

Dünya Dışı Ortamların Mikrobiyal Yaşanabilirlik Ve Canlılık Açısından
Değerlendirilmesi

Betül Buluç

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyoloji Anabilim Dalı

Haziran 2011

Evaluation Of Microbial Survival And Vitality In Extraterrestrial Environments

Betül Buluç

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Biology

June 2011

Dünya Dışı Ortamların Mikrobiyal Yaşanabilirlik Ve Canlılık Açısından
Değerlendirilmesi

Betül Buluç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Biyoloji Anabilim Dalı
Genel Biyoloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YAMAÇ

Haziran 2011

ONAY

Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Betül BULUÇ'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Dünya Dışı Ortamların Mikrobiyal Yaşanabilirlik ve Canlılık Açısından Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Mustafa YAMAÇ

İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Metin ALTAN

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Mustafa YAMAÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ALTAN

Üye : Doç. Dr. Semra İLHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk CANBEK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Buket KUNDUHOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Dünyasal mikrobiyolojik yaşamın, uzay ortamında oluşarak evrimleşebileceği bölgeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri ekseninde incelenmiştir. Ayrıca, bu bölgelerde yaşamlarını sürdürebileceği düşünülen mikroorganizmalar irdelenmiş ve uzay çalışmalarından elde edilen verilerle birlikte, evrende Dünya-dışında Dünyasal mikrobiyal yaşamın bulunabilme koşulları sorgulanmıştır.

Çalışma kapsamında, yıldızlararası ortamdaki organik moleküllerin, gezegen oluşumları ve gezegensel yaşam için önemleri tartışılmıştır. Tezin en önemli hedefi, yıldızlararası ortamda ve diğer gezegenlerde, Dünyasal mikrobiyolojik bir oluşumun meydana gelebilme koşullarının incelenmesi ve Dünyasal mikroorganizmaların uzay ortamında yaşayabilirliklerinin sorgulanmasıdır. Ayrıca bu tartışma ve incelemelerin, konu ile ilgili gerçekleştirilen bilimsel araştırmaların sonuçları ile ilişkilendirilmesi, tez çalışmasının öncelikli amaçlarından birini oluşturmaktadır.

Yıldızsal döngüler ile zenginleştirilen yıldızlararası ortamda yüzlerce organik molekül bulunmasına rağmen, şimdiye kadar yapılan araştırmalarda biyolojik makromoleküllere rastlanamamıştır. Yıldızlararası ortamın yıldızlar tarafından devamlı yüksek radyasyona maruz kalması, moleküler bulutların organik moleküllerinin birbirleriyle reaksiyona girmesine imkan vermeyecek oranda çok geniş alana yayılmış olması nedeniyle uzayda bu karmaşık organik moleküllerin daha karmaşık bir mikrobiyolojik oluşumu meydana getiremeyeceği öngörülmüştür. Ek olarak, diğer gezegenlerde de Dünyasal mikrobiyal oluşuma dair veriler bulunmamaktadır. Uzayda mikrobiyal yaşamın aranmasına yönelik yapılan araştırmalarda, mikroorganizmaların uzayda uzun süre yaşamlarını sürdüremeyecekleri saptanmıştır. Dünyasal ekstremofiller göz önünde bulundurulduğunda, Dünyasal yaşamın Dünya'ya özgü olarak evrimleştiği, bu organizmaların da uzay ortamında yaşayamayacakları savunulmuştur.

Sonuç olarak, Dünyasal mikrobiyal yaşamın nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda, bu organizmalar için, uzay ortamının veya diğer gezegenlerin habitat olamayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gezegensel organikler, Uzayda yaşanabilir bölgeler, Ekstremofiller

SUMMARY

In this study, the space environments where microbial terrestrial life could form and evolve in, were examined with the axis of the physical and chemical properties. In addition, microorganisms that are thought to sustain their lives within these regions were investigated and the conditions for terrestrial microbial life in extraterrestrial environments were questioned with the data obtained from space researches.

Within the content of this study, organic molecules in the interstellar medium and their importance for planet formation and planetary life were discussed. The most important objective of the thesis is to investigate terrestrial microbiological formation in the interstellar medium and the other planets conditions and examine the survival of microorganisms in the space environments. Furthermore, to associate with this discussions and investigations with the results of scientific research conduct on the subject, is one of the primary purposes of the study.

Even though there are hundreds of organic molecules in the interstellar medium that has been enriched with stellar cycles, biological macromolecules hadn't been found. In order that interstellar medium is exposed to continuously high radiation by the stars and molecular clouds, which are over an area of very large extent, does not allow to enter the organic molecules react with each other, it is envisioned that more complex organic molecules in space can't make up a complex microbiological systems. In addition, there are no data about the terrestrial microbial formation on other planets. The researches for studying biological responses to extraterrestrial conditions has reported that the microorganisms can not survive a long time in space conditions. Considering terrestrial extremophiles, the argument that terrestrial life might be a local planetary phenomenon and these organisms can't adapt to and thrive in the space environment is defended.

As a result, considering the qualities of terrestrial microbial life, the space environment or other planets can not be determined as a habitat for these organisms.

Keywords: Planetary organics, Habitable zones, Extremophiles

TEŞEKKÜR

Bu tezin tamamlanmasında benden yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi birikimini, tecrübesini ve değerli zamanını paylaşan, özellikle bu konuda çalışmam için bana fırsat veren değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa YAMAÇ'a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Lisans başlangıcımın ilk yılında güzel bir tesadüfle tanıştığım, astronomi bilimine olan gönülden sevgimi akademik olarak verimli şekilde değerlendirmemde önümü açan, bu konuda bilgi birikiminin artmasını sağlayan, hayallerimi gerçekleştirmede attığım adımlarda her zaman destek veren, tez konumun belirlenmesinde büyük yardımı olan ikinci danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Metin ALTAN'a sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezim hakkında önemli, samimi ve güzel eleştirilerde bulunan, çalışmamın son aşamalarında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan Sayın Yard. Doç. Dr. Selçuk CANBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Benim için çok özel bir önemi olan, güler yüzlülüğünü hiç eksik etmeyen, her zaman yaptığım işlerde bana gönülden teşvik veren Sayın Yard. Doç. Dr. Derya PEKER'e,

Değerli manevi yardımları, önerileri ve dostlukları için sevgili arkadaşlarıma,

Tüm yaşamım boyunca bana güvenen, destekleyen, teşvik eden, fırsatlar sunan, her konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, yüksek lisans süreci dahil tüm öğrenim hayatım boyunca hayatımı kolaylaştıran sevgili babama, anneme ve kardeşime en içten dileklerle teşekkür ederim.

Betül BULUÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. YILDIZLARIN OLUŞUMU VE ELEMENTLERİN SENTEZLENMESİ	4
2.1. Gözlemsel Düşünceler	5
2.2. Pop III Nesne Oluşumu: İlk Yıldızlar.....	6
2.3. Pop III Nesne Evrimi: İlk Metaller ve Toz.....	6
2.4. Pop I ve II Yıldızları	7
2.4.1. Pop I ve II yıldızları: YAO ile bağlantısı	7
2.4.2. Pop I ve II yıldızları: Oluşum.....	8
2.5. Elementel Karbondan Karmaşık Makromoleküllere Geçiş.....	9
2.5.1. Karbon Nükleosentezi: Nükleer Kimyasal Bakış Açılıarı	10
3. YILDIZLARARASI ORTAMDAKİ ORGANİK MOLEKÜLLER	13
3.1. Yıldızlararası Bulutlarda Organik Kimya.....	14
3.1.1. Dağınık Bulutlar	14
3.1.2. Karanlık Bulutlar.....	15
3.1.3. Sıcak Moleküler Çekirdekler	16
3.2. Yıldızsal Zarflarda Organik Kimya	16
3.3. Yıldızlararası Ortamdan İlkel-yıldızsal Çevrelere Geçiş.....	17
4. İLKELE GEZEĞEN OLUŞUM DİSKİ KİMYASI.....	19
4.1. Yıldız Oluşumu İle İlkel Gezegen Oluşum Diski İlişkisi.....	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.1. Moleküler Bulutlar	20
4.1.2. Yıldızlararası materyalin sürdürülebilirliği ve yıkımı.....	20
4.2. İlkel-solar Bulutsunun Evrimi Ve Yapısı	20
4.2.1. Bulutsunun zaman çizelgesi	20
4.3. İlkel Gezegen Oluşum Disklerin Kimyası.....	21
4.3.1. Disklerdeki moleküllerin gözlemleri.....	21
4.4. İlkel Güneş Sistemi Maddesi	22
4.4.1. Kuyruklu yıldızsal organik moleküller	22
4.4.2. Meteoritik madde	23
4.5. Gezegen Oluşumu.....	23
4.5.1. Güneş Sistemi oluşumu	24
4.5.2. Ötegezegenler	26
5. GEZEGENSEL ORGANİK MOLEKÜLLER	27
5.1. Güneş Sistemi Gezegenlerinin Atmosferlerindeki Organik Moleküller	27
5.1.1. Bazı temel kavramlar	27
5.1.2. Venüs.....	29
5.1.3. Dünya üzerinde yaşamı saptamak	30
5.1.4. Mars.....	31
5.1.5. Dev gezegenler	33
5.1.6. Titan	34
5.1.7. Plüton ve Triton.....	38
5.2. Gezegenel Yüzeylerde Saptanan Organik Moleküller.....	38
5.2.1. Gözlemsel veriler	40
5.2.2. Laboratuvar çalışmaları.....	40
5.2.3. Meteoritler	42
5.2.3.1. <u>Meteoritlerdeki aminoasitler</u>	44
5.2.3.2. <u>Meteoritlerdeki diğer karboksilik asitler</u>	46
5.2.3.3. <u>Meteoritlerde sülfonik ve fosfonik asitler</u>	47

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.3.4. <u>Meteoritlerde hidrokarbonlar</u>	47
5.2.3.5. <u>Meteoritlerde azot heterosikler</u>	47
5.2.3.6. <u>Meteoritlerde alkoller ve karbonil bileşikler</u>	48
5.2.4. Asteroitler	49
5.2.5. Kuyruklu yıldızlar	49
5.2.6. Jüpiter Sistemi	53
5.2.7. Satürn Sistemi	53
5.2.7.1. <u>Titan</u>	54
5.2.8. Uranüs Sistemi	57
5.2.9. Plüton-Charon ve Triton.....	57
6. ERKEN DÜNYA'DA YAŞAM.....	58
6.1. Dünya'nın Oluşumu Ve Suyun Kökeni	58
6.2. Prebiyotik Dünya'nın Tarihlemesi	59
6.2.1. Prebiyotik atmosferin bileşimine dair görüşler	59
6.2.2. Erken Dünya'nın sıcaklığı.....	60
6.3. Dünya'da Erken Yaşam	60
6.4. Erken Çevresel Habitatlar	61
6.5. Erken Yaşam.....	64
6.5.1. Isua/Akilia yeşiltaş kuşakları	65
6.5.2. Barberton ve Pilbara yeşiltaş kuşakları	65
6.6. Erken Arkeyan Yaşama Dair Sonuçlar	68
7. EKSTREMOFİLLER	69
7.1. En "İlkel" Yaşam Şekillerini Aramak	69
7.2. Daha Basit Mutlaka Daha Yaşlı Değildir	69
7.3. Hipertermofiller Ve Yaşamın Sıcak Bir Kökeni Hipotezi.....	70
7.4. Ekstremofiller Hakkında Bazı Kavramlar	70
7.4.1. Ekstremofil nedir.....	71

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.5. Ekstrem Çevreler Ve Üzerlerinde Yaşayanlar.....	73
7.5.1. Ekstremofiller ve Ekstremotolerantlar	73
7.5.2. Ekstrem koşullara en iyi uyum gösteren filogenetik gruplar	75
7.5.3. Dirençlilik şekilleri ve uzun ömürlülük	76
7.6. Ekstremofiller ve Ekzobioloji.....	77
7.6.1. Sıcaklık ekstremleri.....	77
7.6.1.1. <u>Hipertermofiller</u>	78
7.6.1.2. <u>Psikrofiller</u>	78
7.6.2. Halofiller ve evaporitler	80
7.6.3. Derin biyosfer.....	80
7.6.4. Yaşam için pH sınırları; Asidofiller ve alkalofiller.....	81
7.6.5. Basınç	82
7.6.6. Radyasyon	83
7.6.7. Düşük besin mevcudiyeti ve kimyasal ekstremler	83
7.6.8. Düşük su mevcudiyeti	84
8. UZAYDA YAŞAM	85
8.1. Uzayda Mikrobiyolojik Deneyler	85
8.1.1. Kısa-zamanlı maruz kalma deneyi: BIOPAN	88
8.1.2. Uzun-zamanlı maruz kalma deneyi: EXPOSE	89
8.1.3. Yerde-konuşlandırılmış benzetim deneyleri	90
8.1.4. Mars koşullarına benzetim	90
8.1.5. Uzay koşullarına benzetim.....	93
8.1.6. Litopanspermia kavramını sınamak için deneysel teknikler.....	94
8.2. Mikroorganizmaların Yaşayabilirliğine Dair Sonuçların Analizi... ..	96
8.3. Farklı Yaklaşım Ve Çalışmalar	97
8.4. Yaşanabilir Bölge Ve Yaşamın Evrene Dağılımı	98
8.4.1. Yıldızsal sistemlerde yaşanabilir bölgeler	98
8.4.2. Galaktik yaşanabilir bölge.....	101

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
8.4.3. Gezegenler ve gezegensel habitatlar	103
8.4.3.1. <u>Yüzeyde yaşam</u>	105
8.4.3.2. <u>Yüzey altında yaşam</u>	106
8.4.3.3. <u>Atmosferde yaşam</u>	109
9. SONUÇLAR.....	110
10. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Elementlerin kozmik bollukları	10
3.1. Samanyolu'nda dev bir moleküler bulutun, karbon monoksitten alınan emisyonla yapılmış haritası	16
4.1. Orion Bulutsusu içindeki ilkel gezegen oluşum diskleri	19
4.2. Yıldızsal bulutsu ve yıldız oluşumunun dört aşaması	25
4.3. Erken Güneş Sistemi yığılma aşamasının taslağı	25
5.1. Mars atmosferinde hidrokarbon kimyanın önemli yol izleri	32
5.2. Titan'ın üst atmosferinde tolin oluşumu	37
5.3. Murchison karbonlu kondriti	43
5.4. İki CL (Orgueil, Ivuna) ve iki CM (Murchison, Murray) karbonlu kondritlerinde glisinle ilişkili olarak dört aminoasidin derişimleri.....	46
5.5. Karbonil bileşikleri, hidrojen siyanit ve amonyaktan α -amino ve α -hidroksiasitlerin oluşumu için Strecker-siyanohidrin sentetik yol izi	48
5.6. Kuyruklyıldızsal moleküllerden prebiyotik sentez	51
5.7. Titan Kuzey Kutbu bölgesindeki göl olduğu düşünülen onlarca koyu özellikteki yerler.....	55
5.8. Kanal ağları, dağlık bölge ve koyu-parlak ara yüzeylerin Huygens aracı DISR ile 6.5 km yükseklikten görüntüleri.....	55
6.1. Şerit halindeki demir oluşumları.....	63
6.2. Erken Arkeyan arazilerinin konumları	64
6.3. Isua şeritli demir oluşumlarındaki bakteriomorflar ve mikroorganizmalar	66
6.4. Pilbara ve Barberton'da Erken Arkeyan oluşumlarından filamentler	67
6.5. Atlin, BC. yakınlarında bir sulak alandan mikrobiyal yığın fotoğrafı.....	68
7.1. Büyüme sıcaklıklarına göre organizmaların sınıflandırılması.....	71
7.2. Alçıtaşında yaşayan endolitik komünite	76
7.3. Halofilik Archaea'nın aşırı tuzlu ortamları.....	80
7.4. Derin yüzey altı mağarası	81
7.5. Rio Tinto, İspanya.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.1. BIOPAN modülünün kapağının iç tarafı	88
8.2. Open Üniversitesi'ndeki tasarlanmış Mars kabini.....	91
8.3. Bir yıldızın yaşanabilir bölgesi	99
8.4. Merkezi yıldızların farklı kütleleri için yaşanabilir bölge konumları.....	101
8.5. Venüs'ün görüntüleri	104
8.6. Mars üzerinde kanal oluşumları.....	105
8.7. Sırasıyla; Satürn'ün uyduları Enceladus ve Iapetus, Neptün'ün uydusu Triton...	107
8.8. Jüpiter'in uyduları ve yüzey fotoğrafları; sırasıyla Europa, Ganymede ve Callisto	107
8.9. Dört Galilean uydusunun olası iç yapıları	108
8.10. Jüpiter'in uydusu Io	108
8.11. Cassini uzay aracından alınan Titan resimleri	109

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
3.1. Yıldızlararası çevrelerde gözlenen moleküller	14
3.2. Çeşitli moleküler bulut tiplerinin moleküler bollukları	15
4.1. İlkel gezegen oluşum disklerin moleküler gözlemleri	22
5.1. Gezegenlerin atmosferlerinde en bol bulunan üç grup	28
5.2. Dev gezegenlerin atmosferlerindeki organik moleküller.....	34
5.3. Titan'ın atmosferinin bileşimi	36
5.4. Karbonlu kondritlerde organik bileşikler.....	44
5.5. Kuyruklu yıldızlarda gözlenen moleküller, radikaller, iyonlar ve atomlar ile birlikte saptanma yolları	50
5.6. Halley kuyruklu yıldızındaki gaz ve toz partiküllerinin kütle spektroskopisiyle tanımlanmış organik molekülleri.....	52
5.7. Dış Güneş Sistemi'nde gözlenen yüzey bileşikleri.....	54
7.1. Çeşitli metanojenik arkeler tarafından metana dönüştürülen substratlar.....	72
7.2. Besinsel Ekstremofiller	72
7.3. Ekstremofil örnekleri ve çevreleri ile sınıflandırma	74
7.4. Hipertermofillerde kemoototforik metabolizmalar.....	79
8.1. Gezegenlerarası uzay ve ADY çevrelerinin karakteristik özellikleri	86
8.2. ADY ile ilişkili mikrobiyolojik maruz kalma deneyleri örnekleri	87
8.3. ADY ve benzetim koşullarında araştırılan komünite örnekleri	91
8.4. ADY ve benzetim ortamlarında araştırılan saf kültür örnekleri	92
8.5. Hidrojen-yakan yıldızların başlıca yedi spektral sınıfı ve özellikleri.....	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
z	Kırmızıya kayma
M_{\odot}	Güneş kütlesi
SN	Süpernova
pc	Parsek ($3,085 \times 10^{13}$ km)
kpc	Kiloparsek ($3,085 \times 10^{22}$ m)
GY	Gigayıl (1 milyar yıl)
K	Kelvin
Å	Angström (10^{-10} m)
AB	Astronomik birim (149,6 milyon km)
e^{+}	Pozitron
ν	Nötron
γ	Gama quantası

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ESO	Avrupa Güney Gözlemevi
WMAP	Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Aracı
YAO	Yıldızlararası Ortam
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
SMÇ	Sıcak Moleküler Çekirdek
CSE	Yıldız Çevresi Zarfı
GTP	Gezegenlerarası Toz Partikülleri
SMA	Milimetre Altı Dizgesi
ALMA	Atacama Büyük Milimetre Dizgesi
PP	Proton-proton aşaması

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
CNO	Karbon-Azot-Oksijen Döngüsü
ADK	Asimptotik Dev Kolu yıldızları
IRIS	Kızılaltı Girişimölçer Spektrometre ve Radyometre
ISO	Kızılaltı Uzay Gözlemevi
NIMS	Yakın Kızılaltı Haritalama Spektrometresi
VIMS	Görsel ve Kızılötesi Haritalama Spektrometresi
GC-MS	Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi
BIF	Şeritli Demir Oluşumları
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	Enerji Saçınımlı X-ışınları Spektrometresi
LUCA	En Son Evrensel Ortak Ata
UUİ	Uluslararası Uzay İstasyonu
ADY	Alçak Dünya Yörüngesi
MBK	Mars Benzetim Koşulları
GYB	Galaktik Yaşanabilir Bölge
AIB	α -aminoisobütirik asit
ABA	α -amino- <i>n</i> -bütirik asit
BALA	β -alanin
DISR	Alçalma Görüntüleyicisi Spektral Radyometresi
SSP	Huygens Yüzey Bilimi Yazılımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Evrende yalnız olup olmadığımız sorusu, insanlık tarihi boyunca cevabı aranan bir sorudur. Günümüzde de bu sorunun cevabını henüz bilmiyoruz. Dünyasal mikrobiyal yaşamın, uzayda oluşması ve varlığını uzay koşullarında sürdürebilmesi konusundaki ısrarlı araştırmalar, Dünyasal daha gelişmiş canlıların veya Dünyasal organizmalardan farklı yapılara sahip olası canlıların, evrende var olabilmesi sorusunun yanıtının ortaya koyulmasını sağlayacaktır.

