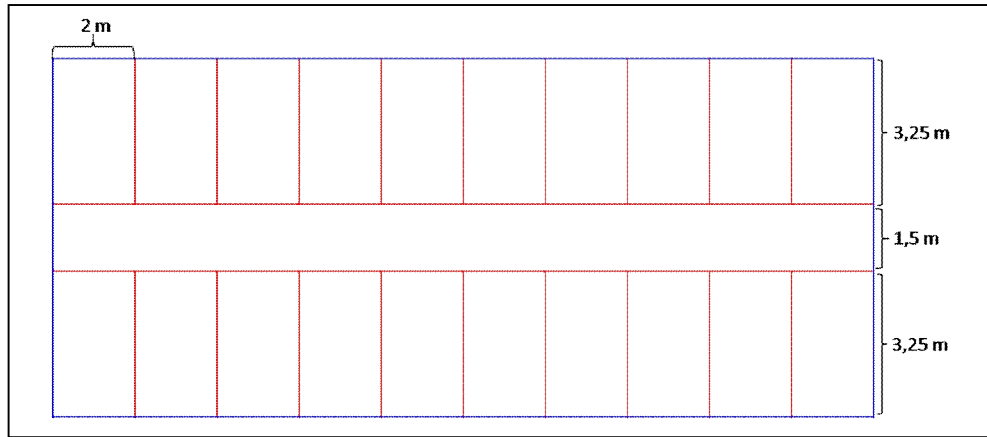
Şekil 9.7. Önerilen Birim Tasarımının İç Duvar Düzenlemesi

Ana bina için önerilen genel yapı Şekil 9.8.'deki gibidir. Gri bölgeler iç duvarların ayırdığı depo vb. kullanımlar için ayrılan alanlardır. 5inci bölümle birlikte kullanım alanı toplam 688 m² olacaktır.



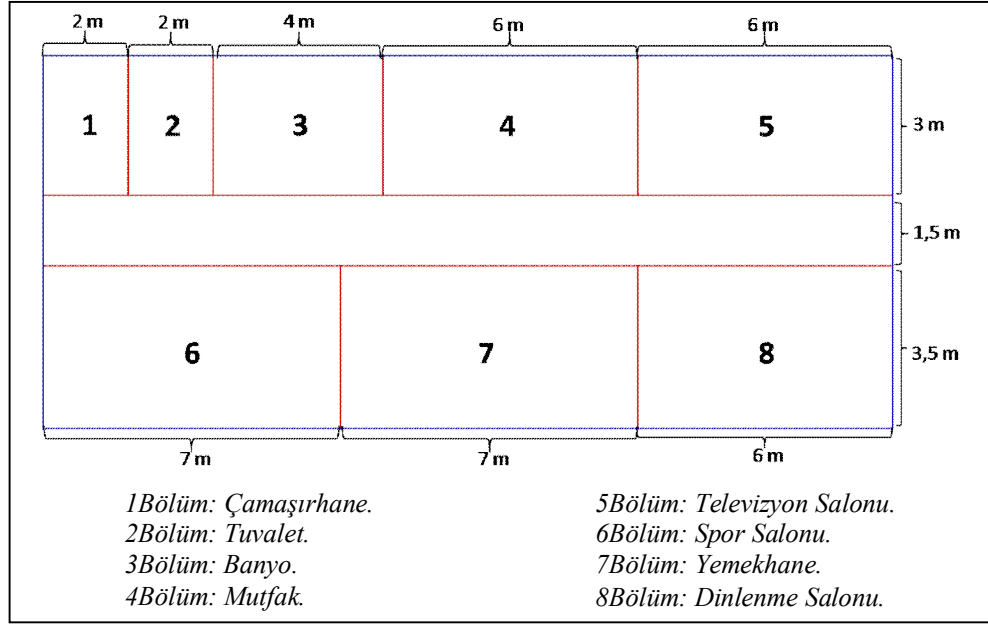
Şekil 9.8. Önerilen Ana Bina Kullanım Alanları.

1 inci bölüm için önerilen birim yerleşimi Şekil 9.9.'da gösterildiği gibidir. Ortada 1,5 m genişliğinde bir koridor ve her mürettebat için 2x3,25 m ebadında şahsi bir oda planlanmıştır. Her odada bir pencere olacaktır. İsteğe bağlı olarak odalar birleştirilebilecektir.



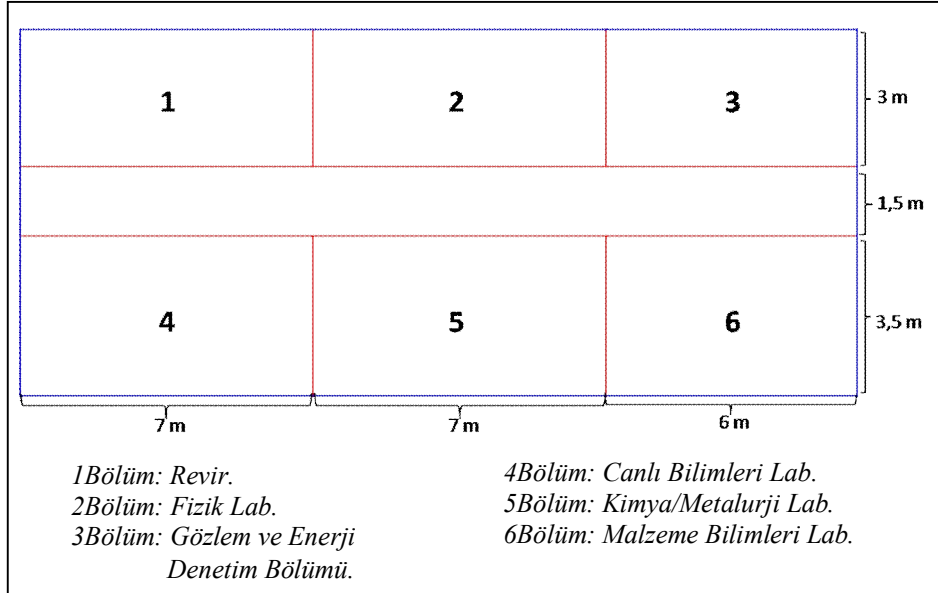
Şekil 9.9. Önerilen Mürettebat Odaları Birimi Yerleşimi.

2 inci bölüm için önerilen birim yerleşimi Şekil 9.10.'da gösterildiği gibidir. Yine ortada 1,5 m genişliğinde bir koridor bırakılmıştır. Geri dönüşüm sistemi açısından su kullanılan bölümler yan yana planlanmıştır. Mutfak bölümüne bulaşıkhanne bölümü de dâhil edilmiştir. İstendiği takdirde odaların boyları değiştirilebilecektir. Birimin bitiş duvarı bölümünde seraya geçiş için bir kapı planlanmıştır.



Şekil 9.10. Önerilen Ortak Yaşam Birimi Yerleşimi.

3 üncü bölüm için önerilen birim yerleşimi Şekil 9.11’de gösterildiği gibidir. Ortada 1,5 m’lik koridor bulunmaktadır. Gözlem ve enerji denetim bölümünde, yapılan gözlemlerin değerlendirilmesi ve Dünya’ya gönderilmesi faaliyetleri ile üs için gerekli enerjinin üretim ve kullanım faaliyetleri yürütülecektir. Ayrıca bu bölümden Dünya ve diğer uydularla iletişimin sağlanması planlanmıştır. Malzeme bilimi laboratuvarı ise yeni malzemelerin üretimi ve denemelerin yapılması ile ilgili faaliyetler için kullanılacaktır.



Şekil 9.11. Önerilen Laboratuvar Birimi Yerleşimi.

4 üncü bölüm hava kilidi olarak tasarlanmış olup önerilen birim yerleşimi Şekil 9.12’de gösterildiği gibidir. Mürettebatın araç dışı faaliyetlerde kullanacağı uzay giysileri ve malzemeler bu bölümde bulundurulacaktır. Ayrıca araç dışı faaliyet dönüşünde mürettebatın uzay giysilerine yapışan Ay tozunun temizlenmesi için gerekli temizleme sistemleri de bu birimde bulunacaktır. Çıkış bölmesi ise mürettebatın üs dışına çıkışında kullanılacak olup basınçlandırma ayarlaması diğer birimlerden bağımsız olarak yapılacaktır. Birimden basınçlı araca geçiş özel bir kapıdan sağlanacaktır. Geri dönüşüm ve CELSS merkezleri de bu birimde bulunacak olup yine bölümler arasında 1,5 m’lik bir koridor bulunacaktır.



Şekil 9.12. Önerilen Hava Kilidi Birimi Yerleşimi.

5 inci bölüm tüm birimlerin birleştiği orta bölgedir. Komuta denetim ve iletişim faaliyetleri her birime yakın olan bu bölgeden yürütülecektir.

10. AY ÜSSÜ SONRASI

Her ne kadar günümüzde uzay çalışmaları ile ilgili üzerinde çalışılan en önemli proje Ay üssü olsa da aslında bu çalışma başka dünyalar için bir ön hazırlık niteliği taşımaktadır. Ay, daha önce açıklanan dezavantajları nedeniyle Dünya dışı yaşam için aslında çok da uygun bir gökcismi değildir. Bu nedenle kurulacak Ay üssünde elde edilen tecrübeler ve teknolojinin de yeteri kadar gelişmesi ile asıl Dünya dışı yaşam çalışmaları başlayacaktır. Bu konudaki düşünceler üç başlıkta incelenebilecektir:

10.1 Ay Üssü Benzeri Kapalı Yaşam Alanları

Bu düşünce temelde Ay üssü ile aynı özelliklere sahip olup üssün, çok daha büyük nüfusu barındırabilecek kapasiteye sahip olarak inşa edilmesini gerektirmektedir. Bu seçenek Ay üssü çalışmalarında elde edilen tecrübeler nedeniyle en uygulanabilir seçenek olarak görülmektedir. Ancak tamamen kapalı bir ortamda yaşamak ve özellikle gıda ihtiyaçlarının karşılanması için kısıtlı alanlardan faydalanmak zorunda kalmak gibi nedenlerle bu tür bir yerleşim tercihinin, Dünya'nın sağladığı psikolojik ihtiyaçları karşılamasının mümkün olmayacağı düşünülmektedir.

10.2 Yaşanabilir Gezegenler

Bu düşünce ise güneş sistemi dışındaki evrenin araştırılması ve uygun şartlara sahip gezegenlerin bulunarak insanlığın yaşamının bu gezegenlerde sürdürülmesi temeline dayanmaktadır.

Eğer varsa bu gezegenler Dünya ile benzerlik gösterecektir. Dünyadaki bazı yaşam formlarının zorlu tabiat şartlarında yaşama uyum sağlayabildiğinin tespit edilmesi, başka dünyalarda yaşam olma ihtimali ile ilgili bir iyimserlik yaratmaktadır. Ekstremofil olarak tanımlanan bu tek hücreli canlılar Antarktika'nın binlerce metre altındaki buzun içinde, son derece asitli, tuzlu, kuru ortamlarda ve kaynama noktası üzerindeki sıcaklıklarda yaşayabilmektedir. Bilim insanları Dünya'da henüz hiçbir yaşama olanak tanımayan bir ortam bulabilmiş değillerdir. Organizmalar, fotosentez için gerekli enerjiyi şaşırtıcı yollarla çevrelerindeki minerallerden elde etmektedir.

Dünyadaki tüm organizmaların tek ortak özelliği ise suyu çözücü olarak kullanmalarıdır. Hatta bu özellik çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda yaşamını sürdürebilen ekstremofiller için de geçerlidir. Örneğin çok düşük sıcaklıklarda yaşayabilen kriyofiller proteini antifriz olarak kullanmakta ve bu şekilde sıvı su elde edebilmektedirler. Her ne kadar yaşam için su dışında amonyak gibi başka çözücülerin de kullanılabileceği ileri sürülse de genel inanış bir gökcismi üzerinde yaşam olması için sıvı halde su bulunması gerektiği yönündedir (Eales 2009).

Su dışında ayrıca uygarlıkların kurulabilmesi için bir gezegenin yaşama elverişli olması ile ilgili diğer faktörler ise radyasyon, basınç ve sıcaklıktır. Elektromanyetik veya nükleer tüm radyasyon çeşitleri enerji taşımakta ve moleküllere zarar vermektedirler. Bununla birlikte optik ve düşük frekanslardaki ışık ise bir gezegendeki biyosfer için enerji kaynağıdır. Yani yüksek miktarlardaki radyasyon canlıların yaşamına zarar

verirken, radyasyonun düşük miktarlarda bulunması da gerekli enerji kaynağından yoksun kalmak anlamına gelmektedir.

Basınç; bazı organizmaların ve bazı böceklerin boşlukta yaşamlarını sürdürebilmeleri nedeniyle yaşam için zorunlu olarak görülmeyebilir. Ancak boşlukta ve düşük basınçlı ortamlarda sıvı su bulunmayacağından bu ortamlarda uzun süreli yaşamın devam etmesi mümkün görünmemektedir. Sıcaklığın ise sıvı halde su bulunması için yeterli derecelerde olması gerekmektedir.