Dünya üzerindeki yaşamın kökeni ile ilgili en geçerli görüş, evrenin kökeni ve evrimi ile bağlantılıdır. Yaşama öncülük eden kimyasal reaksiyonların aşamalarının tutarlı bir resmini yapmak için, çok erken evrenin evrimini anlamak zorundayız. Özellikle, yıldız içlerindeki kütle kayıpları ve patlamalar sırasındaki ilk biyojenik elementlerin oluşumunu tanımlayabilmemiz gereklidir. Yakın zamanlı gözlemler, deneyler ve uzay görevleri, evrenin yaklaşık olarak 13,7 milyar yıllık zaman tablosunu oluşturmaya çalışmaktadır. Ortamdaki gazı iyonize edebilen evrendeki ilk nesnelere, Büyük Patlama'dan yaklaşık 200 milyon yıl sonra oluştuğu düşünülmektedir (Spaans and Silk, 2000). Ortamın elementsel bileşiminin, yoğunlaşmış ilkin hidrojen ve helyumdan oluşan en erken yıldızlar ve galaksiler ile zenginleştirildiğine inanılmaktadır. İlkel yıldız oluşumuna dair yapılan son çalışmalar, Güneş gibi, sonraki nesil yıldızların, ağır elementler bakımından, ilkel yıldızlardan daha zengin olduğunu göstermiştir (Abel, et al., 2000).

Yapılan kuramsal ve gözlemsel analiz çalışmaları ışığında oluşturulan bir çok modele göre, yıldızlararası ortamda ve yıldızların çevrelerinde, ağır elementler karışır ve karmaşık moleküller ve toz oluşur. Bu moleküller ve toz, içerisinde buldukları kimyasal ve fiziksel şartlara bağlı olarak, sürekli değişim geçirir. Bu evrim süreci kapsamında, yıldızlararası bulutlardaki toz ve gazın bir araya toplanmasıyla, yeni nesil yıldızlar ve gezegenler ortaya çıkar (MacLow and Klessen, 2003). İlkel gezegen oluşum diskleri ile Güneş Sistemi ötesindeki dev gezegenlerin oluşma aşamalarını tanımlamayı hedefleyen güncel araştırmalar göstermiştir ki, bu disklerin bazı bölgeleri, hızlı bir biçimde gezegenleri meydana getirmektedir ve diğer gezegenleri oluşturmak

için çarpışan küçük cisimleri oluşturmaktadır (Dutrey, et al., 2000). Bu nedenle, erken Dünya üzerindeki yaşamın ilk yapıtaşlarını üreten organik maddenin, atmosferde veya yüzeyde, hem dış, hem de iç kaynaklı etkileşimler sonucu üretildiği düşünülebilir. Bu varsayım diğer gezegenler için de sözkonusudur. Bu bağlamda, sözkonusu cisimlerin atmosferlerindeki ve yüzeylerindeki kimyasal bileşimin bilinmesi gereklidir. Yaşamı barındıran bir gezegen olarak “**Dünya**” model alındığında, Dünya’nın ve dolayısıyla Güneş Sistemi’nin galaksideki yeri de önemlidir. Yaşanabilir bölge tanımlamasına şablon oluşturabilecek bu özellikler, Dünyasal yaşamın bulunabileceği konumsal ve fiziksel özelliklere sahip bölgelerin aranmasında, incelenmesi gereken neredeyse sonsuz büyüklükteki hacmi, önemli ölçüde daraltacaktır.

Bu aşamada göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta, erken Dünya ve şimdiki Dünya üzerinde, uzay ortamı ile ilişkilendirilebilecek ekolojik değişirgelerin bulunması ve Dünya üzerindeki bu ortamlarda, halen yaşamın barınabilmesidir. Dünya üzerinde yaşam için uygun şartların olduğu bölgelere uyum sağlamış ve bu çevreleri kendi habitatları olarak belirlemiş ekstremofillerin varlığı, diğer gezegenlerde ve evrenin olasılık dahilindeki diğer bölgelerinde, bu canlıların yaşayabilme olasılığının mümkün olduğunu düşündürmektedir. Ancak, mikroorganizmaların uzay koşullarında yaşayabilirlikleri üzerine yapılan çalışmalar, mikroorganizmaların uzay ortamında sadece sınırlı sürelerde yaşamlarını sürdürebildiklerini ortaya koymuştur. Ayrıca araştırmalar sırasında, bu organizmaların, Dünya’daki ekstremofiller gibi, farklılaşarak uzay ortamına uyum sağlamaya çalıştığı keşfedilmiştir. Bu durum, Dünyasal mikrobiyal yaşamın, köken ve evrimi açısından Dünya’ya özgü olması gerektiği ve uzay ortamına uyum gösterebilen farklı organizmaların da, uzay ortamında bulunmak zorunda olduğu fikrini ortaya koymamızı sağlamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, astronomi ve biyoloji biliminin prensipleri çerçevesinde Dünyasal mikrobiyal yaşamın, uzay ortamında bulunup bulunamayacağı sorgulanmıştır. Uzay çalışmalarından elde edilen veriler ve gözlemler doğrultusunda, Bölüm 2’de, İlkel yıldız oluşumu ile bağlantılı olarak, ilk ağır elementlerin sentezlenmesi ve sonraki nesil yıldızların oluşumu ile, bu yıldızların nükleosentezlerindeki karbon elementinin yeri ve yaşamsal önemi üzerinde durulmuştur. Yıldızlararası ortamdaki ve yıldız çevrelerindeki organik moleküllerin oluşumu ve bu moleküllerin ilkel gezegen oluşum disklerine taşınması, Bölüm 3’de

tartışılan konular kapsamında irdelenmiştir. İlkel gezegen oluşum disklerinin kimyası üzerine yapılan araştırmalar, Güneş-tipi yıldızların ve bunların yığılma disklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve gezegen oluşumu ile ilgili öngörüler Bölüm 4’de incelenmiştir. Bölüm 5’de ise, Güneş Sistemi gezegenlerinin atmosferlerindeki organik moleküllerden ve kuyruklu yıldızlar, meteoritler ve Güneş Sistemi gezegenlerinin yüzeylerindeki organik moleküllerden söz edilmiştir. Bölüm 6 kapsamında, yaşamın geliştiği erken Dünya üzerindeki çevresel koşullar tanımlanmış ve Dünya’nın en erken yaşamsal tarihi, en eski kayalardaki mikrobiyal fosil kayıtları ile desteklenerek, yapılan çalışmalar yorumlanmıştır.

Dünya üzerindeki, uzay koşullarına benzer fiziksel çevrelere uyum sağlayan bir mikrobiyal yaşam modeli olan ekstremofillerin tanımlanması Bölüm 7’de yapılmıştır. Bölüm 8’de ise, mikroorganizmaların uzay ortamına uyumlulukları hakkında yapılan uzay çalışmaları ve laboratuvar deneyleri tartışılmıştır. Ayrıca yaşanabilir bölge tanımlanması yapıp, mikroorganizmaların yaşayabilecekleri gezegensel habitatlar, bu bölgelerle ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışmada özetle, evrenin oluşumunun ilk saniyelerinden, ilk yıldız oluşumlarına ve gezegensel organik moleküllerden Dünya üzerindeki yaşam izlerine kadar geniş çapta Dünyasal yaşamın niteliği araştırılarak, Dünyasal mikrobiyal yaşamın, Dünya-dışında da var olup olmayacağı sorusuna cevap bulmak hedeflenmiştir. Dünyasal yaşamın, Dünya dışında evrende varsa bile çok ender olması gerektiği, bundan başka, Dünyasal ekstremofiller gibi, Dünya dışında, uzay ortamına uyum sağlayabilecek, Dünyasal olmayan farklı organizmaların da var olabilecekleri sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 2

YILDIZLARIN OLUŞUMU VE ELEMENTLERİN SENTEZLENMESİ

Dünyasal yaşamın oluşmasının ön koşullarından biri, hidrojen (H), karbon (C), oksijen (O), azot (N), kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin varlığıdır. Uzayda en çok bulunan element olan hidrojen dışında, bu elementler erken evrende henüz var olmamışlardır. Erken evrenin sıcak kimyası, Büyük Patlama nükleosentezi de denilen, çoğunlukla hidrojen, helyum ve döteryum, trityum, lityum ve berilyum zerrelere gibi çok hafif elementleri üretmiştir (Schramm, 1998). Dünyasal biyokimyası ilgilendiren diğer bütün kimyasal elementler, yıldızların evrim sürecinde nükleosentez yoluyla şekillenmiştir. Genel anlamda, ortamdaki elementsel bileşimin, en erken yıldızlardaki ve galaksilerdeki yoğunlaştırılmış ilkin H ve helyum (He) elementlerinden türediği kabul edilir. Bununla beraber, en fazla kırmızıya kayan galaksilerin az miktarda bazı ağır elementlerin karışımını sergiledikleri gözlenmiştir. Bu durum, ilk ağır elementlerin çok erken zamanlarda yani evrenin evriminin ilk beş yüz milyon yılı içerisinde şekillendiğini göstermektedir. Astronomide, helyumdan ağır bütün elementler “metaller” olarak anılırlar ve biz bu bölümde bu adlandırmayı kullanacağız. Bu nedenle metalik, Güneş’e ilişkin bu gibi elementlerin bolluğunu kasteder. İlkel yıldız oluşumu hakkındaki çalışmalar, Güneş’ten 100 kat fazla kütleli yıldızlar oluşurken, helyumdan daha ağır elementleri içermediklerini (Abel, et al., 2000) ve düşük kütleli yıldızların minimum seviyede metal zenginleşmesine eriştiklerinde oluşabildiklerini göstermiştir. Bu minimum seviyenin değeri kesin değildir, fakat bu oranın 10^{-5} – 10^{-4} M_{\odot} (Güneş kütlesi) seviyesinden az olmaması gerektiği düşünülmektedir (Schneider, et al., 2002; Cazaux and Spaans, 2004).

Kütlelerine dayanarak, bazı ilk nesil yıldızlar (popülasyon III yıldızları veya pop III olarak bilinir) yaşamlarının son zamanında çok büyük kütleli karadelikler olarak içlerine çökerler. Bu gibi yıldızlar metal zenginliklerini etraflarındaki gaza yaymazlar. Bu yüzden, başlangıçtaki kozmik metal zenginliğinin, ağır-element bakımından verimli olan çift-kararsız süpernovalara (SN) dayandığı düşünülür. İlkel gaz içerisindeki ağır elementleri dağıtmak ve karıştırmak çok karmaşıktır. Bu yüzden SN patlaması

dalgalarının ortamdaki ağır elementleri dağıttığı düşünülmektedir (Madau, Ferrara and Rees, 2001).

Metal zenginliği, metallerin sağladığı soğutma açısından, kararsız gaz bulutunun kütleçekimsel parçalanmasında önemli etkileri vardır. Moleküller metallerden şekillenir ve çok daha önemli soğutuculardır. Doğal yapısından dolayı, gaz bulutunun soğukluğu arttığından, bu bulut, tekil veya çift ilkel-yıldızları oluşturarak parçalara ayrılır ve kütle ölçüsü düşer (Spaans and Silk, 2000). Bu düşük-kütleli ilkel-yıldız çevreleri düşük-kütleli yıldızlara, özellikle karbona-dayalı yaşamın gelişmesi için yeterli uzun zamana sahip olan (1 GY'dan fazla -10^9 yıl-) gezegensel sistemlerle birlikte, evrimleşir. Bu tarzda şekillenen yıldızlar ikinci ve üçüncü nesil, veya popülasyon II ve I, olarak adlandırılır. Hubble Uzay Teleskopu ile gözleendiği gibi, evrendeki yıldız yığınlarını (muhtemelen gezegene sahip olanların) pop I ve II yıldızları oluşturur (Madau, et al., 1996).

2.1. Gözlemsel Düşünceler

Standart kozmolojinin tahminine göre ortamdaki elementsel bileşim, en erken yıldızlar ve galaksilerdeki yoğunlaştırılmış ilkel hidrojen, helyum ve az miktarlarda döteryum, lityum (${}^7\text{Li}$), ve helyum-3 (${}^3\text{He}$) içerir (Schramm, 1998). Geçen on yıl içerisinde yüksek-çözünürlüklü spektroskopi, uzak kaynaklarda görülen gazlardaki kimyasal bileşimin analiz edilmesini sağladı. $z\sim 2-4$ kırmızıya kaymalarıyla, Songaila ve Cowie (2001) galaksilerarası bulutlarda etrafa düzensiz yayılmış az miktarda iyonize karbon ve silikon buldular. Ellison ve arkadaşları (2000) parlak kuasar Q1422+231 karşısında C IV çizgilerini ölçebildiler. Bu karbon çokluğunun galaksilerarası boşlukta devamlı kalıp kalmadıkları henüz açığa kavuşmamıştır.

0.8 M_{\odot} yıldız HE01017-5240 üzerine ESO gözlemleri, Samanyolu'nun halesinde, Güneş'ten 11 kpc uzaklıkta bulunan bu yıldızın, Güneş'ten 200000 kat daha az olmak üzere, çok fazla miktarda düşük demir içerdiğini gösterdi ($[Fe/H] \approx -5.3$, Christlieb, et al., 2002). Bu durum, yıldızların çok düşük metalik ortamda şekillendiğini ve halen devam ettiğini gösterdi.

2.2. Pop III Nesne Oluşumu: İlk Yıldızlar

Bir takım yazarlar (Palla, et al., 1983; Haiman, et al., 1996), evren sadece 100 milyon yaşlarında iken, çok erken nesil pop III yıldızlarının $z \sim 30$ kırmızıya kayma oranlarında şekillendiğini önermiştir. Abel ve arkadaşlarının (2000) simülasyonuna göre, $z \sim 18$ zamanında popülasyon III yıldızlarının oluşumu yer alır. Bu yıldızlara pre-galaktik yapılar da denilir. Bu muazzam yıldızlar sonlarında tip II süpernova oluşturur. Bu SN'lar erken evreni yeterli derecede iyonize etmek için iyonize radyasyon üretir ve ayrıca ağır elementleri açığa çıkarır. Bu yüzden ilk metaller çok az miktarda, $\sim 10^{-4} M_{\odot}$ kadar, pop III yıldızları tarafından yerleştirilmiştir ($z \sim 15$) (Ferrara, 2003).

Pop III yıldız oluşumunun, $z \sim 10 - 30$ genişletilmiş kırmızıya kayma alanında yer aldığı görülmüştür. Bu yüzden, bu yıldızların oluşumlarının yaklaşık 400 milyon yıl sürdüğü önerilmiştir (Scannapieco, et al., 2003).

2.3. Pop III Nesne Evrimi: İlk Metaller Ve Toz

Büyük kütleli, düşük-metal içerikli pop III yıldızların evrimi oldukça belirsizdir (Baraffe, et al., 2001). Pop III yıldızlarının yaşam süresi yaklaşık 10^6 yıldır. Heger ve arkadaşları (2002), sırasıyla 100-500 M_{\odot} kütlelerindeki pop III yıldızlarındaki elektron-pozitron çiftlerinin kararsızca çarpışmalarının, bunların oksijen ve silikonlarını yakarak çökmelerine sebep olduğunu buldular.

Pop III yıldızlarının nükleosentetik verimi Heger ve Woosley (2002) ve Umeda ve Nomoto (2003) tarafından araştırıldı. Bu yazarlar pop III yıldızlarının nükleosentetik imzalarının güçlü şekilde helyum çekirdeğinin kütesine bağlı olduğunu, $M_{He} \sim 63-133 M_{\odot}$, buldular. He çekirdeği, süpernova fazına geçişteki maksimum sıcaklığa karar verir. 57 M_{\odot} 'de maksimum radyoaktif ^{56}Ni , He çekirdeği kütesinin en son aşamasında üretilir. Çift kararsız süpernovalarda çinkodan daha ağır elementler üretilmez.