Hayatın temel bileşenleri olan su ve organik moleküller evrende yaygın olarak bulunmaktadır. Yıldızlar arası bulutların çok çeşitli organik molekül ve onlarca amino asit barındırdığı, radyo astronomlarca tespit edilmiştir. Gökteşleri ve kuyruklu yıldızlar organik malzemeleri yoğun olarak içermektedir. Ağır elementler evrende düzgün olarak dağılmış olup yıldız sistemlerinden çoğunda yaşamın ortaya çıkması için uygun şartlar sağlanmaktadır.

Gezegenlerin yaşam için gerekli olan sıvı halde su bulunması için gerekli olan basınç ve sıcaklık değerlerine sahip olabilmesi için yörüngesinde döndüğü yıldıza yeterli uzaklıkta olması ve yeterli oranda bir atmosfere sahip olması gerekmektedir.

Ayrıca genellikle yaşama elverişli özelliklere sahip gezegenler, F ve G sınıfı yıldızların etrafındaki gezegenlerdir. K ve M sınıfı yıldızlar yeterli sıcaklığı sağlayamayacak kadar soğukturlar. Bu yıldız sistemlerindeki gezegenler yıldıza fazla yakın olduklarından manyetik alanlarının çoğunu kaybederler. O ve B sınıfı yıldızlar ise çok genç ve kararsızdırlar. Gezegenlerinde yaşam ortaya çıkmadan süpernova patlaması ortaya çıkabilmektedir. A sınıfı yıldızlar ise birkaç milyon yıllık bir sürede yaşam için uygun ortamı yaratabilirler ancak bu süre gelişmiş yaşam formları için yeterli bir süre değildir (Beech 2009). Yıldızlar çeşitli şekillerde sınıflandırılabilen olup en fazla bilinen ve kullanılan sınıflandırma Harvard spektral sınıflandırmasıdır (Çizelge 10.1.) (Rekola 2009).

Sınıf	Isı (°K)	Geleneksel Renk	Görünen Renk	Kütle (Güneş Kütle)	Yarıçap (Güneş Yarıçapı)	Parlaklık (Güneş Parlaklığı)
O	30.000-60.000	Mavi	Mavi	60	15	1.400.000
B	10.000-30.000	Mavi Beyaz	Mavi Beyaz	18	7	20.000
A	7.500-10.000	Beyaz	Beyaz	3,1	2,1	80
F	6.000-7.500	Sarımtırak Beyaz	Beyaz	1,7	1,3	6
G	5.000-6.000	Sarı	Sarı	1,1	1,1	1,2
K	3.500-5.000	Portakal Rengi	Sarı Portakal	0,8	0,9	0,4
M	2.000-3.500	Kırmızı	Portakal Kırmızısı	0,3	0,4	0,04

Çizelge 10.1. Yıldızların Harvard Spektral Sınıflandırması. Güneş G Sınıfı Bir Yıldızdır. (http://tr.wikipedia.org/wiki/Yıldız_sınıflandırma web sayfasından alınmıştır (erişim: 26 Haziran 2009)).

Günümüze kadar (Mayıs 2009 itibarı ile) 347 Güneş Sistemi dışı gezegen keşfedilmiştir. Ancak sahip olunan teleskopların sınırlı kabiliyeti nedeniyle keşfedilen gezegenler genelde büyük kütleli olanlardır. Teknolojinin gelişmesiyle keşfedilen gezegenlerin sayısı özellikle daha küçük boyutlu olanların sayısında artış olacaktır. Bu amaçla tasarlanan ve fırlatılmış olan Avrupa Uzay Ajansı'nın COROT ve Darwin; NASA'nın Kepler, New Worlds Mission, Space Interferometry Mission ve Terrestrial Planet Finder ve Fransız PEGASE görevleri ile bu gezegenlerin özellikleri de daha ayrıntılı belirlenebilecektir (Extrasolar Planet).

Bununla birlikte halen çözülmesi gereken en önemli sorun olarak aradaki mesafe görülmektedir. Bugüne kadar tespit edilen gezegenlerden dünyaya en yakın olanının uzaklığı 20 ışık yılıdır. Bu nedenle bu ihtimal günümüz teknolojisi ile çok olası görünmemektedir.

10.3 Dünyalaştırma

Dünya dışı yaşam için Ay üssünden sonra en akla yatkın olasılık ise terraforming yani dünyalaştırma. Dünyalaştırma, temel olarak gezegenlerin doğrudan insan etkisiyle değiştirilebilmesini ifade etmektedir. En büyük amacı bir gezegenin uygun olmayan şartlarını Dünya'nın şartlarına benzer hale getirmek ve bu gezegenin üzerinde serbestçe dolaşabilmek ve keşfedebilmektir. Ancak bu amacın başarılabilmesi hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir ve belki de bir gezegenin sadece belirli bir kısmına uygulanabilecektir. Diğer durumlarda dünyalaştırma işleminin insanlar için değil, daha çok insanların tükettiği gıda kaynakları için yapılması da öne sürülmektedir. Güneş Sistemi'ndeki birçok buzlu ay, insanların yaşaması için hiçbir zaman uygun şartları sağlayamayacak olsa da topraksız tarım yapılabilmesi için büyük bir potansiyele sahiptir.

Günümüzden 3 milyar yıl önce Dünya da karbondioksit atmosferine sahip idi. Fotosentez yapabilen mavi yeşil alglerin faaliyetleri ile oksijenin ilk kez üretilmeye başlamasıyla Dünya'da ilk yaşam başlamıştır. Bundan sonra atmosfer devamlı değişmiş ve gelişmiş yaşam formları için uygun şartları sağlamıştır. Bugün aslında dünyalaştırma işleminde yapılması düşünülen işlemler Dünya'nın bugüne kadar geçirdiği değişimlerin doğal yollarla meydana gelmeyecek bir hızla gerçekleştirilmesini ifade etmektedir (Beech 2009).

Bir gezegeni dünyalaştırmak için yapılması gereken pek çok işlem bulunmaktadır. Bu noktada birçok bilim dalının bir araya gelmesi ve çözüme çok disiplinli bir açıdan bakılması gereği ortaya çıkmaktadır. Atmosfer, sıcaklık, topoloji, biyosfer, dengeli bir ekolojinin yaratılması için üzerinde çalışılması gereken konulardır. Gerekli bilimsel çalışmanın yanında, çok büyük miktarda finansal yatırımın da bu çalışmalara aktarılması gerektiği açıktır.

Bir gezegeni dünyalaştırmak için bu parayı kim vereceği ve sonucunda elde edilen şeyin kimin olacağı ve ortaya çıkan sonuçların herkesi tatmin edip etmeyeceği yanıt bekleyen sorulardır. Henüz yeni yeni düşünölmeye başlamış bu kavrama ilişkin soruların da yanıtları henüz netlik kazanmış değildir.

1940'lı yıllarda bilimkurgu kitaplarında görülen dünyalaştırma işlemi, 1960'lara gelindiğinde bilim insanlarınca ciddiye alınmaya başlanmıştır. Başını Carl Sagan'ın çektiği bir grup bilim insanı, dünyalaştırmak için ilk olarak Venüs gezegenini düşünmüşlerdir. Bu gezegene önce karbondioksit oranını düşürmeye yarayacak algler gönderilecektir. Bu algler sayesinde karbondioksit azalacak ve Venüs'ün sera etkisi yaratan atmosferi, yaşam için daha elverişli bir hale gelecektir. İlerleyen yıllarda yaşanan gelişmelerse Venüs'ün bu iş için çok da uygun olmadığını ortaya koymuştur. Venüs'ün atmosferi, işlemek ve dönüştürmek için fazla yoğundur. Atmosfere bırakılacak algler, Venüs'ün elverişsiz atmosferinin üst katmanlarında herhangi bir şekilde başarılı olsa bile, ortaya çıkan ürün atmosferde alçaldıkça yeniden karbondioksit dönuşecektir. Bu güçlüklerden dolayı Venüs'ün dünyalaştırılmasından vazgeçilmiştir. 1970'lerdeki yeni aday diğer komşumuz Mars gezegeni olmuştur.

Yapılan planlamaya göre önce hidrojen bombalarıyla Mars kutupları eritilecek ve bu sayede su ortaya çıkarılacaktır. Eşzamanlı olarak volkanik hareketler tetiklenip yüksek miktarda karbondioksit ortaya çıkması sağlanacak, böylece sera etkisiyle birkaç on yılda ısı artışı sağlanacaktır. Sonra mavi-yeşil alglerden ve ekstremofil (olağandışı koşullarda yaşayabilen) bakterilerden başlayarak bazı yaşam formları Mars'a gönderilerek üremeleri umulacaktır. Birkaç on yıl sonra Mars atmosferi düşük bir miktar da olsa oksijen içerecektir. Ardından yüksek bitkiler ve döllennmelerine yardım etmek amacıyla ilk hayvan türleri gönderilecek ve dünyalaştırma işlemi tamamlanmış olacaktır (Tok 2008).

Teknik açıdan bakıldığında aslında dünyalaştırma işlemi için Güneş Sistemi'ndeki en uygun gezegen Dünya ile benzer fiziksel değerlere (kütle, yarıçap, çekim kuvveti) sahip olan Venüs'tür. Mars'ın bu değerleri ise Dünya'dan oldukça farklılık göstermektedir. Her ne kadar Venüs'ü çevreleyen atmosferin yaşamı imkânsız hale getirdiği ifade edilse de yaklaşık 200 yıllık bir süreçte endüstriyel faaliyetler sonucunda Dünya'nın atmosferinin ne kadar değiştirilebildiği düşünüldüğünde, bu atmosfer şartlarının da değiştirilemez olmadığı ortaya çıkacaktır.

Gezegenlerin ortalama sıcaklıkları dünyanın sıcaklığına yakın bir noktaya geldiğinde yaşamaya uygun hale geleceklerdir. Bu da hem Mars'ın hem de Venüs'ün yüzey sıcaklıklarının 0-100 °C arasında bir değerde ve tercihen 10-15 °C arasında olmasını sağlayacak bir dünyalaştırma faaliyeti demektir. Dünya değerlerine yakın bir sıcaklık değeri ile Mars ve Venüs'te bitki ve bazı özel hayvan türleri sulu ekosferde yaşayabilecektir.

Bu noktada bu gezegenlerin atmosferlerinin değiştirilmesi konusundan sonra başka bir ihtimal daha gündeme gelmektedir. Gezegenlerin atmosferleri her ne kadar sıcaklık ortalaması Dünya ortalamasına yakın bir değere getirilecek şekilde değiştirilse de atmosferin bileşimi insanların nefes almasına imkân vermeyebilecektir. Bu durumda yapılması planlanan tüm çalışmaların gereksiz olacağı düşünülebilecektir. Ancak düşünülmesi gereken başka bir ihtimal ise atmosferin dünyalaştırılmasıyla yetişecek ürünler sayesinde insanların daha rahat yaşamasının sağlanmasıdır. 2050 yılında insanlığın yarısından fazlası şehirlerde yaşıyor olacak ve bu şehirlerin yaşamına devam edebilmesi için iki temel ihtiyacı bulunacaktır; gıda ve su.

Gelişmeler göstermektedir ki insanlar gün geçtikçe daha çok kapalı ortamlarda yaşamaya alışmaktadırlar. Günümüzde birçok büyük şehirde tüm ihtiyaçların karşılandığı ve dışarıya çıkmaya gerek kalınmayan yapılara rastlanmaktadır. Yakın bir zamanda bu yapıların Dünya’da veya Mars ve Venüs’te olması da muhtemelen çok önemli olmayacaktır. Bu anlamda yapılan ilk örnek kendi kendine yeten kubbeli kent Biosphere-2’dir (Beech 2009).

Bugüne kadar yapılmış en büyük kapalı sistem olan Biosphere-2, ABD’nin Arizona eyaletinde kurulan insan yapımı kapalı bir ekolojik sistemdir. 1991 yılında yapımı tamamlanan sistem içerisinde sembolik canlı toplulukları ile orman, çöl, okyanus vb. çeşitli tabiat alanları da bulunmaktadır. Biosphere-2 çalışmaları nihai dünyalaştırma çalışmalarının öncülüğünü yapmıştır. Bu açıdan düşünüldüğünde dünyalaştırma sonucunda insanlar için uygun şartlar sağlanmasa da uygun bitki ve hayvanların yetişebildiği bir ortamdan elde edilen kaynaklarla insanlığın yaşamı da sürdürülebilecektir (Tok 2008).

11. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle; günümüzde üzerinde yoğun olarak çalışılan ve gelecekte insanlığın kaderini belirleyecek uzay üssü kavramının öncüsü durumundaki Ay üssü ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Sonrasında ise bir Ay üssü oluşturabilmek için gerekli tüm konulardan mümkün olduğunca bahsedilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda Ay üssü için yer seçimi yapılmış, mürettebatın seçimi ve eğitimi açıklanmış, Dünya'dan Ay'a, Ay yüzeyinde ve Ay'dan uzaya ulaşım konuları ile yeni nesil ulaşım sistemlerinden bahsedilmiş, daha sonra ise enerji ve tarım faaliyetlerinde yapılması gerekenler sıralanmıştır. Daha sonra, Ay üssü yapıları ile ilgili konular daha ayrıntılı olarak ele alınmaya çalışılmıştır. Son olarak ise Ay üssü sonrasında geliştirilmesi muhtemel Dünya dışı yaşam kavramlarından kısaca bahsedilmiştir.