Üretilen ağır elementlerin (Si ve C) düşünülen özelliği toz parçacıklarına katılmış olmalarıdır. Toz oluşumunun zaman tablosu kesin değildir fakat 50-100 milyon yılı kapsadığı düşünülür (Spitzer, 1978). Toz parçacıkları güçlü şekilde H_2 oluşumu oranını artırabilirler.

2.4. Pop I ve II Yıldızları

Yeni nesil yıldızlarından pop II, en yaşlı gözlenen yıldızlar; pop I ise Güneş'e benzer ağır element bolluğuna sahip yıldızlardır. Burada yıldızlararası ortam (YAO), pop III yıldız oluşumu zamanında zenginleştirilen, $10^{-3} - 10^{-2} M_{\odot}$ oranından fazla metalliğe sahip olan gaz ortamıdır. YAO, pop III yıldız oluşumu sonrasında ortaya çıkar ve Samanyolu gibi galaksilerin kimyasal dengesinde ve sıcaklığında ve yıldız oluşumu aşamalarında önemli rol oynar. Pop I ve II yıldızlarının oluşumu birbirlerine oldukça benzerdir. Galaksilerde, pop I ve pop II yıldızları, moleküler bulutların parçalanması ve büzülmesiyle oluşmuştur. Bu bulutlarda H_2 halen genel kimya açısından önemlidir fakat CII, CI, OI, CO ve H_2O gibi gruplar, H_2 'nin yaptığından daha yüksek oranda soğutma sağlarlar. Samanyolu için bu aşamalar galakside gözlenebilir maddenin %90'ının yıldızlara yoğunlaşmasına izin vermiştir. Geriye kalan %10'luk kütle, yıldız oluşumunun devamı için toz ve gazdır. Samanyolu için YAO spiral kollarda ve diskte yoğunlaşmıştır. Daha az ağır, cüce galaksiler bu kadar düzgün spiral yapıya sahip değildirler fakat fazla çapta yıldızlararası madde içerirler. Diğer taraftan eliptik galaksilerde yıldızlararası gazın yıldızlara dönüşümü tamamlanmış görülmektedir.

2.4.1. Pop I ve II yıldızları: YAO ile bağlantısı

Yıldızlar evrimleşip ana kolda yaşamlarının sonlarına ulaştıkları zaman, önemli çapta yıldızsal kütlelerinden (düşük-kütleli yıldızlar için $M < 10M_{\odot}$) YAO içerisine rüzgarlar oluştururlar veya diğer bazı yıldızlar (büyük kütleli yıldızlar için $M > 10M_{\odot}$) yaşamlarını şiddetli süpernova patlamalarıyla sona erdirirler. Bu dışarıya atılan madde He'dan daha ağır elementleri içerir ve çevresel yıldızlararası gazı zenginleştirir. Bu metallerin bir kısmı toz zerrecikleri olarak birleşirler. Geriye kalan metaller ise yıldızsal rüzgarların etkisiyle moleküller oluşturabilir. Ortam yakınlarında süpernova patlaması meydana geldiğinde, patlamanın dalgaları yayılır ve ortamdaki molekülleri sıkıştırarak kümeler oluşturur. Bu yoğun kümeler yıldız oluşumu alanlarına dönüşebilir ve bu yıldız toplulukları galaksiler oluşturabilir. Yıldızların evrimsel döngüsü bu şekilde galaksiler içerisinde devam eder (Balbus and Hawley, 1991).

Ana kol yaşamı zamanında yıldızlar YAO içerisine çok fazla miktarlarda radyasyon enjekte eder. Yaşamları sonlandığı zaman, yıldızların enjektisi çok güçlü şoklar olan çok fazla miktarda kinetik enerjiyi barındırır. Şoklanmış gaz, yüksek sıcaklıklara ve yoğunluklara ulaşır. Yıldız oluşumunun devamı için, yani yıldızlararası gazın soğuması ve yoğunlaşması için, YAO'a geri dönen enerji ortadan kaldırmalıdır.

Atomların, moleküllerin ve toz zerreciklerinin bolluğu, YAO'ın genel kimyasal dengesiyle düzenlenir ve çevresel zenginleştirmeye, YAO'ın yoğunluğuna ve yıldızlararası gaz bulutlarının sıcaklığına bağlıdır. Yıldızsal kaynakların varlığı, ayırma ve iyonizasyon aşamalarını tetikler ve gazın ısınmasını sağlar. Bu gibi ışınlanmış bölgelerde çoğu moleküler grup şekillenir.

Yoğunluk, bu yıldızlararası gazın kimyasal dengesinde önemli rol oynayan, kütleçekimsel ve hidrodinamik etkilerin altında çok farklı büyüklükler alabilir. Yıldızsal enjekte, yeterli şekilde soğuduğu ve yoğunlaştığı zaman YAO'a yayılır. Bunun sebebi kütlelerinin yeteri kadar kendi çekimsel özelliğini oluşturamamasıdır. Diğer taraftan, yıldızsal kümelerin çarpışması çevresel yoğunluğu artırır ve dolayısıyla kendi çekimsel yapılarına öncülük edebilir. Yayılmış buluttan kendi kütleçekimine sahip moleküler yıldızsal çekirdekler oluşturmak için yaklaşık yüz milyon yıl gereklidir. Bu zaman aralığında yıldızlararası gaz farklı kimyasal değişikliklere sürüklenir.

2.4.2. Pop I ve II yıldızları : Oluşum

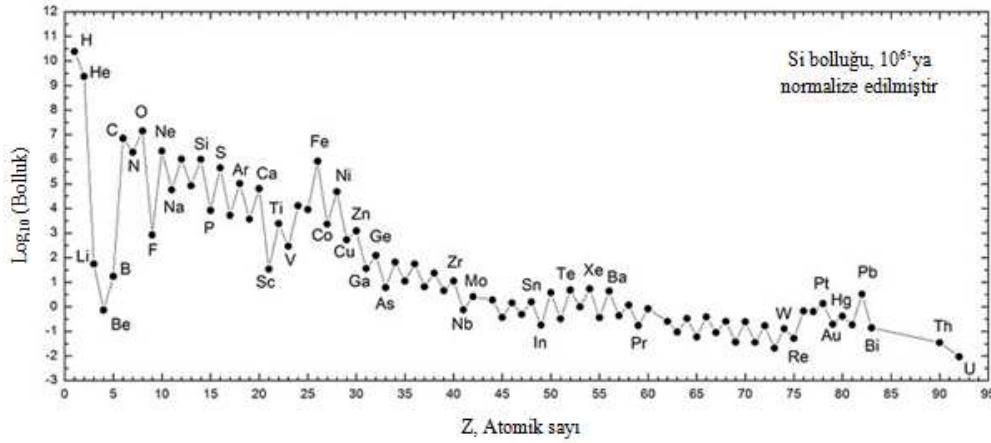
Bir yıldız veya çift yıldızlar (bilinen yıldızların %50'si çiftler halinde bulunur) dev moleküler bulutların çökmesi ve parçalara ayrılmasıyla oluşur. Yıldızların çoğunun (belki de hepsinin) bu yol ile oluştuğu düşünülmektedir (Shu, 1985). Bu moleküler bulutları Galaksi'mizin diskinde, özellikle spiral kollarında toplanmış bulunmaktadır. Galaksi'mizde bu bulutlardan, muhtemelen, on binlerce vardır. Tipik dev moleküler bulutlarının kütleleri 10^5 ile $10^6 M_{\odot}$, çapları da 20 ile 60 pc arasında bulunur. Yoğunlukları ise m^3 başına 10^9 hidrojen molekülüdür. Bu dev bulutların homojen olması beklenemez; daha yoğun küçük bölgelerin bir çekim kuvveti uygulayabilecek duruma gelmesi beklenir. Süpernova sonucunda oluşan şok dalgaları ve iyonlaşmış genişleyen gaz, gezegensel bulutsular, moleküler bulutları arasındaki çarpışmalar gibi mekanizmalar bu moleküler yapısındaki dev bulutun sıkıştırılması için etkilidir. Bu

belirtilen işlevler 1 pc çapındaki bölgede m^3 başına $10^{10} - 10^{11} M_{\odot} H_2$ molekülünün birikmesini sağlar. Böylece bu bölgede toplanan madde miktarı $10^2 - 10^3 M_{\odot}$ olur. Moleküllere ait çizgi emisyonu, molekül bulutlarının soğumasına sebep olup soğuma işlevinin etkinliği, yoğunlukla hızlı bir şekilde artar. Bundan dolayı, bulut içindeki sıcaklık 50-100 K'e kadar düşer ve bunun sonucunda aynı bulut kendi çekim kuvvetlerinin etkisi ile çöker. Çöken bu parçalar "ilkel yıldız"ı oluşturur. Bu evrede, $10^4 - 10^5$ yıl aralığında, ilkel yıldız çökmeye devam eder. Merkezdeki sıcaklık yükselmeye devam eder. Bundan sonra meydana gelen çökmenin açığa çıkardığı çekimsel enerji iç sıcaklığı 10^6 K mertebesine kadar artırır. Bu sıcaklık nükleer reaksiyonları başlatabilecek düzeyde olup incelenen cisim ilkel yıldız olmaktan çıkar; artık adı "yıldız"dır (Cox and Giuli, 1968).

Zamanla ilkel yıldız, merkez bölgesinde nükleer reaksiyonların meydana geldiği evreye geçer. Yıldızlar ömürlerinin büyük bir kısmını anakolda geçirir. Bu zaman aralığında oldukça basit bir iç yapıları olup merkezlerindeki hidrojen helyuma dönüşür. Bir yıldızın bundan sonraki davranışı, anakol öncesine göre, daha çok kütesine bağlıdır. Fakat burada önemli olan konu, yaşamsal ana element olan karbonun nükleosentezidir.

2.5. Elementel Karbondan Karmaşık Makromoleküllere Geçiş

Karbon elementi yıldızların yaşam döngülerinin sonunda üretilmektedir ve sonra yıldızlararası ortama aktarılmaktadır. Karbon, yıldızsal nükleosentezlerde önemli bir rol oynar ve uzayda en bol olan dördüncü elementtir (Şekil 2.1). Karbon zengin bir kimyaya sahiptir. Muazzam sayıda molekül ve makromolekül oluşturabilir ve bütün canlı sistemlerin ana elementidir. Bu elementin çok yönlü yapısının sırrı onun elektron dizilimi altında gizlidir ki bu sayede diğer elementler ve diğer karbon atomlarıyla kararlı kimyasal bağlar oluşturması mümkün olur (Cataldo and Keheyan, 2003a). Organik kimya, yıldızlararası ortamda, moleküler bulutlarda, kuyruklyıldızlarda ve meteoritlerde, aynı şekilde atmosferde, yüzeylerde ve gezegenlerin içlerinde meydana gelir. Burada önemli olan, uzayda veya Güneş Sistemi'ndeki kararlı kütlelerde, karmaşık moleküllerin elementel karbondan nasıl oluştuğunu keşfetmek ve karbonun, biyokimyasal moleküllerde öncül olarak oynadığı rolü anlamaktır.

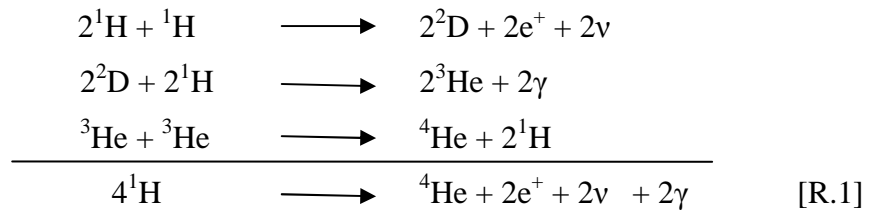


Şekil 2.1. Elementlerin kozmik bollukları (Cameron, 1973)

Ayrıca yıldızlararası ortama aktarılmış formdaki karbon elementinin önce yıldızlarda nasıl oluştuğunu ve sonra uzayda geçirdiği kimyasal ve fiziksel değişimleri bilmek gerekmektedir (Gribbin and Gribbin, 1996).

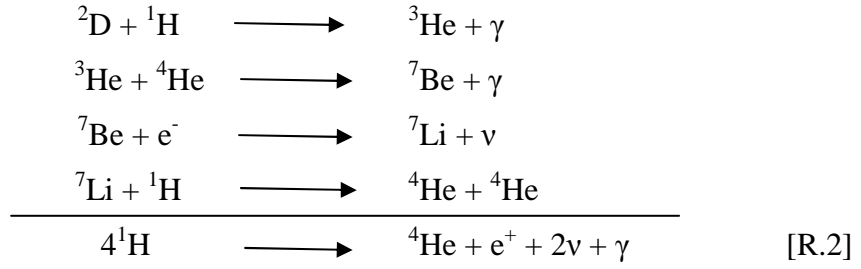
2.5.1. Karbon Nükleosentezi: Nükleer Kimyasal Bakış Açları

Genç yıldızlarda, proton-proton (PP) aşamaları, hidrojenin helyuma dönüştüğü nükleer füzyon reaksiyonları boyunca enerji üretir (Taylor, 1966; Gribbin and Gribbin, 1996). Bu PP aşaması, az miktarda ^4He kullanılabilir olduğu zaman meydana gelen P_1 aşamasından ayrılabilir:

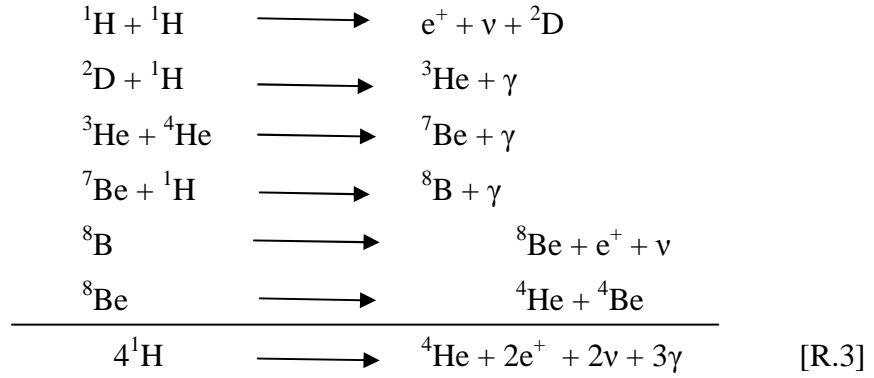


P_1 aşaması, 4 protonun ^4He atomuna füzyonunu, aralarda ^2D ve ^3He içeren seri reaksiyonlarla ve pozitronların (e^+), nötronların (ν) ve gama quantası (γ) serbest bırakılmasıyla gerçekleştirir. Kullanılabilir ^4He yeterli miktarda olduğu zaman, P_1 aşaması yerini P_2 aşamasına bırakabilir:

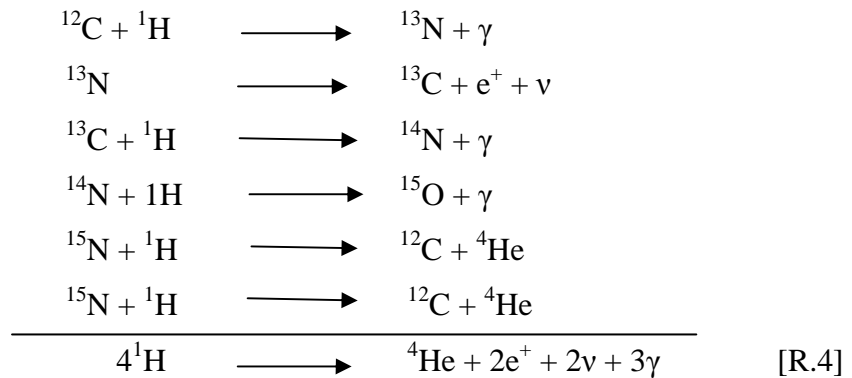




ve P₃ aşamaları:



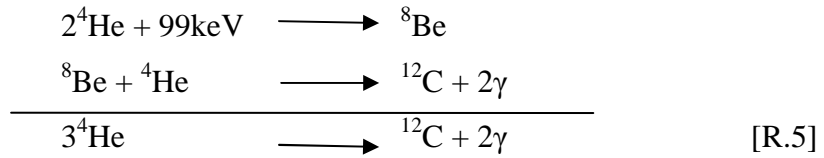
Bütün PP aşamaları dört protonun bir ${}^4\text{He}$ atomuna dönüşümünü içerir ve bazı basamaklar, ${}^2\text{D}$, ${}^3\text{He}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^8\text{Be}$ ile ${}^8\text{B}$ gibi bazı daha ağır aradaki elementleri içerir. PP nükleer reaksiyonları nispeten soğuk yıldızlarda meydana gelir. Daha soğuk olmayan yıldızlarda PP aşamaları CNO reaksiyonlarıyla rekabet halinde olabilir (Bethe döngüsü):



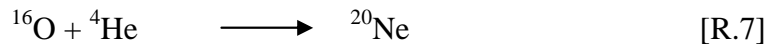
Karbon, oksijen ve azotla birlikte CNO döngüsünde ${}^4\text{He}$ atomunun üretimini tekrardan başlatan nükleer reaksiyonları “katalizleyici” olarak önemli rol oynar. Ayrıca başlangıçta kullanılan ${}^{12}\text{C}$, döngünün sonunda tam olarak geri kazanılmıştır. Bu

sebepten CNO aşaması ayrıca “karbon döngüsü” olarak da adlandırılır çünkü yıldızda karbon korunmuş halde kalır ve katalizör olarak görev alır, önemli rolü de bu yüzdendir.

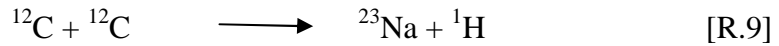
Dev bir yıldız daha fazla hidrojen tükettiğinden, CNO döngüsü daha az verimli olmaya başlar. Kütleçekimsel çökmeye karşı koyan radyasyon basıncı ve yıldızın çekirdeği daralmaya başlar. Yıldızın çekirdeğinin yoğunluğu arttığında, çekirdeğin sıcaklığı 10^8 K'e kadar artar. Bu noktada, CNO döngüsünün yerini He parlaması veya üçlü alfa süreci (3 α aşaması) olarak adlandırılan yıldızın genleşmesini kapsayan devre alır. CNO döngüsü sonunda, yıldız HR diyagramındaki anakolu terk eder ve daha da genişleyerek M ve K spektral sınıflarına geçer. Üçlü alfa süreci, birbirini takip eden nükleer denklemlerle tanımlanabilir ve “He parlaması” olarak adlandırılır çünkü He, CNO döngüsünde H'den daha kısa bir zaman periyodunda tüketilir.