Bir Ay üssü mürettebatının kaç kişiden oluşacağını hesaplayabilmek için hangi ayrıntılı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Ay üssünün başlangıç dönemi için 20 kişilik bir mürettebatın uygun olacağı değerlendirilmiş ve bu sayıdaki mürettebata yönelik planlamalara yer yer değinilmiştir. Ancak mürettebat sayısının, Ay üssünün zaman içindeki gelişimine bağlı olarak kademeli olarak artacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada deneysel çalışma imkânı bulunmaması nedeniyle genel olarak kaynak araştırması yapılmış, özellikle kalıcı bir Ay üssü tasarlama ile ilgili son dönemdeki çalışmaların kapsanmasına çalışılmıştır. Bununla birlikte sadece bu çalışmalarla sınırlı kalınmayıp öncelikle mürettebat sayısı belirlenerek yapılan planlamalarda bu sayı esas alınmış ve ana binanın ve seranın tasarlanması, Dünya'dan Ay'a personel ve malzeme nakli konularında önerilerde bulunulmuştur.

İnsanlığın zaman içerisindeki gelişim sürecinde yaşanmakta olan bilgi çağına çok yakın bir zamanda sona ererek yerini uzay çağına alacağı bir gerçektir. Hatta uzay teknolojilerinin bir süredir devletlerin gelişme süreçlerini hızlandırmada, toplumların yaşam kalitesinin yükseltilmesinde ve güvenlik konusunda anahtar rol oynadığı göz önüne alındığında uzay çağına çoktan başladığı da ifade edilebilecektir. Bu doğrultuda, uzay bilimleri ve uzay teknolojileri alanındaki çalışmalar, tüm dünyada hızla artmaktadır.

Uzay konusunda öncü ülkeler konumundaki ABD ve Rusya 1950'li yıllardan beridir uzay konusunda soğuk savaşın gerektirdiği ikili bir yarış halinde iken günümüze gelindiğinde Çin, Japonya, Hindistan ve Avrupa Birliği başta olmak üzere pek çok ülke bu alanda etkin olarak rol almaya başlamıştır. Günümüzde artık iki taraflı bir yarıştan söz etmek pek de mümkün olmamaktadır. Türkiye ise her ne kadar uzay konusunda lider ülkelerden biri olmayı amaçlasa da hâlihazırda bu konuda atılmış sabit bir adım olmamasının yanında teknolojik olarak da büyük bir eksikliğe sahip bulunmaktadır. Bu bağlamda Ay üssü projesi, Türkiye için büyük bir fırsat sunmaktadır. Projenin planlama ve tasarım aşamasında olmasının yanında çok yüksek maliyeti ve mümkün olduğunca fazla teknolojik ve bilimsel katkıya olan ihtiyacı nedenleriyle ortaklığa açıktır.

Ay üssü, uzay konusundaki öncü projelerden biri durumundadır. Bu projenin gerçekleştirilebilmesi sadece Ay yüzeyine bir bina inşa etmekle sınırlı düşünülmemelidir. Bu projenin gerçekleştirilmesi, dünyadaki mevcut birçok bilimin

işbirliği içinde çalışmasını ve bu projenin paralelinde bahsedilen bilimlerin de gelişmesini sağlayacaktır. Ayrıca Ay üssü ileri dönemlerdeki uzay çalışmaları için bir temel oluşturacaktır.

Uzay çalışmaları; yalnızca yönetimin aldığı kararlar ve başlattığı girişimlerle başaramayacak kadar karmaşık bir konudur. Yönetimin kararları ve girişimleri yanında yönetimi teknolojik olarak destekleyecek bir eğitim ve sanayi altyapısı ile halkın uzayla olumlu bir şekilde ilgilenmesi gelecekte uzay konusunda Türkiye'nin başarılı olmasını sağlayacaktır. Tüm uzay faaliyetlerinde olduğu gibi Ay üssü faaliyetlerinde de yönetim, mühendislik ve halk bileşenlerinin bir arada olması, gereken gelişmeyi sağlayabilecektir.

Uzay alanındaki çalışmalar başta hükümet olmak üzere, sanayi, ticaret ve eğitim sektörlerince desteklenmelidir. Halkın daha çocukluk çağında uzaya ilgi duymalarını sağlayıcı yönde çaba gösterilmelidir. İlköğretim seviyesinden başlamak üzere, değişik düzeylerde eğitimler verilmesinin yanında; yaz okulları, televizyon programları gibi çeşitli faaliyetler düzenlenerek ve medya etkin şekilde kullanılarak halkın bilinçlendirme ve bilgilendirme seviyesi artırılmalıdır.

Türkiye'nin uzay konusunda yeterli teknolojik altyapıya ulaşabilmesi için gerekli çalışmalar aralıksız sürdürülmeli, bu amaçla hem kamu hem de özel sektörde ARGE faaliyetleri için yeterli bütçenin ayrılması amacıyla gerekli teşvik ve düzenlemeler yapılmalıdır. Belirlenecek teknoloji alanlarında üretim kabiliyeti kazanılarak dışa bağımlılığın giderilmesi ve uluslararası pazarda rekabet etme gücü elde etme doğrultusunda faaliyetlerde bulunulmalıdır. Bu kapsamda, özellikle dışarıdan tedarik edilmesinde zorluklarla karşılaşılacak teknolojilere ve milli güvenlik açısından kritik teknolojilere öncelik verilmelidir.

Uluslararası işbirliği ile yürütülen geniş kapsamlı uzay projelerine katılım sağlanmalı ve ülkemize bu alandaki kritik teknolojiler kazanılmaya çalışılmalıdır. Bu alanda toplumsal bilinci artıracak, uzay tabanlı ürün ve hizmetlerin kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlayacak; seminerler, konferanslar, fuarlar düzenlenmeli ve kulüpler oluşturulmalıdır.

Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı insan kaynağını özellikle de araştırmacıları, bilim insanlarını, mühendisleri, teknik destek uzmanlarını, yönetici ve idarecileri yetiştirmeye yönelik kurumsal yapılanma ve programlar oluşturulmalıdır. Bu amaçla ilgili eğitim kurumlarından, yurt dışı eğitim imkânları da dâhil olmak üzere, etkin olarak faydalanılmalı, yüksek lisans/doktora programları ortak altyapı projeleri ile desteklenmelidir.

Konunun yukarıda sayılan yönlerinin yanında askeri yönü de bulunmaktadır. Tarihte her zaman yenilikler askeri açıdan başarının anahtarı olmuştur. Savaşlarda deniz unsurlarının kullanılması kara unsurlarına karşı üstünlüğü, hava unsurlarının kullanılması ise ilk ikisine karşı üstünlüğü getirmiştir. Aynı şekilde uzayın imkânlarından yararlanılmaya başlanmasıyla birlikte büyük bir avantaj sağlanabilecektir. Daha önce de bahsedildiği gibi Ay üzerinde kurulacak bir üssün sağlayacağı avantajlar daha ilk insan uzaya gönderilmeden önce farkedilmiş ve ilk Ay üssünün planları 1959 yılında yapılmıştır.

Her ne kadar bugüne kadar yapılan uluslararası uzay anlaşmalarında uzayın barışçı amaçlarla kullanımı temel kabullerden biri olsa da bu anlaşmaların kesin bir bağlayıcılığının bulunmaması ve güvenlik amaçlı kullanım konusunda bağlayıcı bir kabul getirmemesi nedenleriyle uzayın sonsuza dek askeri amaçla kullanılmayacağı düşünülmemelidir. Günümüzde geliştirilen hava uzay (aerospace) kavramı ile hava savunması uzay kabiliyetleri ile birlikte ele alınmaya başlanmış, böylece uzay, geleceğin harekât ortamı ve harbin dördüncü boyutu olarak nitelendirilmiştir.

Zaten savaş gibi genel hukuk kurallarının topluca ihlâli anlamına gelen bir konuda bu anlaşmaların bağlayıcı olacağını düşünmek pek de mümkün değildir. Kesin olan bir şey ise uluslar arası anlaşmaların her zaman güçlü devletlerce yönlendirilebildiğidir.

Uzayın askeri amaçlı kullanımının en çarpıcı örneklerinden biri olan ve “Yıldız Savaşları” adıyla bilinen “Stratejik Savunma Girişimi” 1980’li yılların başında yani anılan anlaşmalar imzalandıktan daha sonra ilan edilmiştir. Bu projeye göre yörüngedeki uydulara yerleştirilecek lazerler yardımı ile düşman füzeleri yok edilebilecektir. Her ne kadar güvenlik amacıyla planlansa da böyle bir gücün istendiğinde saldırı amacıyla da kullanılabilmesi mümkündür.

Tüm bu nedenlerle güvenliğin uzay boyutu ile ilgili kabiliyetlerin mümkün olduğunca çabuk kazanılması askeri yönden ilk amaç olmalıdır. Ancak güvenlikle ilgili kabiliyetlerin kazanılması sağlanırken zaman içerisinde bu kabiliyetlerin millileştirilmesi ve dışa bağımlılığın mümkün olduğunca azaltılması ana amaç olmalıdır.

Uzayla ilgili konularda yeterli bilgi birikimine ulaşmış geleceğin komutanlarının ve mühendislerin yetiştirilmesi faaliyetlerine daha harp okulları seviyesinde başlanmalı, bu maksatla Hava Harp Okulu bünyesinde faaliyet gösteren Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü (HUTEN) ve yurtiçi eğitim kurumları etkinlikle kullanılmalıdır. Aynı zamanda nitelikli personelin yetiştirilmesi için yurtiçi ve yurtdışı eğitim kurumlarıyla işbirliği içine de girilmelidir.

Türk Silahlı Kuvvetleri her zaman Türk milleti için öncü bir rol oynamıştır. Ülkedeki birçok yeniliğin ve gelişmenin ilk adımları Türk Silahlı Kuvvetleri tarafından atılmıştır. Uzay alanında da yine öncülüğü yapacak olan Türk Silahlı Kuvvetleri ve Hava Kuvvetleri personelinin öncelikle farkındalıklarının ve bilgi seviyelerinin artırılması için bu alanda yapılacak çalışmalara her kesimden fazla ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışmanın da bu doğrultuda yararlı olması umulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akoğlu, Alp. 2006. İnsanoğlu Uzay Yolunda. Bilim ve Teknik, (458); 36-44.
- Anonim. 2006. Space Radiation Hazards and the Vision for Space Exploration Report of a Workshop Ad Hoc Committee on the Solar System Radiation Environment and NASA's Vision for Space Exploration. The National Academies Press, 7-21. Washington D.C., USA.
- Beech, M. 2009. Terraforming: The Creating of Habitable Worlds. Praxis Publishing Ltd, 7-17. New York, USA.
- Benaroya, H. and Bernold, L. 2008. Engineering Of Lunar Bases. Acta Astronautica, (62); 277-299.
- Benaroya, H. 2006. Lunar Base Design: A Paradigm For The Capstone Design Course. IEEE A&E Systems Magazine, (July 2006); 33-36.
- Cassan, F. 2008. Space Exploration. Britannica Illustrated Science Library, 80-81. China.
- Catchpole, J.E. 2008. The International Space Station Building for the Future. Praxis Publishing Ltd, 124-125. Chichester, UK.
- Cohen, M. M. 1998. Space Habitat Design Integration Issues. 28th International Conference on Environmental Systems Danvers. Massachusetts July 13-16.
- Collins, P. 2006. Space tourism: From Earth orbit to the Moon. Advances in Space Research, (37); 116-122.
- Crawford, I.A. 2004. The Scientific Case for Renewed Human Activities on the Moon. Space Policy, (20); 91-97.
- Damon, T.D. 2001. Introduction To Space The Science of Spaceflight. Krieger Publishing Company, 219-240. Florida, USA.
- Duke, M. and Rosenberg, S. and Makel, D. 2001. In-situ Electric Power Generation to Support Solar System Exploration and Colonization: Manufacture of Thin Film Silicon Solar Cells on the Moon. Aerospace Conference, IEEE Proceedings; 159-162,
- Dupasa, A. and Logsdon, J.M. 2007. Creating a productive international partnership in the Vision for Space Exploration. Space Policy, (23); 24-28.
- Eales, S. 2009. Planets and Planetary Systems. Wiley-Blackwell, 43-44. Chichester, UK.
- Elkins-Tanton, L.T. 2006. The Earth and the Moon. Chelsea House, 125-151. New York, USA.