Üçlü alfa süreci, biyokimya ve yaşamın var olması için çok büyük önem taşır. Nükleer reaksiyonların dizisi olmadan evrende karbon elementinin biriktirilmesi mümkün olamayabilir (Barrow and Tipler, 1986). Üçlü alfa sürecinin önemi, ^{16}O gibi daha ağır elementlerin öncülüğünü yapan temel basamaklarda karbonun oluşumunu ele aldığımızda dikkat çeker:



“He parlaması” $T > 4 \times 10^8$ K olduğunda “C parlaması” ile yer değiştirir, “He parlaması”nda oluşan karbonun bir kısmı, diğer elementlerin sentezinde tüketilir:



BÖLÜM 3

YILDIZLARARASI ORTAMDAKİ ORGANİK MOLEKÜLLER

Dünyasal biyolojide rol oynayan metaller ve diğer iz elementler, evrimleşmiş yıldızların çekirdeklerindeki veya yıldızsal patlamalardaki nükleosentez aşamaları tarafından üretilmişlerdir (Matteucci, 1991). Bu elementlerin miktarlarının, evrenin yaşıyla paralel olarak önemli oranda artması, ağırlıklı olarak bu elementlere dayalı moleküler madde içeren galaksilerin, Büyük Patlama'dan bir milyar yıldan az zaman sonra oluştuğunu gösterebilir (Ohta, et al., 1996).

Şimdiye kadar 100'den fazla molekül, yıldızlararası ve yıldızların çevresindeki bölgelerde saptandı (Çizelge 3.1.). Bu moleküller, düşük yoğunluklu dağıntık bulutlardan, düşük kütleli yıldızların öncülleri olduğu düşünülen karanlık toz bulutlarına kadar olan fiziksel koşullarda görüldüler. Bu gaz-fazındaki moleküllere ek olarak, absorpsiyon ve emisyon bandlarının kızılaltı gözlemleri, yıldızlararası tozun organik bileşiklerini tanımlamada kullanılmıştır.

Çizelge 3.1'de yıldızlararası ve yıldızların çevrelerindeki yığınların organik molekülleri gösterilmiştir. Yıldızlararası moleküllerin listesi, iyi bilinen organik moleküllerden olan aseton, dimetil eter, glikolaldehit (CH_2CHOH), etilen glikol ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$), ve en basit aminoasitlerden glisini içermektedir (Kuan, et al., 2003a).

Diğer biyolojik moleküllere, primidin, aziridin ve azulen gibi, dair araştırmalar başarısız oldu (Charnley, et al., 2001). Dünya'da bulunan ortak organik gruplara ek olarak, yıldızlararası ortam ayrıca daha egzotik grupları içerir ki bunlara ilk defa uzayda saptanmıştır. Bunlar, karbon-zinciri molekülleri, siyanopolienler (HC_{2n+1}N , $n=1-5$) ve kumulenleri (H_2C_{2n} , $n=2,3$) içerir. Şimdiye kadar "siklik" veya daha doğrusu, üçgenler olan bazı moleküller, C_3H , C_3H_2 , SiC_3 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ gibi, bir zincirli molekül olarak sadece benzen, yalnız bir kaynakta, CRL618 ilkel-gezegen oluşum bulutsusunda saptandı.

Burada not etmek gerekir ki, Çizelge 3.1.'de özetlenen tanımlamalar, moleküllerin tamamlanmış envanteri değildir. Bu bölümde, bu moleküllerin varlığına dair kanıtları, bunların oluşumları anlatılacaktır.

Çizelge 3.1. Yıldızlararası çevrelerde gözlenen moleküller (Millar, 2004).

Her moleküldeki atom sayısı	Moleküller
2	IF, AlCl, C ₂ , CH, CH ⁺ , CN, CO, CO ⁺ , CP, CS, CSi, HCl, H ₂ , KCl, NH, NO, NS, NaCl, OH, PN, SO, SO ⁺ , SiN, SiO, SiS, HF, SH, FeO(?)
3	C ₃ , C ₂ H, C ₂ O, C ₂ S, CH ₂ , HCN, HCO, HCO ⁺ , HCS ⁺ , HOC ⁺ , H ₂ O, H ₂ S, HNC, HNO, MgCN, MgNC, N ₂ H ⁺ , N ₂ O, NaCN, OCS, SO ₂ , c-SiC ₂ , CO ₂ , NH ₂ , H ₃ ⁺ , AlNC
4	c-C ₃ H, l-C ₃ H, C ₃ N, C ₃ O, C ₃ S, C ₂ H ₂ , CH ₂ D ⁺ (?), HCCN, HCNH ⁺ , HNCO, HNCS, HOCO ⁺ , H ₂ CO, H ₂ CN, H ₂ CS, H ₃ O ⁺ , NH ₃ , SiC ₃
5	C ₅ , C ₄ H, C ₄ Si, l-C ₃ H ₂ , c-C ₃ H ₂ , CH ₂ CN, CH ₄ , HC ₃ N, HC ₂ NC, HCOOH, H ₂ CHN, H ₂ C ₂ O, H ₂ NCN, HNC ₃ , SiH ₄ , H ₂ COH ⁺
6	C ₅ H, C ₅ O, C ₂ H ₄ , CH ₃ CN, CH ₃ NC, CH ₃ OH, CH ₃ SH, HC ₃ NH ⁺ , HC ₂ CHO, HCONH ₂ , l-H ₂ C ₄ , C ₅ N
7	C ₆ H, CH ₂ CHCN, CH ₃ C ₂ H, HC ₅ N, HCOCH ₃ , NH ₂ CH ₃ , c-C ₂ H ₄ O, CH ₂ CHOH
8	CH ₃ C ₃ N, HCOOCH ₃ , CH ₃ COOH, C ₇ H, H ₂ C ₆ , CH ₂ OHCHO, CH ₂ CHCHO
9	CH ₃ C ₄ H, CH ₃ CH ₂ CN, (CH ₃) ₂ O, CH ₃ CH ₂ OH, HC ₇ N, C ₆ H
10	CH ₃ C ₅ N (?), (CH ₃) ₂ CO, NH ₂ CH ₂ COOH(?), CH ₃ CH ₂ CHO
11	HC ₉ N
13	HC ₁₁ N

3.1. Yıldızlararası Bulutlarda Organik Kimya

Yıldızlararası bulutlar çok çeşitli fiziksel özelliklere ve çok çeşitli kimyasal bileşimlere sahiptir. Bu bölümde dağınk bulutların, karanlık bulutların ve sıcak moleküler çekirdeklerin gaz-fazındaki bileşimleri anlatılacaktır.

3.1.1. Dağınık Bulutlar

Dağınık bulutlar optik ışığa karşı geçirimsizdirler. Bu nedenle, yıldızlararası UV radyasyon bu alanlara nüfuz eder. Burada radyasyon, molekülleri oldukça hızlı bir zaman diliminde, tipik olarak 10,000 yıldan az bir sürede, fotonize edebilir ve foto-ayırma uğratabilir. Bu tip bulutlar baskın olarak atomiktir. Moleküler hidrojen ayrıcı fotonlara karşı kalkan olmasına rağmen, bazı durumlarda protonların yarısını kendine bağlayabilir. Basit diatomiklerin, CH ve CN gibi, toplam hidrojenle ilişkili olarak varlıkları gözlemlendi. Triatomik moleküllerin saptanması daha zordur; C₃ miktarı bulutlarda az sayıda gözlenmiştir (Maier, et al., 2001). Bulutun sütun yoğunluğu arttığında, toz zerrecikleri UV'nin çoğunu söndürür ve böylece daha karmaşık

moleküller sentezlenebilir ve kendini sürdürebilir. Bu gibi yarı saydam bulutlarda C₂H ve HCN gibi basit moleküller saptanabildi ve moleküler çizgi absorpsiyonu üzerine interferometrik çalışmalar daha karmaşık molekülleri saptadı (Lucas and Liszt, 2002). Özellikle milimetre absorpsiyon çizgisi çalışmaları kullanılarak dış galaksilerdeki dağınık bulutlar ayrıca çalışıldı (Wiklind and Combes, 1997) ve Samanyolu'nda saptanan moleküllere benzer karmaşıklık bulundu.

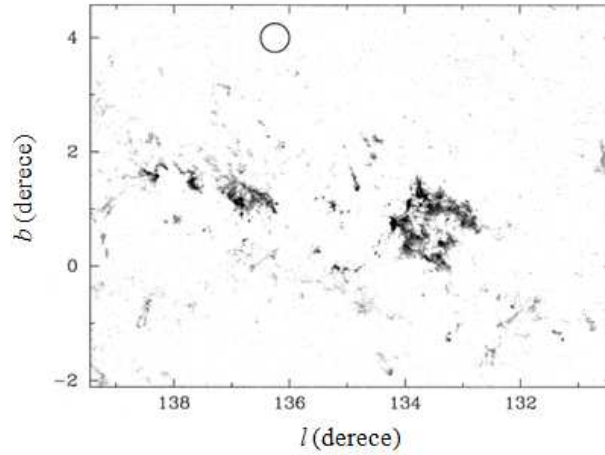
3.1.2. Karanlık Bulutlar

Karanlık bulutlar, çok yoğun, sıcaklığı ~ 10 K (bölgesel olarak 200K'e kadar da çıkabilir) olan ve yıldızlararası UV fotonlarını etkin bir biçimde yansıtan, Çizelge 3.2.'de gösterildiği üzere, daha geniş çeşitlilikte gaz-fazında organik molekülleri içeren bulutlardır. Bu bölgelerde H₂ baskındır. Muhtemel gezegen oluşumuna sahip yıldız alanları olan bu daha yoğun yıldızlararası bulutlar, moleküler bulut olarak da adlandırılır ve bileşimleri genelde molekülerdir. Organiklerin bütün envanterini görebilmek mümkün olmamakla birlikte, CO hariç toplam gaz-fazındaki karbonun sadece %1'i kullanılabilir. Şekil 3.1., Samanyolu'nun dış kısmının karbon monoksitin en düşük enerji geçişine duyarlılığının göze nasıl görünebileceğine dair bir izlenim vermektedir.

Çizelge 3.2. Çeşitli moleküler bulut tiplerinin moleküler bollukları (Turner, 2000).

Species	PKS1413 ^a	Diffuse ^b	Translucent ^c	TMC-1 ^d	L134N ^d	G34.3hc ^e
CN	1(-9)	2(-8)	-	3(-8)	8(-10)	> 6(-10)
HCO ⁺	2(-9)	2(-9)	2(-9)	8(-9)	1(-8)	> 2(-9)
HCN	1(-9)	3(-9)	4(-8)	2(-8)	1(-8)	2(-8)
C ₂ H	-	2(-8)	7(-8)	5(-8)	4(-9)	> 8(-9)
c-C ₃ H ₂	-	1(-9)	4(-8)	3(-8)	1(-9)	-
H ₂ CO	< 8(-10)	7(-9)	6(-9)	2(-8)	2(-9)	2(-8)
CH ₃ OH	-	-	2(-8)	2(-9)	4(-9)	6(-8)
CH ₃ CN	-	< 4(-11)	< 1(-9)	1(-9)	< 1(-9)	1(-8)
HC ₃ N	-	-	5(-10)	6(-9)	9(-10)	> 3(-9)

^aPKS1413+135 bir kuazardır (Wiklind and Combes, 1997). ^bDağınık bulutlar (Lucas and Liszt, 1997). ^cTurner'dan (2000) yarı-saydam bulut verisi. ^dTMC-1 ve L134N karanlık bulutları (Dickens, et al., 2000). ^eG34.3hc sıcak moleküler çekirdeği (Millar, et al., 1997). a(-b) = a x 10^{-b}



Şekil 3.1. Samanyolu’da dev bir moleküler bulutun karbon monoksitten alınan emisyonla yapılmış haritası. Harita üzerindeki dar ölçü - açısız çapı 0.5° olan daire - Güneş ve Ay ile benzerdir (Millar, 2004).

3.1.3. Sıcak Moleküler Çekirdekler

Sıcak moleküler çekirdekler -SMÇ’ler-, ~ 0.1 pc alanı kaplayan, yoğun ve sıcak ($T \sim 100-300$ K) olup büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerindeki gaz yığınlarıdır. Buralar önemlidir çünkü yıldız oluşumlarının erken dönemlerini sunarlar. Büyük kütleli ilkel-yıldızları veya yıldız oluşumu fosillerini içerebilirler. Genellikle, milimetre ve milimetre-altı dalgalarda çok zengin moleküllere sahiptirler ve karanlık bulutlardan farklı olarak, baskın biçimde doymuş moleküller gösterirler. Örneğin, SMÇ’lerde saptanan tek siyanopolien HC_3N ’dir. H_2O , NH_3 , CH_3OH ve H_2S gibi doymuş moleküllerin miktarları, soğuk bulutlardan 10^3-10^5 kat daha fazladır.

3.2. Yıldızsal Zarflarda Organik Kimya

Organik moleküller ayrıca geç-tip yıldızların çevrelerindeki zarflarda bulundular. Karbon-zengini (yani bunların C/O oranları diğerlerinden daha fazladır) nesnelere dikkat çekici zengin bir kimyaya sahiptir; C-zengini ADK yıldızı IRC+10216’da 50 molekülden fazlası saptandı; MgNC , MgCN , NaCN , C_8H ve CO^+ , NH_2 , N_2O , CH_2N , HC_3NH^+ , CH_2 , $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$, CH_3COOH , ve H_2COH^+ . HOC^+ iyonunun varlığına dair önemli bir saptama ayrıca yapılmıştır. ADK yıldızları, ayrıca, karbonlu toz partiküllerinin oluştuğu ve daha sonra yıldızlararası ortama enjekte edildiği

nesnelerdir. Moleküllerin oluşumunun ve geç-tip yıldızlardaki zerrecilerin detaylı derlemesi Millar (2004) tarafından yapılmıştır.

Bir ADK yıldızının yüzeyine yakinken, gaz sıcaklığı 2000 K dolaylarındadır. C-zengini nesnelere durumunda sonuç CO oluşumudur ki bunun için neredeyse tüm oksijen atomları kullanılır. Fazla olan karbon, C₂H₂, CS ve HCN gibi kararlı molekülleri oluşturur. ADK yıldızları titreştiğinden dolayı, fotosferdeki gaz, düzenli ısı ve basınç oluşturan şoklara maruz kalır. Yıldızın kütleçekimsel etkisinden gazın kurtulması için bu şok yeterli değildir ve madde yıldızın yüzeyine geri döner. Bu değişimin oluşturduğu koşullar, şok kimyasının gelişmesine izin verir. Dikkat çekici olarak, asetilenin, benzen ve benzerleri gibi halkalı moleküllere dönüşümü mümkün olur ve PAH (polisiklik aromatik hidrokarbonlar) partiküllerinin oluşması için önderlik eden organik kimyanın gelişmesi hareketlenebilir (Cau, 2002). Titreşim, gazın zaman içerisinde birçok kere şoklanmasına sebep olabilir; her bir şok daha çok PAH üretir. Yeterli fazlalıktaki yoğunluk, PAH moleküllerini bir araya toplar ve yıldızlararası ortama doğru radyasyon basıncıyla sürüklenerek küçük karbonlu zerreciklere doğru geliştirir. Toz zerrecikleri ile gazın çarpışmaları, moleküler gazın dışarıya boşalmasına sebep olur ve genişleyebilen yıldız çevresi zarfını (circumstellar envelope - CSE) oluşturur. Maddenin dışarıya doğru püskürtülmesinden dolayı, madde olağan yıldızlararası UV radyasyonu ile karşılaşır - merkezi yıldızın UV alanı ihmal edilebilir - ve eş molekülleri ayıran foto-ayırımı ve foto-iyonizasyona maruz kalır. Bu zengin fotokimya, yıldız çevresi zarfının dışarısında sürmeye devam eder. Yıldızlararası UV fotonlarının parçalayabildiği bütün gruplar, atomlarına ve atomik iyonlarına dönüşür ve bu formda yıldızlararası ortama enjekte edilir. Bu indirgeme, çok ilginç ve egzotik organik molekülleri oluşturabilir.

3.3. Yıldızlararası Ortamdan İlkel-yıldızsal Çevrelere Geçiş

Karmaşıklığı üreten reaksiyonlar genellikle O atomlarını, He⁺ iyonlarını ve UV fotonlarını içerir. Yıldızlararası dağınık bulutlarda fotonlar 1000 yıl kadar zaman süresince etkindir; bu tipik olarak bulutun yaşam zamanından daha kısadır. Yoğun karanlık bulutlarda UV fotonları etkin olarak toz zerrecikleri tarafından söndürülür ve ikili reaksiyonlar daha önemli hale gelmeye başlar. İç yıldız çevresi zarfında üretilen kısa

zincirli moleküller eğer dış zarfa enjekte edilirse hızla foto-ayırma maruz kalabilirler. Peeters ve arkadaşları (2003), N-substituentli zincirler adenin ve urasilin, büyük foto-ayırma sahip olduklarını ve sadece birkaç 100 yıl dağınık yıldızlararası ortamda yaşamlarını sürdürebileceklerini gösterdiler. Tabi ki, yıldız çevresi zarfının içlerindeki koşullar bu gibi büyük moleküllerden ziyade daha kısa sayıda zincirli moleküllerin üretilmesine izin verir (Cau, 2002). Eğer bu büyük PAH molekülleri gaz fazında ışık tesiriyle değişmeselerdi veya katı karbonlu partiküllerle birleşselerdi, sonra yolculuklarını yıldızlararası ortam boyunca organik moleküller olarak sürdürebilirlerdi.

Yıldızlararası bulutlarda, dağınık ve karanlık bulutlarda, PAH'ların haricindeki çok büyük hidrokarbonların ve karbon kümelerinin oluşumu Bettens ve Herbst (1996) tarafından önerildi. Dağınık bulutlarda, C_{60} 'dan daha karmaşık moleküllerin dahi oluşabileceğini buldular.