- Goehlich, R.A. 2008. Commerce in Space: Aspects of Space Tourism, Olla P. Commerce In Space: Infrastructures, Technologies, and Applications, Information Science Reference, 293-311. New York, USA.
- Grandl, W. 2007. Lunar Base 2015 Stage 1 Preliminary Design Study. Acta Astronautica, (60); 554-560.
- Griffin, M.D. and French, J.R. 2004. Space Vehicle Design. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 322-328. Virginia, USA.
- Gruener, J.E. 2007. Lunar Outpost Site Selection: A Review of the past 20 Years. Lunar Exploration Analysis Group (LEAG) Workshop on Enabling Exploration: The Lunar Outpost and Beyond. October 1-5, 2007. Houston Texas.
- Guo, S. and Tang, Y. and Zhu, J. and Wang, X. and Yin, Y. and Feng, H. and Ai, W. and Liu, X. and Qin, L. 2008. Development of a CELSS Experimental Facility. Advances in Space Research, (41); 725-729.
- Harland, D.M. 2008. Exploring The Moon The Apollo Expeditions (Second Edition). Praxis Publishing Ltd, 329. Chichester, UK.
- Harrison, A.A. 2001. Spacefaring The Human Dimension. University of California Press, 58-79. London, England.
- Heldmann, J. L. and Moore, J. M. and Lee, P. C. and Girten, B. and McKay, C. P. 2006. Return To The Moon: Site Selection Process And Considerations For NASA's Lunar Exploration Program. 37th Annual Lunar and Planetary Science Conference. March 13-17, 2006. League City, Texas.
- http://www.russianspaceweb.com/lunar_base.html Spacecraft: Manned: Lunar Program (erişim: 3 Ocak 2009).
- http://en.wikipedia.org/wiki/Colonization_of_the_Moon Colonization of The Moon (erişim: 3 Ocak 2009).
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Luna-Glob> Luna-Glob (erişim: 22 Mayıs 2009).
- http://www.moondaily.com/reports/NASA_Mission_To_Seek_Water_Ice_On_Moon_Heads_To_Florida_For_Launch_999.html NASA Mission To Seek Water Ice On Moon Heads To Florida For Launch (erişim: 22 Mayıs 2009).
- <http://www.isro.gov.in/chandrayaan/htmls/home.htm> Chandrayaan-1 (erişim: 22 Mayıs 2009).
- http://www.moondaily.com/reports/Indian_Lunar_Orbiter_Sends_Back_Images_To_Establish_Water_Presence_On_Moon_999.html Indian Lunar Orbiter Sends Back Images To Establish Water Presence On Moon (erişim: 20 Mayıs 2009).
- http://www.nasa.gov/exploration/home/why_moon_objectives.html Lunar Exploration Objectives (erişim: 20 Ocak 2009).

http://science.nasa.gov/headlines/y2008/09oct_liquidmirror.htm Liquid Mirror Telescopes on the Moon (erişim: 9 Mayıs 2009).

http://www.lpi.usra.edu/meetings/LEA/presentations/OpeningPlenary/Cooke_exploration_lunar_architecture.pdf Exploration Lunar Architecture (erişim: 25 Mayıs 2009).

<http://www.asi.org/adb/06/09/03/02/100/12-questions.html> 12 Questions About Lunar Lava Tubes (erişim: 10 Ocak 2009).

http://www.kathryncramer.com/lunar_development/2004/11/lunar_lava_tube.html Lunar Lava Tubes (erişim: 10 Ocak 2009).

<http://derman.science.ankara.edu.tr/Uzay/UzayHastaligiVeYiyecekler.ppt> Uzay Hastalığı ve Yiyecekler (erişim: 30 Mart 2009).

<http://www.pbs.org/spacestation/station/training.htm> Astronaut Training (erişim: 12 Haziran 2009).

<http://www.inspect-ny.com/hazmat/CO2gashaz.htm> Toxicity of Carbon Dioxide Gas Exposure (erişim: 9 Haziran 2009).

http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide_poisoning Carbon Monoxide Poisoning (erişim: 9 Haziran 2009).

<http://www.universetoday.com/2008/03/22/building-a-base-on-the-moon-part-4-infrastructure-and-transportation/> Building a Base on the Moon (erişim 03 Ocak 2009).

<http://gunespilinedir.com/gunes-enerjisi> Güneş Enerjisi (erişim: 12 Mart 2009).

<http://www.alternaturk.org/gunes.php> Güneş Enerjisi/ Gün Isısı (erişim: 12 Mart 2009).

<http://www.alternaturk.org/yakitpili.php> Yakıt Pili Teknolojisi (erişim: 12 Mart 2009).

<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/etkinlikler/hidromobil/FC-EgitimHidromobil2.pdf> Yakıt Pili ve Güç Koşullandırma (erişim: 13 Mart 2009).

http://www.moondaily.com/reports/Moon_Dust_Hazard_Influenced_By_Solar_Elevation_999.html Moon Dust Hazard Influenced By Solar Elevation (erişim: 3 Mayıs 2009).

http://www.space-travel.com/reports/More_Star_Trek_Than_Snuggie_999.html More Star Trek Than Snuggie (erişim: 1 Haziran 2009).

http://en.wikipedia.org/wiki/Life_support_system Life Support System (erişim: 12 Nisan 2009).

http://science.ksc.nasa.gov/shuttle/technology/sts-newsref/sts_eclss.html Environmental Control and Life Support System (erişim: 12 Nisan 2009).

- <http://www.news.com.au/dailytelegraph/story/0,22049,25517921-5013605,00.html> Space Shuttle Astronauts Declare Recycled Urine a Great Taste (erişim: 24 Mayıs 2009).
- <http://www.universetoday.com/2008/05/16/ultimate-recycling-on-the-iss-urine-to-water/> Ultimate Recycling on the ISS: Urine to Water (erişim: 24 Mayıs 2009).
- http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet Extrasolar Planet (erişim: 03 Haziran 2009).
- Johnson, S.W. and Leonard, R.S. 1984. Evolution of Concepts for Lunar Bases. Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century Symposium. October 29-31, 47-56. Washington, D.C.
- Kanas, N. and Manzey, D. 2008. Space Psychology and Psychiatry. Microcosm Press, 89-125. El Segundo, California, USA.
- Kitaya, Y. and Hirai, H. and Wei, X. and Islam, A.F.M.S. and Yamamoto, M. 2008. Growth Of Sweetpotato Cultured in The Newly Designed Hydroponic System For Space Farming. Advances in Space Research, (41); 730-735.
- Koelle, H.H. 2000. A Habitat Concept for the MOONBASE-2015. ILR Mitt. 343 (2000).
- Koelle, H.H. 2002. The Moon Challenges Humans To Return And Discover Its Secrets:- A Road Map For The Aquisition of The First Lunar Base. ILR Mitt. 357.
- Liu, H. and Yu, C.Y. and Manukovsky, N.S. and Kovalev, V.S. and Gurevich, Y. L. and Wang, J. 2008. A Conceptual Configuration Of The Lunar Base Bioregenerative Life Support System Including Soil-Like Substrate For Growing Plants. Advances in Space Research, (42); 1080-1088.
- Mark, H. 2003. Encyclopedia Of Space Science And Technology Vol 2. John Wiley & Sons, Inc, 127. New Jersey, USA.
- Nelson, P.E. 2008. Space Elevator: Generating Interest in the Future of Space Access. Olla, P. Commerce In Space: Infrastructures, Technologies, and Applications. Information Science Reference, 312-331. New York, USA.
- Öztürk, H. ve Sözüdoğru, S. 2007. Topraksız Tarım. Bilim ve Teknik, (473); 100-101.
- Pelt, M.V. 2009. Space Tethers and Space Elevators. Praxis Publishing Ltd, 146. New York, USA.
- Pham, T. T. and El-Genk, M. S. 2009. Dose Estimates In A Lunar Shelter With Regolith Shielding. Acta Astronautica, (64); 697-713.

- Qin, L. and Guo, S. and Ai, W. and Tang, Y. 2008. Selection Of Candidate Salad Vegetables For Controlled Ecological Life Support System. *Advances in Space Research*, (41); 768-772.
- Rekola, R.T.F. 2009. Life and Habitable Zones in the Universe. *Planetary and Space Science*, (57); 430-433.
- Ruess, F. and Schaenzlin, J. and Benaroya, H. 2006. Structural Design of a Lunar Habitat. *Journal Of Aerospace Engineering*, (July 2006); 133-157.
- Schrunk, D.G. and Sharpe, B.L. and Cooper, B.L. and Thangavelu M. 2008. The Moon Resources, Future Development, and Settlement. Praxis Publishing Ltd, 97-129. Chichester, UK.
- Schrunk, D.G. 2008. The Role of a Future Moonbase. Harland, D.M. and Harvey, B. 2008. *Space Exploration 2008*. Praxis Publishing Ltd, 128-138. Chichester, UK.
- Seedhouse, E. 2008. *Tourists in Space A Practical Guide*. Praxis Publishing Ltd, 1-19. Chichester, UK.
- Seedhouse, E. 2008. The Future of Space Tourism. Harland, D.M. and Harvey B. 2008. *Space Exploration 2008*. Praxis Publishing Ltd, 36-47. Chichester, UK.
- Seedhouse, E. 2009. Lunar Outpost The Challenges of Establishing a Human Settlement on the Moon. Praxis Publishing Ltd, 121-180. Chichester, UK.
- Sharma, T. and Chatwin, C. and Long, C. and Young, R. and Birch, P. 2008. Alternative Space Vehicle Launch Systems. AIAA SPACE 2008 Conference & Exposition. 09 Sept - 11 Sept 2008. San Diego, California.
- Stahl, H.P. and Sumrall, P. and Hopkins, R. 2009. Ares V Launch Vehicle: An Enabling Capability For Future Space Science Missions. *Acta Astronautica*, (64); 1032-1040.
- Swan, C.W. and Swan, P.A. 2006. Why We Need A Space Elevator? *Space Policy*, (22); 86-91.
- Swinerd, G. 2008. *How Spacecraft Fly?* Copernicus Books, 203-205. New York, USA.
- Şener, H.T. ve Aras, S. 2009. Uzay Yelkenlileri. *Bilim ve Teknik*, (495); 38-41.
- Şener, T. ve Derman, E. 2007. Ay'da Yapılacak Çok İş Var Çoooooookkk. *Bilim ve Teknik*, (474); 50-53.
- Tok, G. 2008. Uzayda Yaşam. *Bilim ve Teknik*, (485); 22-25.
- Toklu, Y.C. 2000. Civil Engineering in the Design and Construction of a Lunar Base. *SPACE 2000. 7th ASCE Congress on Engineering, Construction, Operations*

- and Business in Space, Proceedings. 27 March - 2 March 2000. Albuquerque, USA.
- Toklu, Y.C. 2001. Uzay Yapılarında Yerel Malzeme Kullanımı. TIAD 2001 - Uzay Sempozyumu. 30-31 Mayıs 2001. Ankara.
- Toklu, Y.C. 2005. Optimum Lunar and Martian Structures and Their Construction. Recent Advances in Space Technologies.
- Toklu, Y.C. 2004. Considerations on the Design of Space Structures-Active Design and Inclusion of Nonlinear Effects. Earth and Space 2004, 9th ASCE Aerospace Division International Conference. March 7-10 2004. Houston, Texas, USA.
- Toklu, Y.C. and Järvinen N. 2004. Design and Construction for Self-sufficiency in a Lunar Colony. International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics.
- Toklu, Y.C. and Järvinen, N. 2003. Design And Construction Of A Self Sustainable Lunar Colony With in-Situ Resource Utilisation. CE: The Vision for Future Generation in Research and Applications, J. Cha et al.(eds), Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 622 X, pp. 623-628.
- Topçu, İ.B. ve Bilir, T. 2006. Ayda Beton Dökülebilir Mi? Bilim ve Teknik, (468); 62-63.
- Turner, M.J.L. 2009. Rocket and Spacecraft Propulsion Principles, Practice and New Developments (Third Edition). Praxis Publishing Ltd, 329-342. Chichester, UK.
- Vulpatti, G. and Johnson, L. and Matloff, G.L. 2008. Solar Sails A Novel Approach to Interplanetary Travel. Praxis Publishing Ltd, 138. New York, USA.
- Wilcox, B.H. 2008. ATHLETE: An Option for Mobile Lunar Landers. 2008 IEEE Aerospace Conference.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Adana'nın Kozan ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana'da lise eğitimini ise Bursa Işıklar Askeri Lisesi'nde tamamlayarak 1993 yılında Hava Harp Okulu'na girdi ve Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlayarak 30 Ağustos 1997 yılında Teğmen rütbesi ile mezun oldu. 1999 yılında Hv.Snf.Ok. ve Tek.Eğt.Mrk.K.lığı'nda personel sınıf eğitimini tamamlayarak 2 nci Hv.Kont.Grp.K.lığı Diyarbakır'a Per.Ş.Md. olarak atandı. 1999 yılı atamalarında 8 nci Ana Jet Üs K.lığı Per. Ş. Md.lüğü Diyarbakır'a Huk. İşl. ve Per. Sef. Sb. olarak atandı. 2003 yılı atamalarıyla HHO Öğc.A.K.lığı ERDGE Ş. Md.lüğüne Koor. Ks. A. olarak atandı. 2006-2007 yılları arasında HHO Per. Ş. Md.lüğünde Per. Ş. Md. Olarak 1 yıl görev yaptıktan sonra 2007 yılı atamalarında HHO HUTEN Md.lüğü İstanbul'a yüksek lisans eğitimi amacıyla atandı. 2007-2009 yılları arasında Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda eğitimini tamamladı. 2009 yılı atamalarında Hv.K.K.lığı Per.Bşk.lığı Per.Pl. Yön. D. Bşk.lığı Ynt. Ş. Md.lüğüne Mali Konular Proje Subayı olarak atandı.

Evli, bir erkek bir kız çocuk babası ve İngilizce bilmektedir.