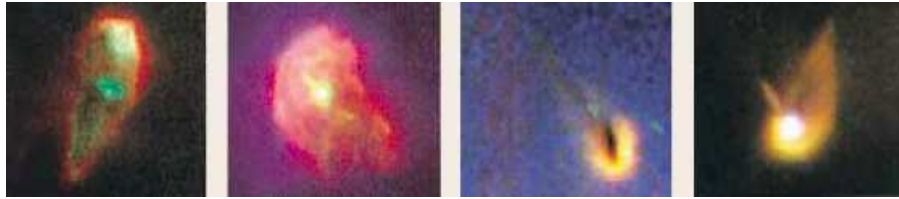
Önceden değinildiği üzere, yoğun yıldızlararası ortamda organik moleküller nadirdir. Işık tesiriyle değişmeyen gaz-fazında gruplar veya karbonlu zerreciklerde tutuklanmış gruplar olan bu moleküller, oluştukları karbon-zengini yıldızların çevrelerindeki zarflardan moleküler bulutlara olan yolculuklarında varlıklarını sürdürebilme ihtimalleri vardır. Yıldız oluşumu, yüksek yoğunluklu gazın sonradan çökmesiyle yoğun pre-yıldızsal çekirdeğin oluşmasına dayanır. Galli ve Shu (1993a) tarafından yapılan ilkel-yıldızsal oluşum modelinde, muhtemelen 1-10 AB yarıçaplı diskin uyguladığı merkezkaç kuvvetinin sınırına yaklaşıncaya kadar madde diske doğru serbest düşüş yapar. Şokun etkisi gazı sıkıştırması ve gazı ısıtmasıdır. Düşük hızlı şok zerreciklerin buharlaşmasına öncülük edebilir. Eğer şok hızı daha fazla ise, toz zerreciklerinin kendilerini yok etmesinden söz edilebilir. Böylece diskte meydana gelen sonraki kimyasal evrimin kendi yıldızlararası tarihinde hiçbir geçmişi olmayacaktır.

BÖLÜM 4

İLKEL GEZEĞEN OLUŞUM DİSKİ KİMYASI

İlkel gezegen oluşum disklerinde meydana gelen kimyasal devinim, Güneş Sistemi cisimlerinin organik envanterine katkı sağlayacak nitelik taşımaktadır. Öncelikle, moleküler bulutların durumları ve düşük-kütleli yıldız oluşumu teorisi hakkında kısa bir özetle başlayacağız. Sonra ilkel-solar bulutsunun fiziksel evrimini, disklerin evrimiyle ilişkilendirerek tanımlayacağız. Şimdilerde ilkel gezegen oluşum disklerin kimyasal bileşimini gözlemek kısmen mümkündür, bu yüzden ancak şimdi elde olan gözlemlerin özetle değerlendirilmesini yapacağız.

Kuyruklu yıldızlar ve asteroidlerle dünya dışı organik maddenin taşınması, muhtemelen, erken Dünya üzerinde prebiyotik kimyanın başlaması için gerekli moleküllerin gelişmesini sağlamıştır (Oró, 1961; Ehrenfreund, et al., 2002). İlkel gezegen oluşum diskleri, yaşamı aramak için çok önemlidir çünkü yaşamı başlatan çoğu biyomolekülü içerdikleri varsayılır (Ehrenfreund and Charnley, 2000). Göktaşlarına ait kayıtlar, çok önemli aşamalardan geçen ilkel yıldızlararası organik madde içeren karbonlu kondritleri kapsar (Cronin and Chang, 1993; Botta and Bada, 2002). Kuyruklu yıldızlar uçucu buz bileşimine sahiptir ki gözlenen moleküler bulutlarla benzerlikler taşırlar ve bunların sahip olduğu çoğu iz grupları yıldızlararası ortamda iyi bilinen türlerdendir. Bu yüzden, erken Dünya üzerindeki ve ötegezegenlerdeki prebiyotik kimya araştırılırken, yıldızlararası organiklerden başlayıp kuyruklu yıldızlar, GTP'ler (gezegenlerarası toz partikülleri) ve asteroidlerin kimyasıyla bir bağlantı kurulup oluşum disklerindeki (Şekil 4.1.) kimyasal aşamaların hesaba katılması gereklidir.



Şekil 4.1. Orion Bulutsusu içindeki ilkel gezegen oluşum diskleri. (Hubble Space Telescope WFPC2, Bally, J., Throop, H. and O'Dell, C.R., NASA, 1995).

4.1. Yıldız Oluşumu İle İlkel Gezegen Oluşum Diski İlişkisi

4.1.1. Moleküler Bulutlar

Yoğun moleküler bulutlar, daha dağınık yıldızlararası maddeden yıldızlararası türbülansın bulutları dağıtmasıyla belirli aşamalarda şekillenmiştir (MacLow and Klessen, 2003). Bunların içerisinde, toz zerreciklerinin yüzeylerindeki etkin kataliz yüzünden neredeyse tüm hidrojen moleküler formdadır (Hollenbach and Salpeter, 1971). Moleküler bulutlar çok soğuktur. Kozmik ışınlar tarafından dengelenen ısınma ve moleküler döngüsel emisyon tarafından yapılan soğutma, bunların sıcaklığının 10 K civarında korunmasını sağlar (Goldsmith and Langer, 1978).

4.1.2. Yıldızlararası maddenin sürdürülebilirliği ve yıkımı

Bulutsu kimyası açısından, yıldızsız çekirdekler daha ilgi çekicidir çünkü buralar, yeterli uzun süre boyunca yeteri kadar soğuk kalabilen bölgelerdir. Soğuk yıldızlararası gazın ve buz-kaplı toz zerreciklerinin içeriye doğru çökmesi yüzünden, izotermik durum bozulur ve yıldızlararası madde fiziksel ve kimyasal bir değişim geçirmeye başlar. Örneğin, termal radyasyonla ısıtılma ve gaz-zerreleriyle sürtünme etkileri, gaz mantolarının aşınmasına yol açıp toz zerreciklerinin diske yaklaşımına neden olabilir (Lunine, et al., 1991). Madde, ilkel gezegen oluşum diskine yaklaştığı zaman, daha fazla endotermik kimyasal reaksiyon, sıcaklığın yükselmesiyle birlikte rol oynamaya başlar. Diskin özelleşmiş bölgeleri çeşitli yıldızlararası maddelerin sürdürülebilirliğini sağlar (ısıya dayanıklı metaller, uçucu organikler ve buz).

4.2. İlkel-solar Bulutsunun Evrimi Ve Yapısı

4.2.1. Bulutsunun zaman çizelgesi

İlkel-solar bulutsunun ve diğer ilkel gezegen oluşum disklerin evrimi kabaca dört faza bölünebilir (Cameron, 1995): (1) ilkel Güneş'i ve gezegenleri oluşturacak madde olan moleküler bulutun yığılması (birkaç yüz bin yıl sürer); (2) diskin enerji

kaybetmesi; burada büyük ölçekte kütle taşınması söz konusudur (yaklaşık 50,000 yıl sürer); (3) büyük gezegenlerin oluşumları neredeyse tamamlanmış olup kayasal gezegenler için daha zamanın olduğu son solar birikim (1-2 milyon yıl); (4) yıldızsal ışımayla ve rüzgarlarla bulutsu gazının uzaklaştırılması (3-30 milyon yıl). Kuyruklyıldızlar 2. fazın sonunda toparlanmaya başlarlar. Burada şunu belirtmeliyiz ki, genç ilkel yıldızsal disklerin kimyası (mesela 10^5 yaşları civarında mevcut gaz kütleleri) biyolojik hiçbir ilişki içermeyebilir. Sonradan yığılan madde, diskte varlığını sürdürebilme açısından daha yüksek bir şansa sahiptir ve (ilkel) gezegenler, asteroidler ve kuyruklyıldızlar olarak toparlanabildiklerinde biyolojik anlam kazanmaya başlayabilir.

4.3. İlkel Gezegen Oluşum Disklerin Kimyası

4.3.1. Disklerdeki moleküllerin gözlemleri

Bazı T Tauri yıldızları etrafındaki disklerde bulunan moleküllerin gözlemleri, ilkel gezegen oluşum yığılma disklerinin kimyası hakkında doğrudan çalışmaları mümkün kılar (Dutrey, et al., 2000). Çoğu diskin içerdiği CO, interferometre ile analiz edildi. Bu bilgilerden hareketle, disklerin çok büyük (300-800 AB) ve Kepler hareketinde oldukları bulundu. Disklerdeki moleküllerin gözlemi için ön planda olan teknoloji kullanıldı ve Milimetre Altı Dizgesi (Submillimeter Array - SMA) veya Atacama Büyük Milimetre Dizgesi (Atacama Large Millimeter Array - ALMA) gibi yeni araçlar bu nesnelere üzerindeki bilgi birikimini büyük ölçüde arttırdı. Bazı basit organik moleküller, yıldızlararası ortamda ve kuyruklyıldızlarda da bulunan, bu disklerde de saptandı. Dutrey ve arkadaşları (2000), DM Tau, GG Tau ve T Tauri yıldızları çevrelerindeki disklerin moleküler içeriklerini de rapor ettiler. Bütün disklerde CO, HCN, CN, CS, H₂CO ve HCO⁺ geçişlerini saptadılar. Bundan sonra, disklerdeki bilinen moleküllerin listesi çalışılan nesnelere paralel olarak arttı (Çizelge 4.1.). Elde edilen miktarlar, yoğun yıldızlararası bulutlarda bulunanlardan daha az sayıdadır. İyonların ve radikallerin varlığı, dış tabakalarda, UV fotonları (Willacy and Langer, 2000) veya X-ışınlarının (Kastner, et al., 1997) iyonize edici bir kaynak olarak

kimyayı geliştirdiğini doğrular. Aikawa ve arkadaşları (2003), Nobeyama Milimetre Dizgesi (Nobeyama Millimeter Array) kullanarak LkCa15’de H₂CO haritaladı.

Çizelge 4.1. İlkel gezegen oluşum disklerin moleküler gözlemleri

Obje	Keşif	Maksimum Limitler	Referans
DM Tau	¹² CO, ¹³ CO, C ¹⁸ O HCN, HNC, CN, CS C ³⁴ S, H ₂ CO, HCO ⁺ , C ₂ H	H ¹³ CO ⁺ , N ₂ H ⁺ , SiO SiS, H ₂ S, C ₃ H ₂ , HCO HC ₃ N, CH ₃ OH, CO ⁺ SO, SO ₂ , SiC ₂ , HNCS HCOOCH ₃	Dutrey et al. (1997, 2000)
GG Tau	¹² CO, ¹³ CO, C ¹⁸ O, HCN CN, CS, H ₂ CO, HCO ⁺	HNC, C ³⁴ S, H ¹³ CO ⁺ C ₂ H, N ₂ H ⁺	Dutrey et al. (1997)
L1157	CH ₃ OH		Goldsmith et al. (1999)
LkCa15	CO, HCN, CN, CS HCO ⁺ , N ₂ H ⁺	OCS, HDO, DCN HNC, CH ₃ OH	Qi (2001)
TW Hya	CO, HCN, DCO ⁺ HCO ⁺ , H ¹³ CO ⁺		Kastner et al. (1997) van Dishoeck et al. (2003) van Zadelhoff et al. (2001)

4.4. İlkel Güneş Sistemi Maddesi

4.4.1. Kuyruklu yıldızsal organik moleküller

Kuyruklu yıldızlar için anahtar konu, bunların organik birleşiminin kökeninin, ilkel YAO, kısmen-işlenmiş YAO, saf bulutsu karışımından hangisine daha çok dayandırabileceğini açıklamaktır. Kuyruklu yıldızların gözlemleriyle elde edilecek sonuçların karşılaştırılmasıyla yukarıda sayılan modellerin herhangi birisinin bu olasılıkları açıklayabileceği umulur. Kuyruklu yıldız aileleri arasındaki karbon-zincirli grupların çeşitliliği ya başlangıçtaki ilkel gezegen oluşum diskinde (doğal yoldan) ya da kuyruklu yıldızların foto-aşamalı tarihi içerisinde (sonradan kazanılan) oluşup oluşmadığına göre farklılık gösterir. Kuyruklu yıldızların oluştuğu düşünülen 10 ve 40 AB arasındaki bölgelerde, orta yüzeyin sıcaklık yapısına bağlı olarak, buz içersindeki moleküllerin çok bol olduğu görüldü. Eğer yukarıda açıklanan “doğal yoldan” bakış açısı ele alınırsa, 10 ve 40 AB arasındaki karbon-zincirli grupların bolluğunun farklılığına bakılmalıdır. Özellikle, C₃ ve C₂ bağlayan katı fazlı grupların daha fazla olması beklenir ki komada bu moleküller daha sonradan foto-ayırma uğrayabilir (Zinner, 1998).

4.4.2. Meteoritik madde

Karbonlu meteoritik madde, yüksek derecede aşamalar geçirmiş yıldızlararası maddeleri sunar. Karbonlu kondritlerde bulunan organikler Bölüm 5’de detaylı olarak verilecektir.

4.5. Gezegen Oluşumu

Güneş Sistemi dışında saptanan galaktik gezegen sayısı her geçen gün artmaktadır. Fakat galaksimizdeki habitatların çeşitliliği içerisinde, bütün yaşamsal önkoşulları sağlayabilecek gezegenleri değerlendirmek için deneysel kanıtlar ve araştırmalar halen yeterli değildir. Aranılan gezegenler, Güneş benzeri yıldızların Jüpiter’den daha yakın dolanan dev gezegenlerin etrafında yoğunlaşmıştır.

Gezegen oluşumu, yıldız oluşumuyla ve erken yıldızsal evrimle oldukça yakın alakalıdır (örneğin Mannings, et al., 2000). Yıldız oluşumu aşamaları, moleküler bulut kütlelerinin çoğunun birleşmesiyle ve ilkel-yıldızın çevresindeki diskle birlikte, merkezi kütle oluşumuna öncülük eder ki başlangıçtaki açısal ivmelenmenin çoğu kaybedilmez ve gezegenlerin oluşacağı çevre meydana gelir. Diskteki gaz yoğunluğu, yoğun pre-yıldızsal buluta bağlı olarak $\sim 10^{10}$ kat artar ve tipik olarak her cm^3 ’te başlangıçtaki 10^4 seviyesinden 10^{12} hidrojen atomuna ulaşır. Toz partikülleri, doğal olarak bu daha yoğun ortamda yığılma ile birlikte mikron altı boyutlardan daha büyük boyutlara ulaşırlar. Gezegen oluşumuna dair günümüzdeki çoğu teorik çalışma gezegenimsi hipotezine dayanır ki bu hipotez; tozlu disklerin km-boyutlu, karşılıklı olarak birbirleriyle kütleçekimsel etkileşimli, bulutsu koşulları altında yoğunlaşmış elementlerden oluşan ve gezegensel yapı taşlarını meydana getiren gezegenimsi (planetesimaller) olarak adlandırılan kütleleri üretmesidir. Bu gezegenimsiler, eğer yeterli materyal ortamda varsa, karşılıklı olarak birbirleriyle çarpışıp kayasal gezegenlerin kütlelerini oluşturabilecek kadar büyüyebilirler.

Güneş Sistemi’ndeki iç gezegenlerin modelleri ve dev gezegenlerin evrimi, solar bileşimde ağır elementlerin bol miktarlarda bulunduğuna işaret eder. Bu durum, büyük gezegenlerin oluşumundaki elementler ve dolayısıyla genel olarak gezegenlerin oluşumundaki elementler açısından önemli bir kanıttır. Gezegenimsi yığılmanın

anahtar rolü, kayasal gezegenlerin ve uydularının aynı şekilde Güneş Sistemi'ndeki küçük nesnelere yüzeylerindeki kraterli yapıya bakıldığı zaman daha açık hale gelir. Aslında çoğu kuyruklu yıldız ve asteroit gezegenimsi artığı olabilir veya onlarla yakından ilişkili olabilir.

4.5.1. Güneş Sistemi oluşumu

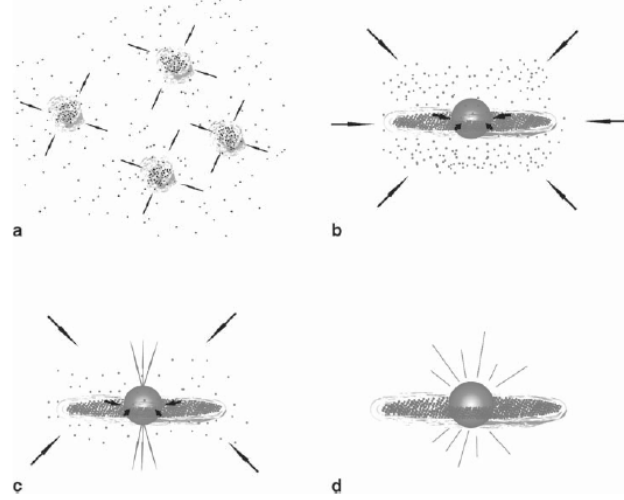
Dört dev gezegen (Jovian gezegenleri) Güneş Sistemi'nin açılma ivmelenmesinin %99.5'ini fakat kütlelerinin sadece %0.13'ünü oluşturur. Diğer taraftan, gezegen sisteminin kütlelerinin %99.5'ten fazlasını bu dört en büyük gezegenler oluşturur. Açılma ivmelenme dağılımı bulutsu hipotezi temel alındığında daha iyi anlaşılabilir (Kant, 1755). Bulutsu hipotezi, gezegen sisteminin ve yıldızın eş zamanlı olarak, basınç altında ve merkezi yoğunlaşmanın etkisiyle merkezkaç kuvvetiyle desteklenmiş basık gaz ve toz diskinden oluştuğunu varsayar (Laplace, 1796; Safronov, 1969; Lissauer, 1993; Markwick and Charnley, 2004).

1960'lı yıllarda nebula kuramına dolaylı olarak yaklaşarak Güneş Sistemi'nin oluşumu açıklanmaya çalışılmıştır. Güneş Sistemi'nin oluşumuna ilişkin gezegenlerin bir düzlemde oluşmasını açıklamak için bulutsunun mercek gibi yassı olması gerektiği düşünülmüştür. Bu da hızlı dönmeyle oluşabilirdi. Büzülme için hızlanan bulut yassılaştırırken, çekimsel çökme yani büzülme merkez yoğunluğunu da artırır. Merkez yoğunlaştıkça gaz basıncı ve sıcaklık da artar. İç sıcaklık 10 milyon K sıcaklığa ulaştıkça nükleer reaksiyonlar başlar ve bu süreç sonunda açığa çıkan enerji ışınım enerjisi olarak ortama yayılır. Bu durumda Güneş oluşmuştur (Şekil 4.2.).

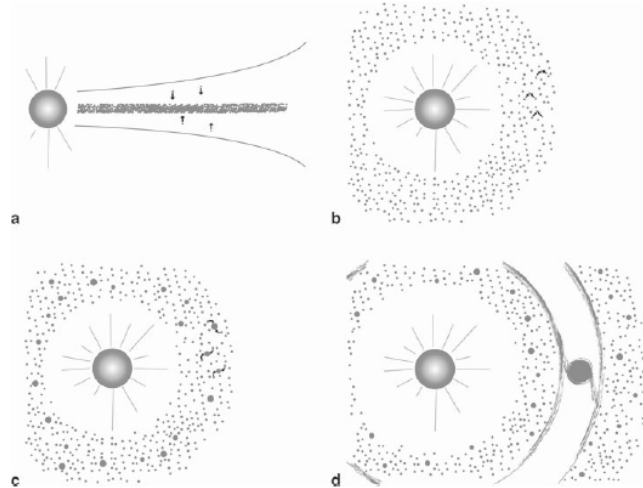
İvmelenme kazanan yassı diskte gezegen oluşumu ise bir dizi olaydan sonra gerçekleşmiştir. Önce bulutsu gazda soğuma sonucu toz oluşumu gerçekleşmiş, sonra tozlar çarpışmalar sonucu birleşerek büyük kütlelere ulaşmışlar ve kütle çekimi ile bu büyüme kartopu modeline göre hızlanmıştır. Bu yapılar bir bakıma ortamı süpürerek önce gezegenimsi yapıları sonra da daha büyük kütleli gezegenleri oluşturmuştur. Farklı elementlerin farklı sıcaklıklarda toz oluşturması, Güneş'ten farklı uzaklıklardaki gezegenlerin değişik kimyasal yapıda olduğunu açıklamaktadır.

Bu şekilde oluşan gezegenlerin yüzey şekilleri ve atmosferleri, Güneş'in ışınım etkisi, çarpışmalar ve kendi iç evrimleriyle zamanla değişmiştir (Şekil 4.3.). Kızılaltıyla

görüntülenmiş disk boyutları ve kütleleri teorik tahminle örtüşmektedir ve nebula hipotezini doğrulamaktadır (Markwick and Charnley, 2004).



Şekil 4.2. Yıldızsal bulutsu ve yıldız oluşumunun dört aşaması. (a) Çekirdeklerin moleküler bulut zarfında oluşması (b) Diskle çevrelenmiş merkezi ilkel-yıldız oluşumu. (c) İlkel-yıldız dışarıdan görünür hale gelir. (d) Yıldız çevresindeki disk 10^6 - 10^7 yıl kadar devamlılığını sürdürür (Morbidelli and Petit, 2005).



Şekil 4.3. Erken Güneş Sistemi yığılma aşamasının taslağı.

İç Güneş Sistemi, su ve metan gibi uçucu moleküllerin yoğunlaşmasına izin vermeyecek kadar çok sıcaktır, dolayısıyla oluşan gezegencikler gezegen öncesi diskin yalnızca %0,6 kütlelerinden ibarettir ve genel olarak silikatlar ve metaller gibi yüksek erime noktasına sahip olan kimyasal bileşiklerden oluşmuşlardır. Bu kayasal gök cisimleri sonunda yer benzeri gezegenler olmuştur. Daha ötelerde Jüpiter'in kütleçekimsel etkisi gezegen öncesi gök cisimlerinin bir araya gelmesini engellemiştir ve geride asteroit kuşağı kalmıştır (Morbidelli and Petit, 2001).

Daha da ötede, donma hattının gerisinde, daha uçucu olan buzlu bileşiklerin katı kalabileceği yerde, Jüpiter ve Satürn gaz devi hâline gelmiştir. Uranüs ve Neptün daha az madde yakalayabildiği ve çekirdeklerinin hidrojen bileşiklerinden oluşan buzdan meydana geldiğine inanıldığı için buz devi olarak bilinir (Thomes and Duncan, 1999).

4.5.2 Ötegezegenler

Şimdiye kadar Güneş'ten başka ana kol yıldızları etrafında yörüngelenen yüzlerce ötegezegen adayı belirlendi. Bilinen ötegezegenlerin çoğunun kendi yıldızı çevresinde Jüpiter'in Güneş'in etrafındaki uzaklığından daha yakın mesafede dolandıkları bulundu. Bu gezegenlerden bazıları çok değişik yörüngeler izlemektedir (Lin, et al., 2000). Bazı ötegezegenler ise kendi yıldızlarından Jüpiter-Güneş uzaklığının yüzde birinden daha az mesafede uzaktır. Dev gezegenlerin kendi yıldızlarına çok yakın konumda olabilmeleri mümkün görünmektedir (Lin, et al., 1996; Trilling, et al., 1998).

En bilinen Güneş dışı gezegenler kabaca Güneş'e benzeyen F, G veya K spektral sınıfındaki anakol yıldızlarının yörüngesindedirler (Furhmann, 2002). Bu da basitçe gezegen araştırma programlarının bu tür yıldızlar üzerinde yoğunlaşmasının sebeplerinden biridir. Ancak bu hesaba katıldığında bile istatistiksel analizler düşük kütleli yıldızların (M sınıfı) gezegene sahip olma ihtimalinin de düşük olduğunu veya sahip olanların da gezegenlerinin daha düşük kütleyle sahip olacağı için tespit edilmesinin zor olacağını gösterir.

Bundan başka, metalliği yüksek olan yıldızların [Fe/H] gezegene sahip olma ihtimali daha yüksektir ve bunlar daha düşük metalliğe sahip yıldızlara göre daha fazla kütleyle sahip olma eğilimindedir (Santos, et al., 2003, Fischer, et al., 2004).

BÖLÜM 5

GEZEGENSEL ORGANİK MOLEKÜLLER

5.1. Güneş Sistemi Gezegenlerinin Atmosferlerindeki Organik Moleküller

Güneş Sistemi'nde üç tip atmosferik çevre bulunabilir: yüksek derecede oksijenlenmiş Dünya-benzeri atmosferler, düşük derecede indirgenmiş Titan, Plüton ve Triton atmosferleri ve yüksek derecede indirgenmiş dev gezegenlerin atmosferleri. Hidrojen, helyum ve oksijenden sonra evrende en bol bulunan element olan karbon, kayasal gezegenlerin atmosferlerinde daha çok oksijenle birleşip karbon dioksit ve karbon monoksit formunda bulunur. Dünya üzerinde metan önemli bir miktarda bulunur ki bu oran yaşamın varlığı ve etkinliğiyle yakından alakalıdır. Kayasal olmayan gezegenlerin atmosferlerinde metan çok miktarda bulunur ve karbonun çoğunluğunu içinde barındırır. Bu atmosferlerde diğer organikler genellikle metanın içinde bulunduğu fotokimyasal aşamalarla oluşur. Titan, organik moleküller söz konusu olduğunda, en karmaşık atmosfere sahiptir. Titan'ın atmosferi, Dünya'da yaşamın başlamasından önce hakim olan koşulların daha düşük - sıcaklıklı versiyonunu temsil edebilir.

5.1.1. Bazı temel kavramlar

Güneş Sistemi toplamda 8 gezegene sahiptir. İlk bakışta gezegenler ikiye ayrılabilir: (1) Dünya benzeri gezegenler -kaysal gezegenler- (2) dev veya Jüpiter benzeri gezegenler -Jovian gezegenleri-. Dev gezegenlerinin etrafında yörüngelenen onlarca uyduları vardır. Bu büyük kütlelerden başka, Güneş Sistemi'nde en büyüğü Plüton olan on binlerce daha küçük kütleler mevcuttur.

Merkür hariç diğer bütün büyük gezegenlerde ve Satürn'ün en büyük uydusu olan Titan'da mevcut atmosferler bulundu. Merkür, Plüton ve Neptün'ün en büyük uydusu olan Triton'da çok ince atmosferler bulundu.

Çizelge 5.1.'de gezegenlerin atmosferlerinde bulunan en bol üç grup listelenmiştir. Bileşimleri açısından, hiç bir bilinen atmosfer, yıldızlararası ortama veya kuyruklu yıldızlara benzememektedir. Atmosferlerin bileşimleri ve evrimi hakkında

Çizelge 5.1. Gezegenlerin atmosferlerinde en bol bulunan üç grup

Venüs	CO ₂ (0.96)	N ₂ (3.5 × 10 ⁻²)	SO ₂ (1.5 × 10 ⁻⁴)
Dünya	N ₂ (0.78)	O ₂ (0.21)	Ar(9.3 × 10 ⁻³)
Mars	CO ₂ (0.95)	N ₂ (2.7 × 10 ⁻²)	Ar(1.6 × 10 ⁻²)
Titan	N ₂ (0.95)	Ar(≤ 6 – 7 × 10 ⁻²)†	CH ₄ (4 × 10 ⁻²)
Plütön	N ₂ (0.98)	CH ₄ (10 ⁻³ – 10 ⁻²)	CO(10 ⁻³)
Jüpiter	H ₂ (0.864)	He (0.136)	CH ₄ (1.81 × 10 ⁻³)‡
Satürn	H ₂ (0.885)	He (0.115)	CH ₄ (5 × 10 ⁻³)‡
Uranüs	H ₂ (0.85)	He (0.15)	CH ₄ (2 × 10 ⁻²)‡
Neptün	H ₂ (0.85)	He (0.15)	CH ₄ (2 × 10 ⁻²)‡

Parantezlerde verilen karışım oranlarıdır.

† ölçülmemiş

** H₂O, atmosferde görülen bulutların altında muhtemelen CH₄'dan daha boldur.*

önemli bir gözlem ise bunların gezegenlerin çekimleriyle yakından etkili olduğudur. En büyük kütleli gezegenlerin atmosferleri başlangıçtaki bileşimlerini korumuşlardır çünkü en hafif atomun (H) önemli miktarlarda gezegenden kaçması mümkün değildir. Daha küçük gezegenlerin atmosferleri, örneğin kayasal gezegenlere ek olarak Titan, Plütön ve Triton, hafif gazlarının bir kısmını kaybetmiştir. Kaybetme aşaması, bunların atmosferlerinin bileşimlerinin zamanla evrimi açısından önemli sonuçlar içerir. Örneğin, erken Venüs'ün sıvı suyunun buharlaştığı ve yüksek rakımlara yükseldiği ve burada foto-ayırma uğradığı düşünülmektedir. H atomlarının çoğu gezegenden uzaklaşmıştır fakat oksijen atmosferde kalmıştır ve diğer atmosferik gruplarla ve yüzeydeki gruplarla etkileşmeye başlamıştır. Büyük miktarda sıvı suyun kaybı, karbondioksit depolaması kapasitesini azaltmıştır (Dünya üzerinde karbondioksitin büyük bir miktarı litosferde karbonatlar olarak depolanmaktadır). Atmosferde karbondioksit miktarının artması yüzey sıcaklığını, aynı zamanda da buharlaşma oranını arttırmıştır. Bu aşama kontrolden çıkmış bir hale gelmiştir ve sonuçta CO₂ ile zengin bir atmosfer ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.1.'de atmosferler oksijen miktarlarına göre üç grupta sınıflandırılmıştır. Birinci grup kayasal gezegenleri içerir ki bunların atmosferleri karbondioksit veya moleküler oksijen bakımından baskındır; yüksek derecede oksijenlenmiş atmosferlerdir. İkinci grup, yüksek miktarda CO/CH₄ oranlarıyla beraber Titan, Plüton ve Triton'u içerir; düşük derecede indirgenmiş atmosferlerdir. Üçüncü grup ise dev gezegenlerdir ki buralarda CO/CH₄ oranı düşük seviyededir; yüksek derecede indirgenmiş atmosferlerdir. Dünya boyutlarında veya daha az boyutlarda olan iç gezegenlerin atmosferleri, H'in kaçması ve Güneş Sistemi'nin içlerindeki yüksek sıcaklıklardan dolayı suyun buharlaşması sonucu oksijenlenmiş bir hale gelmiştir.

5.1.2. Venüs

Venüs Güneş Sistemi'nde Güneş'ten uzaklığına göre ikinci gezegendir. Çok kalın bir atmosfere sahiptir ki sera etkisi sonucu bu durumu almıştır. Yüzeyinin basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 90 bar ve 730 K kadardır.

Venüs'ün atmosferi hiç bir organik molekül barındırabilecek gibi görünmemektedir. Karbon içeren üç molekül saptanmıştır: OCS (Bézard, et al., 1990), CO ve atmosferde baskın olan CO₂ (Bkz. Çizelge 5.1.). Atmosferin kimyasal birleşimi farklı aşamalarla belirlenir: alt atmosferde ve yüzeydeki (0 - 60 km) denge kimyası, üst atmosferde (60-110 km) fotokimya.

Kimyasal birleşim ve aşamalar ile ilgili yapılan en erken çalışma Florensky ve arkadaşları (1978) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaya göre atmosferin üç tabakaya bölüldüğü varsayılmıştır: termokimyasal dengeli tabaka (0 - 33 km), fotokimyasal tabaka (> 50 km) ve orta tabaka. Model ihmal edilebilir miktarda bazı organik molekülleri (HCN, C₂H₂) üretmiştir. Florensky ve arkadaşları (1978) metan miktarını dikkate aldılar. Termokimyasal dengenin yaklaşık 50 km yükseklikte olduğu varsayılmıştır. Krasnopolsky ve Parshev (1979) yüzey kayalarının katalitik etkisine bağlı olarak çoğu grup için termokimyasal dengenin yüzeye yakın bir yerde olduğunu savundular.

Yerde konuşlandırılmış yüksek spektral çözünürlüklü spektrumda OCS miktarı 33 km yükseklikte 4.4±1.0 ppm olarak belirlendi ki yüzeye doğru gittikçe artış gösteriyordu (Pollack, et al., 1993). Aynı yazarlar CO için bolluğu 36 km'de 23 ± 5

ppm olarak belirlediler ki yüzeye doğru düşüş gösteriyordu. Krasnopolsky ve Pollack (1994) bu özellikleri açıklamak için detaylı bir model oluşturdular ve sülfürün yavaş atmosferik döngüsü ile nasıl ilişkili olduğunu gösterdiler.

Venüs kalın ve küresel çapta bulutlarla çevrilidir. Bazı bulut tabakaları dikey olarak 50 ve 75 km yüksekliklerin arasını işgal etmektedirler. Bulut partikülleri yoğunlaşmış sülfürik asitten oluşmuştur fakat diğer bileşikler de bulunur. Bulutların içinde karmaşık ve halen az bilinen bir kimyasal döngü yer alır ki bu döngü su, SO₃, CO₂, vb. bileşikler içerir. Venüs atmosferinde hiç bir organik molekül gözlenmemiştir ve bulutlarda önemli bir miktarda olduğu konusunda da hiç bir tahmin yoktur.

5.1.3. Dünya üzerinde yaşamı saptamak

Venüs ve Dünya boyutsal açıdan ve yoğunluk açısından birbirlerine çok benzerler. Aslında, toplam karbondioksit içerik her iki gezegende de benzerdir. Venüs'te karbondioksit atmosferde bulunur, oysa ki Dünya üzerinde atmosferin çoğu litosferde (karbonat kayaları) bulunur. Diğer gruplar için de aynı durum geçerlidir; SO₂ ve HCl (Dünya okyanuslarındaki NaCl) gibi.

Güneş Sistemi'nde Dünya'nın atmosferi eşsizdir. Dünya, yüzeyinde sıvı su olduğu bilinen tek gezegendir. Okyanusların ve atmosferin arasındaki etkileşim atmosferin bileşimi önemli şekilde etkilemektedir.

Lovelock (1965), Dünya üzerinde yaşam için güçlü bir işaret olarak metan ve nitroz oksit (N₂O), her ikisi de yüksekçe indirgenmiş gruplardır, ile birlikte oksitleyici gaz olan moleküler oksijenin varlığını önermiştir.

Sagan ve arkadaşları (1993) çok ilginç bir deney yaptılar. Onlar, Galileo uzay mekiğinin kendi evi olan gezegenin üzerinden yakın bir geçiş yaptığı sırada yaptığı gözlemleri analiz ederek Dünya üzerinde yaşam için kanıt bulmaya çalıştılar.

Sagan ve arkadaşları (1993) aşağıdaki sonuçları elde ettiler:

- UV dalgaboylarında stratosferde büyük miktarlarda ozon gözlemlendi. Ozon termodinamik dengesizlik içerisindeydi; tahmin edildiğinden yaklaşık 20 kat daha fazlaydı. Bu, ozonun içinde bulunduğu UV-fotokimyasal aşamalarıyla açıklanabildi. Ayrıca önemli miktarda moleküler oksijenin varlığı da anlamına geliyordu.

Oksijen, H atomunun uzaya kaçmasıyla birlikte stratosferik suyun fotolizinden oluşabilir. Dünya kabuğu ve aynı zamanda CO ve H₂ gibi volkanik gazlarla reaksiyonlar oksijenin kaynağıdır. Volkanik etki, indüklenmiş fotoliz üretiminden 60 kat daha yüksek olabilir (Schindler and Kasting, 2000). Bu yüzden, yalnızca fotoliz atmosferdeki büyük miktardaki oksijeni sağlayamaz.

Sagan ve arkadaşları (1993) ayrıca stratosferdeki önemli seviyedeki ozonun yeryüzünü yüksek UV ışımından koruyacağına dikkat çekti. Bu demektir ki organik kimya için önemli olan moleküler bağlar (C-C, C-H, C-O, C-N) foto-yıkımdan az zarar görecektir, böylece bu kimya yüzeyde yerini alabilecektir.

- Aynı zamanda metan da Galileo uzay mekiği ile gözlemlendi. Metan, yakın-kızılaltı soğurma bandları içerir ki bunlar Yakın Kızılaltı Haritalama Spektrometresi (NIMS) ile görülür. Metanın ölçülmüş ve bilinen miktarı yaklaşık olarak denge hesaplamalarından beklenenden 140 kat daha fazladır. Gezegende bir kaynak olmadıkça metanın oksijen-baskın atmosferde bulunması mümkün değildir. Aynı gerçek Venüs ve Mars için de geçerlidir.

Dünya atmosferindeki metan çoğunlukla doğal biyolojik kaynaklardan (metan bakterilerinden) ve insan-kökenli kaynaklardan (pirinç tarlaları, biyomas yangını, vb.) gelmektedir. Abiyotik kaynakların (farklı aşamalar yüzünden yüzeyden gelen gazlar) katkısı ihmal edilebilir. Metan troposferde karışım oranı 1.6 ppmv olacak şekilde homojen karışır.

- Nitroz oksidin (N₂O) yaklaşık 1 ppm seviyesinde bulunması ayrıca Galileo/NIMS verilerinden elde edilmiştir. Denge için tahmin edildiğinden yaklaşık 15 kat daha fazla bir orandır. Dünya üzerinde N₂O, bakteriler ve algler tarafından üretilir yani toprakta ve okyanuslardaki NO₃⁻, N₂ ve N₂O'e dönüştürülür.

5.1.4. Mars

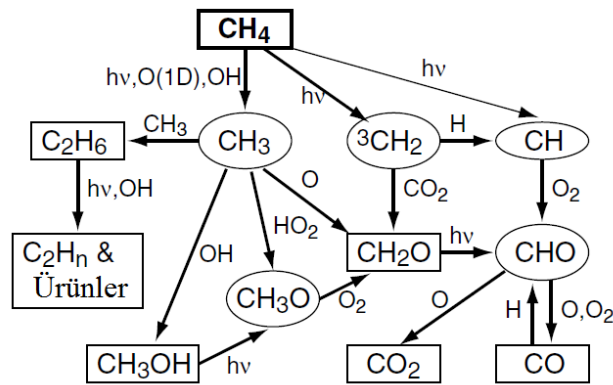
Mars çok ince (yüzeyde yaklaşık 6 mbar basınç) ve solar radyasyonu geçiren bir atmosfere sahiptir. Bu zamana kadar Mars'ın atmosferinde herhangi bir organik gruba dair bir saptama yoktur.

H atomlarının ve bir fotokimyasal kaynağın eksikliğinden dolayı Mars atmosferinde çok büyük miktarlarda metanın varlığı beklenmez. Eğer metan

atmosferde bulunuyorsa, ya iç taraflardan kökenlenen bir gaz sızıntısı vardır ya biyolojik kökenlidir. Metanın Mars atmosferinde bir kaç yıl saptanması vardır. Metanın en yüksek seviyesi, 1971'de Mariner 9 uzay mekiğinin üzerindeki kızılaltı spektrometre ile yapılan ölçümlerle 20 ppb olarak belirlenmiştir (Maguire, 1977). Krasnopolsky ve arkadaşları (1997) en yüksek sınırı 3.6 ve 8 μm aralığındaki metan çizgilerinden yola çıkarak 70 ± 50 ppb buldu. Fakat bütün sonuçlara ihtiyatlı yaklaşmak gerektiği vurgulanmıştır.

Formaldehit (CH_2O) geçici olarak Mars atmosferinde saptandı. Rus Phobos görevi üzerinde uçan Auguste kızılaltı spektrometresinden alınan veriler 3.66 ve 3.69 μm 'ye yakın spektral değerler gösterdi. Korablev ve arkadaşları (1993) bu değerlerin formaldehite ait olabileceğini önerdi.

Mars üzerinde meydana gelen bölgesel gaz sızıntısı fikri, Mars Küresel Araştırma uzay aracı (Mars Global Surveyor) resimlerinde görülen yüzey şekillerini açıklamak için önerilmişti. Bilhassa bazı özellikler yüzeyde su sızıntısı ve yüzey akıntıları gibi aşamaları hatırlatan şekillerdi (Malin and Edgett, 2000). Eğer bu doğruysa, gaz sızıntıları halen bölgesel ölçülerde meydana geliyor olabilir. Metana benzeyen gazlar, başka grupların arasından gaz sızıntısı olaylarıyla dışarıya salınabilir ve bir seri kimyasal reaksiyonu tetikleyebilir (Wong, et al., 2003) (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Mars atmosferinde hidrokarbon kimyasının önemli yol izleri. Kararlı birleşikler dikdörtgen, radikaller ovaler içerisinde ve çıkan gazdaki bileşiklerde koyu yazılmıştır (Wong, et al., 2003).

5.1.5. Dev gezegenler

Organik moleküller Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün'ün atmosferlerinin gözlenebilir kısımlarında bulundu. Jüpiter'in atmosferinin bileşimi şimdiye kadar en iyi bilinendir ki bu konuda Galileo Orbiter ve Galileo Entry Probe görevinin katkıları vardır.

Dev gezegenlerin atmosferlerindeki çok miktardaki metanın durumu sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki reaksiyonla ilişkilidir:



Yüksek sıcaklıklarda, yaklaşık 1000 K'den daha yükseklerde, denge el yönünde sağa kayar, düşük sıcaklıklarda ise el yönünde sol tarafa kayar. Dev gezegenlerin atmosferlerinin gözlenebilir kısımlarındaki sıcaklık 1000 K'den daha düşüktür.

Titan ve Plüton'da olduğu gibi, yüksek stratosferik seviyelerde metanın UV fotolizi ile organik moleküllerin kimyası oluşmaya başlar. Buradaki önemli fark baskın olan arka alan gazıdır. Bu, Titan ve Plüton'da moleküler azot yerine dev gezegenler için moleküler hidrojenidir.

Dev gezegenlerin atmosferinde metan çok boldur. Derin troposfer, stratosfer için metanın değişmez kaynağıdır. UV foto-yıkımı stratosferin alt-milibar seviyelerinde meydana gelir. Ürünlerden diğer gruplar milibar ve daha yüksek basınç seviyelerinde oluşur. Temel ve kararlı ürünler etan, asetilen ve poliasetilenlerdir (C_{2n}H_2). Atmosferdeki dikey hareketler molekülleri farklı seviyelere taşır. Neticede daha kararlı ürünler troposferin aşağılarına doğru yayılırlar. Burada, yüksek sıcaklıklarda ve basınçta, bunlar tekrardan metanı oluşturur.

Çizelge 5.2.'de dev gezegenlerin bilinen organik molekülleri listelenmiştir. Daha küçük devler, Uranüs ve Neptün, en yüksek metan bolluğuna sahiptir. Ağır elementlerin bolluğu ayrıca Jüpiter ve Satürn'den daha yüksektir.

Hidrokarbon partiküllerinden oluşan bulutlar ve sis bütün dev gezegenlerde de oluşur. Jüpiter ve Satürn üzerinde stratosferik sisler büyük olasılıkla organik moleküllerden oluşmuştur. Uçucuların yoğunlaşmasıyla oluşmuş diğer bulutların Jüpiter'in yaklaşık 1,2 ve 5 bar basıncı altında amonyum buzu, amonyum hidrosülfid ve

su içerdiği düşünülmektedir (Atreya, 1986). Sadece amonyum buzu saptanabilmiştir (Baines, et al., 2002). Öte yandan, eğer gelecek gözlemler de doğrulanırsa, Jüpiter’de su bulutunun varlığıyla ilgili güçlü bir önerme vardır (Roos-Serote, et al., 2000).

1994 yılında kuyruklu yıldız D/Shoemaker-Levy 9, 20 parçaya ayrıldıktan sonra Jüpiter’e çarptı. Çarpışmanın getirdiği sonuçlar dikkatli şekilde izlendi ve çalışıldı. Bütün parçalar atmosferde patladı. Bu patlamalar ısınmış ve şoklanmış gaz devinin havasını kuyruklu yıldız materyali ile karıştırdı ve basıncın önemsenmediği ana bulutun 3000 km altına kadar sürükledi. Bu hareketlenme sonucunda çoğu kimyasal reaksiyonlar yeni moleküllerin oluşmasını sağladı. Lellouch (1996) bazı deneylerinde hidrojenyanid (HCN) saptadı. HCN miktarının 1995 ile 1998 yılları süresinde normal değerden 10 ila 100 kat daha yükseldiğini saptadılar. Ayrıca CH₄ ve C₂H₂ emisyon spektrumlarında çarpışmadan sonra değiştiğini gözlemlerler. Sonuç olarak bu grupların miktarlarının, sıcaklık etkileri veya çarpışmalarla değişebileceği yorumunda bulunuldu.

Çizelge 5.2. Dev gezegenlerin atmosferlerindeki organik moleküller (^aAtreya, et al., (2003); ^b Irwin, (2003)’den uyarlanmıştır.)

Bileşen	Jüpiter ^a	Satürn ^a	Uranüs ^b	Neptün ^b
CH ₄	X	X	X	X
CH ₃	X (Kutup bölg.)	X	-	-
C ₂ H ₆	X (Strat.)	X (Strat.)	X	X
C ₂ H ₂	X (Strat.)	X (Strat.)	X	X
C ₂ H ₄	X (Kutup bölg.)	X (Güney hemisfer)	-	-
C ₃ H ₄	X (Kutup bölg.)	X	-	-
C ₃ H ₈	-	-	-	-
C ₄ H ₂	-	X	-	-
C ₆ H ₆	X	-	-	-
HCN	X	-	-	X
CH ₃ C ₂ H	X	X	-	-

5.1.6. Titan

Titan, Güneş Sistemi’ndeki en uzak, en ilginç cisimdir ve atmosferinde organik moleküller barındırır. Titan’ın atmosferi Dünya’nınki ile bazı benzerliklere sahiptir: her iki atmosferin toplam kütlesi ($\sim 5 \times 10^{18}$ kg), yüzeydeki basınç (Dünya için 1 bar; Titan

için 1.5 bar) ve aynı zamanda temel atmosfer içerikleri (Dünya için moleküler azot %78; Titan için %94) benzerdir. Titan atmosferinde tanımlanan ikinci en önemli bileşik metandır. Fakat, atmosferin en azından %6'sı argondan (^{36}Ar , ^{38}Ar) oluşur (Bkz. Çizelge 5.1.). Titan'ın şimdiki atmosferinin bileşiminin, Dünya'da yaşam başlamadan önce Dünya'nın sahip olduğu atmosfere benzediği düşünülebilir.

Dünya ile Titan arasındaki en önemli fark sıcaklıktır. Titan, Dünya'ya kıyasla Güneş'ten 10 kat daha uzak olduğundan yüzey sıcaklığı (94 K) daha düşüktür. Ayrıca Titan'ın kütlesi Dünya'dan yaklaşık olarak 44 kat daha azdır. Titan'ın atmosferi bu yüzden gezegene daha az bağlıdır ve atomların ve moleküllerin kaçıışı daha kolaydır.

Atmosfer, UV güneş ışığına maruz bırakılmıştır ve Satürn'ün magnetosferinden gelen elektronlarca bombardıman halindedir. Yüksek stratosferik rakımda (>500 km) metanın fotolizi ile ortaya çıkan kimyasal reaksiyonların öncülüğünde daha karmaşık moleküller oluşmaktadır.

2004 ortalarında Satürn'e varan Cassini/Huygens göreviyle birlikte araştırmalar artmaya başlamıştır. 2005 yılında Huygens aracı Titan'ın atmosferine iniş yaptı. Uzaktan algılama gözlemleri Titan'ın atmosferindeki aşamalar hakkındaki soruların çoğunu çözdü (Lebreton, et al., 2005). Bu zamana kadar en detaylı gözlemler, 1980'lerin başlarında Voyager uzay aracı üzerindeki Kızılaltı Girişimölçer Spektrometre ve Radyometre (IRIS) deneyleriyle yapılmıştı. Titan'ın yılı 30 Dünya yılına karşılık geldiğinden, 9 aylık bir zaman dilimi Titan yılının sadece yaklaşık bir haftasına karşılık gelmektedir. Uçuş zamanında, Titan kendi kuzey yarımküresinde bahar ekinoksundan geçiyordu; bu yüzden kuzey kutbu yıllarca hakim olan karanlıktan sonra güneş ışığını görmüştü. Bazı bileşiklerin enlemsel dağılımının gözlenmesi, bunun sebeplerinden biridir. Yakın zamanda hem yerdeki hem de Dünya-yörüngesindeki gözlemler, özellikle ESA'nın Kızılaltı Uzay Gözlemevi (ISO) gibi uzaktan algılama gözlemleri mümkün olmaya başladı. Bu yeni veriler bilinen grupların listesine eklendi ve Voyager sonuçlarıyla doğrulandı ve/veya düzeltildi (Coustenis and Bézard, 1995).

Çizelge 5.3.'de şimdide bilinen gruplar ve bunların miktarları listelenmiştir (Coustenis and Taylor, 1999). Görüldüğü üzere uzaktan algılama bilgilerinin çoğu stratosfere aittir yani yaklaşık 45 ve 300 km arasındaki yüksekliği tanımlamaktadır.

Çizelge 5.3. Titan'ın atmosferinin bileşimi (Coustenis and Taylor, 1999).

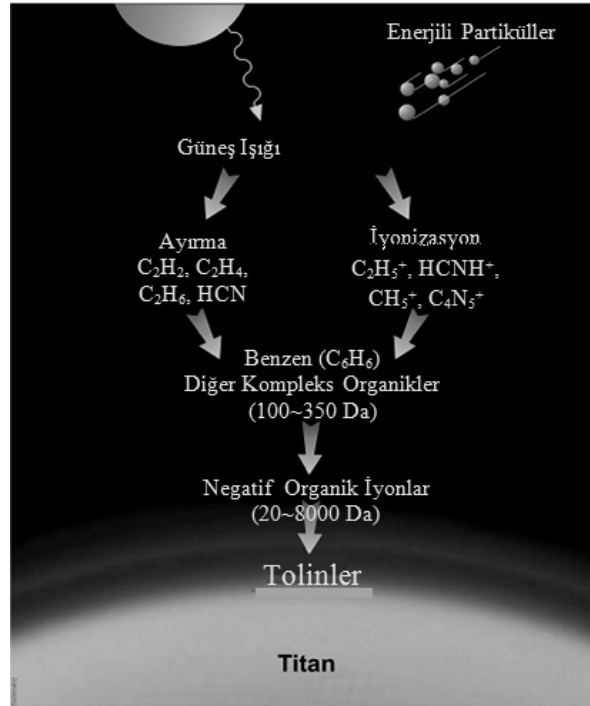
Bileşen	Mol Kesri (atm. seviyesi)
N ₂	0.98 – 0.85
Ar	$< 7 \times 10^{-2}$ (yüzey)
CH ₄	$4.5 - 8.5 \times 10^{-2}$ (yüzey)
	$1.7 - 3.0 \times 10^{-2}$ (strat.)
H ₂	1.1×10^{-3}
Ne	$< \times 10^{-2}$
C ₂ H ₆	1.3×10^{-5} (130 km)
C ₃ H ₈	5×10^{-7} (110 km)
C ₂ H ₂	3×10^{-7} (130 km)
C ₂ H ₄	1.5×10^{-7} (185 km)
CH ₃ C ₂ H	5×10^{-9} (80 km)
C ₄ H ₂	1.4×10^{-9} (100 km)
C ₂ H ₂	5.5×10^{-9} (170 km)
HCN	1.7×10^{-7} (110 km)
	4×10^{-9} (170 km)
HC ₃ N	$< 1.5 \times 10^{-9}$ (110 km)
	8.4×10^{-8} (170 km)
CH ₃ CN	1×10^{-8} (320 km)
	1.5×10^{-9} (180 km)
H ₂ O	8×10^{-9} (400 km)
CO	$5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$ (strato.)
	$1 - 6 \times 10^{-5}$
CO ₂	1.4×10^{-8} (110 km)

Metan reaksiyon zincirinin en üstünde parçalanmış haldedir. Bu aşama etkin olarak metanı atmosferden eler. Eğer tabii hiç bir kaynak bulunmazsa, metanın bulunan miktarı ve yıkılma oranı bütün metanı yaklaşık 10^7 yıl içerisinde parçalayabilecektir (Yung, et al., 1984). Bu kaynağın tanımlanması, muhtemelen yüzeyde, çözülmesi gereken ana problemlerden birisidir. Olası kaynaklar tasarlanmıştır: hidrokarbon (etan/metan) göllerden buharlaşma (McKay, et al., 1993), okyanus yüzeyi-altından dağıtmak (Kossacki and Lorenz, 1996; Fortes, 2000), kriyovolkanizm (Lorenz, et al., 1997) veya yüzey altındaki metan hidrat tabakası (Loveday, et al., 2001). Metan, Titan için önemli bir sera etkili gazdır ve eğer kaynakları durursa, atmosfer çökebilir. Burada bir döngü aşaması olabilir yani atmosferde düşük basınç/düşük sıcaklık durumu, yüksek basınç/(daha) yüksek sıcaklık durumuyla birbirini takip edebilir (Lorenz, et al., 1997).

Griffith ve arkadaşları (1998) ilk defa yaklaşık 15 km yükseklikte yer alan troposferik bulutların gözlemini rapor ettiler. Tokano ve ark. (2001) troposferik metan döngüsünün 3-D çalışmasını Genel Döngüsel Modeli (General Circulation Model) ile benzer şartları oluşturdular ve bütün metan döngüsünün atmosfer içerisinde yer aldığı yani hiç bir metan yağmur damlasının yüzeye erişmediği sonucuna vardılar.

Titan'ın atmosferi küresel sis tabakasına sahiptir ki bu tabakanın alt stratosferde yerleştiği düşünülür. Sis partikülleri tam bileşimi bilinmeyen organik moleküllerden oluşmuştur. Khare ve ark. (1984) tarafından yapılan ilk ünlü laboratuvar deneyinde partiküller, tolinler olarak adlandırılan, Titan-benzeri gaz karışımının UV ışınlanması ve elektrik boşalmaları ile üretildi. Bunların optik özellikleri, Titan sisinin optik özelliklerine benzedi ve gözlenen spektral değerlerin bazılarını açıklayabildi. Khare ve ark. (1984) tolinlerin 75'den fazla birleşik (hidrokarbonlar ve nitriller) ve C-H-N polimerlerini içerdiğini buldular. Cassini uzay aracından alınan bilgilerden yola çıkarak Titan'ın atmosferinde tolin oluşumunun yeni modelini oluşturuldu (Şekil 5.2.). Bu model, Titan'ın atmosferindeki düşük yüksekliklerde büyük çapta pozitif ve negatif iyonların saptanmasına dayanıyordu. Negatif iyonların varlığı, tolinlerin oluşumunda karbon-azot öncüllerinin önemli rolü olduğunu kanıtladı (Waite, et al., 2007).

Bundan başka, tolinler yıldızlararası ortamda da bulundu. HR 4796A olarak bilinen yıldızın çevresindeki diskte, Near-Infrared Camera and Multi-Object Spektrometer (NICMOS) kullanılarak tolin-benzeri karmaşık organik materyal saptandı (Köhler, et al., 2008). Carl Sagan ise tolinleri "Titan'ın atmosferinde de bulunan Urey-



Şekil 5.2. Titan'ın üst atmosferinde tolin oluşumu (Southwest Research Institute, 2007).

Miller tipi deneylerden elde edilen tanımlanması zor olan gaz karışımları” olarak kullandı (Sagan and Khare, 1979). Bu yüzden tolinler özel bir grup bileşen değildir, ama genelde gezegen yüzeylerinin kırmızımsı görünmesine neden olurlar. Bunlara ilaveten, toprak bakterilerinin büyük bir çeşidinin, hem aerobik hem de anaerobik bakterilerden, tolinleri kendileri için karbon kaynağı ve azot kaynağı olarak kullandıkları bulundu (Stoker, et al., 1999). Bu yüzden tolinlerin, ototrofi evrilmeden önce heterotrofik mikroorganizmalar için ilk mikrobiyal kaynak olduğu düşünüldü. Şimdilerde Huygens, sis partikülleri ve Titan’ın atmosferi ve yüzeyi hakkında doğrudan detaylı ölçümleri ulaştırmaya devam etmektedir.

5.1.7. Plüton ve Triton

Plüton ve Triton kütle ve bileşim açısından çok benzerdir ve ikisi de Güneş Sistemi’nin daha soğuk kısımlarında yani sistemin dış taraflarında yer alırlar.

Plüton’un atmosferi 1980’lerin başlarında yıldızsal örtülmelerin ölçülmesiyle keşfedilmiştir (Fink, et al., 1980). Yüzey basıncı sırasıyla 10-100 μm bar arasındadır ve yüzey sıcaklığı 36 K civarındadır. Yüzey üzerinde büyük miktarlarda donmuş azotun gözlenmesi, atmosferinin ana bileşiğinin moleküler azotu takiben (Owen, et al., 1993) metan ile karbon monoksit olduğunu akla getirmektedir (bkz. Çizelge 5.1.). Atmosferin fotokimyasal modelleri daha karmaşık hidrokarbonların ve nitrillerin oluşumunu tahmin ettirir (Krasnopolsky and Cruikshank, 1999).

Triton’un atmosferi Plüton’unkine bileşim ve yapı bakımından çok benzemektedir. 1989’da Voyager uzay aracı yakından bu atmosferi gözlemledi. Atmosferde metan saptandı (Herbert and Sandel, 1991) ve Plüton ile benzer basınçlarda arka alan gazı olarak moleküler azot vardı. Ayrıca, Voyager 2 atmosfer boyunca fotokimyasal sis gözlemledi (Herbert and Sandel, 1991). Fakat hiç bir gözlemden metan ve azot harici diğer gruplar saptanmadı (Cruikshank, et al., 1987).

5.2. Gezegenel Yüzeylerde Saptanan Organik Moleküller

Teleskopik gözlemlerin yorumları, Güneş Sistemi dışındaki çoğu bölgede H₂O buzunun bulunabildiğini göstermiştir. Ek olarak, karbon-bağlayan moleküler maddenin,

dış Güneş Sistemi'nde ana bileşenler olarak bulunduğu ortaya çıkmıştır. Kuyrukluysıldızlar ve çoğu gezegensel uydu üzerinde H₂O buzları ve Triton ve Plüton üzerinde daha uçucu N₂ buzu görünmesi bu durum için açık delildir. Karmaşık makromoleküler karbonun uzun zamandan beri karbonlu kondritlerde olduğu bilinmektedir ama bu sefer gezegensel uydular ve kuyrukluysıldızların bileşenleri oldukları da ortaya çıkmıştır. Bu maddenin çoğunun solar bulutsudan kaynaklandığı ve buralara taşındığı görüşüne, gezegenlerin buz yüzeyinde (ve bazı durumlarda ince atmosfer içinde) UV radyasyon, kozmik ışınlar ve magnetosferik partiküllerin enerjik aşamalarından köken aldığı görüşü de eklenmiştir. C-, H- ve N- bağlayıcı öncül gazlar ve buzlar ile ilişkili kimyasal reaksiyonları ve özellikleri yansıtan laboratuvar çalışmaları göstermiştir ki kararlı artık maddeler bir dizi gözlemsel renklenme ve yakın-kızılaltı dalgaboyları oluşturmaktadırlar. Bu kalıntıları kullanarak teleskopik gözlemleri modellemek, dış Güneş Sistemi'ndeki çoğu yüzeyin değişken rengini gözleme yeteneğini geliştirebilir.

Güneş Sistemi dışında gaz halindeki ve katı haldeki organik kimya genellikle bir aşama içindedir. Titan'ın atmosferinde ve diğer bütün gaz devi gezegenlerde fotokimyasal reaksiyonlar organik molekülleri ve katı aerosol partikülleri üretir ki bunlar gezegenlerin atmosferlerinin önemli özelliklerini teşkil eder (Bruston, et al., 1994). Hatta Triton ve Plüton üzerinde fotokimyasal reaksiyonlar hidrokarbonları ve nitrilleri soğukta üretir ve ince atmosferler yüzeye çöker (Krasnopolsky and Cruikshank, 1995, 1999) ve organikler doğrudan yüzey buzlarında oluşabilirler. Aynı zamanda, havasız buz kütlelerinin ışınlanması, özellikle Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün uydularının, solar rüzgar ile ultraviyole, galaktik kozmik ışınlar ve magnetosferik partiküllerin çökmeleri, katı alanlarda karmaşık organik molekülleri üretir (Khare, et al., 1993; Delirsky and Lane, 1998).

Organik moleküllerin üretimine ek olarak, meteoritlerde ilkel organik maddenin bulunduğu ve yıldızlararası toz partiküllerinin kuyrukluysıldızlardan türediğine dair doğrudan P/Halley Kuyrukluysıldızından örneklenen toz içerisinde kanıtlar vardır. En geçerli kanıt, bu ilkel organik envanterin oluşumunun solar bulutsu içerisinde başlamasından ziyade, Güneş Sistemi'nin dış taraflarındaki karbon-zengini yıldızların dış akıntılarında ve yıldızlararası ortamdaki buzlu zerrelere bulunduğu destekler (Cronin and Chang, 1993).

5.2.1. Gözlemsel veriler

Güneş Sistemi'ndeki katı kütlelerin bileşimi hakkındaki gözlemsel verilerinin çoğu, yerde-konuşlanmış teleskoplar ve uzay araçlarındaki görünür ve yakın-kızılaltı dalgaboyları alanlarındaki spektroskopik gözlemlerden gelmektedir. Dış Güneş Sistemi'ndeki buzlu nesnelere çoğundan saptanan radyasyon tamamen yansıyan güneş ışığıdır çünkü bu nesnelere çok soğuktur. Güneş ışığı yüzeyden içeriye geçtiği için burada bulunan madde ile etkileşime girer, bu yüzden yansıyan güneş ışığının hesaplanması yüzey bileşimlerine dair bilgileri içerir.

Güneş Sistemi nesnelere halen bulunan grupların tanımlanması, laboratuvarda bileşiklerin hesaplanmış spektrumu ile gezegensel yüzey spektrumunun karşılaştırılmasıyla geliştirilebilir. Örneğin, saf buzun laboratuvar spektrumu, bir buzun sahip olduğu spektral özelliklerden yola çıkılarak sayısını, karakteristiğini tanımlamada kullanılır. Fakat daha detaylı bilgiler, birden fazla grubun ilişkili miktarlarını veya yüzey bileşenlerinin zerre boyutlarını tahmin etmek gibi, güneş ışığı ile etkileşen yüzeyleri tasvir etmek için daha detaylı modellere ihtiyaç duyar.

5.2.2. Laboratuvar çalışmaları

Organik buz çalışmaları, katı CH_4 , C_2 -hidrokarbonları, CH_3OH spektroskopisini ve daha çok molekülün iletimini ve yansımalarını içerir (Fink and Sill, 1983; Quirico, et al., 1996). Buzların laboratuvar spektrumu gezegensel yüzeydeki özel bileşimin tanımlanmasında kullanışlıdır fakat yansıyan güneş ışığıyla görülen yüzey modelleri için buzların laboratuvar numunelerinin spektrumundan elde edilmiş kesin değerleri gerekir.

Karbonlu meteoritlerdeki, gezegensel uydular ve kuyruklu yıldız yüzeylerindeki katı organik materyaller, baskın olarak dünyasal kerojenlere benzeyen çözünmez makromoleküler bileşiklerdir. Kerojenler üzerine literatür geniştir (Duran, 1980). Dünyasal kerojenlerin çoğunlukla organizmaların çürümesiyle meydana gelmesine rağmen, yapılarından dolayı gezegensel organiklerle ilişkilidirler. Çözünbilir organik kısım çoğu farklı bileşik sınıfını içerir, bunlardan bazıları, karboksilik ve aminoasitler gibi, büyük yapısal farklılık gösterir (Cronin and Chang, 1993).

Stratosferde toplanan GTP'ler, Dünya'nın atmosferine erimeden giren kuyruklu yıldızların ve asteroidlerin mikroskopik parçalarıdır. Bunlardan bazıları, yıldızlararası ortamın kökenine dair güçlü döteryum ve ^{15}N bolluklarıyla birlikte önemli miktarlarda organik makromolekülleri içerir. Meteoritlerdeki organikler ve GTP'ler sadece spektroskopi ve diğer standart kimyasal teknikler (Cronin and Pizzarello, 1988) ile değil, ayrıca nükleer manyetik rezonans (Cody, et al., 2002a), lazer desopsiyonlu kütle spektrometresi ve iyon mikroprobları gibi giderek artan duyarlılıktaki araçlarla çalışılmıştır. Bu çalışmaların amacı, meteoritlerdeki ve GTP'lerdeki organik bileşenlerin yapıları ve bileşimleri hakkında bilgileri hızlı bir biçimde geliştirip, bunların oluşma koşulları ve buldukları alanlarla ilişkilendirmektir.

Güneş Sistemi cisimlerinin yüzeylerindeki maddeler, Güneş'ten gelen UV fotonlarına ve kozmik ışınlara, enerjileri MeV'dan GeV'a değişmiş H^+ , He^+ ve O^+ partiküllere, maruz kalırlar. Manyetik alana sahip gezegenler, enerji dolu partiküller içeren solar rüzgarı dağıtırlar ve etraflarında yörüngelenen uydularını proton ve elektronların akışına maruz bıraktıkları bir çevre geliştirirler. Bu çeşit radyasyon çeşitli yollarla minerallerin, buzun ve organik materyallerin kimyasal yapısını uyarır. Gezegenel veya uydu atmosferine ulaşan yüklü partiküller ve UV akışı ayrıca fotokimyasal sis partiküllerinin oluşumunda kimyasal değişikliklere sebep olur. Kimyasal değişiklik sonucunda partiküller ya yukarıya doğru çıkar ya da yüzeye çökerler.

Düşük-enerjili partiküller ve UV ile ışınlanmış H_2O buzu içinde hidrokarbon buzlarının karışımı tolinleri üretir (Khare, et al., 1993). Tolinin detaylı bileşimi, buz bileşimine ve diğer faktörlere bağlıdır. C, H, O ve N- bağlayan moleküller içeren buzlar, polialkoller, eterler, esterler, karboksilik asitler ve hidrokarbonlar gibi geniş aralıkta materyaller üretir. Sonuçta, buz tolinleri organik heteropolimerler olarak adlandırılabilir.

Kuyruklu yıldızların ve asteroidlerin gezegen yüzeylerine çarpması ve gezegenel atmosferlerde parçalanması organik moleküllerin oluşumu ve yıkımında önemli rol oynamaktadır. Erken Dünya için, Chyba ve Sagan (1992), meteoritik patlamalar ve bunların buhar bulutlarının oluşturduğu şokların, aynı zamanda yıldırımlar ve UV güneş ışığının da organik moleküllerin senteziyle ilişkili olduğunu ve verimin de atmosferin birleşimi ile bağımlı olduğunu önerdiler. Çarpışma şoklarıyla indirgenmiş atmosferin

orta seviyesindeki oksidasyon alanı yüzünden, çarpışma şoku, organikler için zayıf bir kaynaktır.

5.2.3. Meteoritler

Dünya üzerinde yaşamın başlaması için ilk olarak basit organik moleküllerin “ilkel çorbası”na ihtiyaç duyulması, birbirlerinden bağımsız olarak 1924’te Rus biyokimyacı Oparin (Oparin, 1924) ve 1929’da İngiliz biyolog Haldane (Haldane, 1929) tarafından önerildi. İlkel çorbanın kökeni 1953’te ünlü Miller deneyi ile tanımlanmıştır (Miller and Urey, 1953). Hidrojen, su, metan ve amonyağın gaz karışımı, atmosferik fırtınaları uyarlayan elektriksel bir boşalmaya maruz bırakıldığında, erken Dünya’nın atmosferi olduğu düşünülen, aminoasitler gibi çeşitli organik bileşikler içeren, bir organik “çorba” üretilmiş oldu. Yeterli yüksek enerjiyle birlikte, hidrojen siyanit ve aldehitleri üretmiş olan indirgenmiş atmosferde sonradan aminoasitlerin üretimi ile sonuçlanan Strecker reaksiyonları oluşabileceği önerildi. Fakat, eğer Miller deneyi oksitlenmiş atmosferi kullanarak gerçekleştiyse, organik moleküller tatmin edici verimlilikte daha uzun zaman varlığını sürdüremezler.

Diğer taraftan, indirgenmiş ilkel atmosfer modeli çeşitli sebeplerden dolayı uygun bulunmamaya başlamıştır. Örneğin, dev-boyutlu bir cismin Dünya’ya çarpması halinde, çarpışma etkisiyle Dünya’nın bütün atmosferi uzay boşluğuna itilmiş olmalıdır (Newsom and Taylor, 1989). Bu yüzden, volkanik aşamalarla türetilmiş karbondioksit, azot ve su ile zengin oksitlenmiş atmosferin Dünya üzerinde yaşamın ortaya çıktığı zaman var olduğu varsayılmaktadır (Holland, 1984; Kasting and Ackerman, 1986). Sonuç olarak, ilkel çorbanın yapıtaşları nasıl ortaya çıkmıştır?

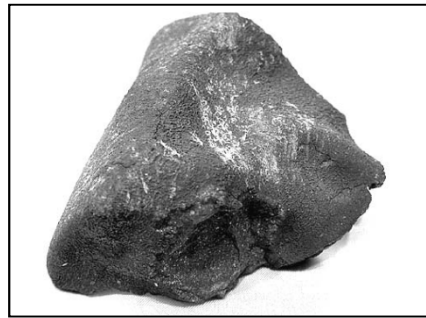
Yukarıda tartışıldığı üzere, kuyruklu yıldızlar ve ilkel meteoritler su ve organik molekül içermektedir. Kuyruklu yıldızlar ve meteoritler oluşumlarından itibaren Dünya’ya defalarca çarpmıştır. Oró, Dünya üzerine suyun ve organik maddelerin öncüllerinin kuyruklu yıldızlara bombardıman sonucu geldiğini önermiştir (Oró, 1961). Daha sonra bu fikir üzerinde Delsemme (Delsemme, 1984), Anders (Anders, 1989) ve Chyba ve Sagan durmuştur (Chyba and Sagan, 1992).

Gökyüzünü izleyen kamera ağırları ve rüzgarın-aşındırdığı çöllerdeki meteorit arama programları, Dünya yüzeyinde her 10^6 km²’de yılda 36 ila 116 meteorit > 10 g

biriktirmesi yapmaktadır (Bland, et al., 2001). Meteorit düşüşlerinin istatistikleri bu meteoritlerin %80'inin kondritler, %7,9'unun akondritler, %4,8'inin demir meteoritleri ve %4,6'sının da karbonlu kondritler olduğunu gösterir (Bevan and Bland, 1998).

Dünya'ya ulaşan bu meteoritlerle laboratuvar analizleri yapılabilir. En iyi çalışılanlardan birkaçı Murchison (Avustralya, 1969), Murray (ABD, 1950), Orgueil (Fransa, 1864), Allende (Meksika, 1969), Cold Bokkeveld (Güney Afrika, 1838)'dir. Bu meteoritler arasından, karbonlu kondritler çok özel meteoritlerdir. Karbonlu kondritlerin çoğu 4.5 milyar yıldan daha yaşlı, bünyesinde ağırlığının %10'u su ve %3'ünden fazlası karbon barındıran ilkel demir meteoritleridir (Cronin, et al., 1988). Murchison (Şekil 5.3.) organik analiz için "standart" bir meteorit haline gelmiştir çünkü düşüğünden kısa süre sonra toplanmış ve neredeyse hiç bozulmamış halde bulunmuştur. Yapılan analizler sonrası meteoritlerde büyük miktarlarda organik materyal bulunmuştur: hidrokarbonlar, alkoller, karboksilik asitler, aminler, amidler, urasil, adenin ve guanini içeren heterosiklikler, nükleik asit bazları gibi (Çizelge 5.4.).

Bir şeker (dihidroksiaseton), şeker alkolleri (eritritol, ribitol) ve şeker asitleri (ribonik asit, glukonik asit) Murchison meteoridinde saptandı fakat riboz saptanamadı (Pizzarello and Cronin, 2000). Sekiz protein aminoasidi Murchison içerisinde tanımlandı ve ayrıca içerisinde 70'i aşkın aminoasit bulundu (Meierhenrich, et al., 2004). Cronin ve Pizzarello (1997) Murchison meteoritinde protein olmayan bazı aminoasitlerin %9'unun L-enantiomerlerini saptadı. Bu meteoritlerde L-enantiomerlerin fazla bulunması, meteorit içinde korunmuş olan asimetric aminoasitlerin, dünya-dışı asimetric aşamalarına uğradıklarını işaret etmektedir.



Şekil 5.3. Murchison karbonlu kondriti. Fotoğraftaki örnek 300 g ağırlığında ve yaklaşık tabanı 7 cm uzunluğundadır (Llorca, 2004).

Çizelge 5.4. Karbonlu kondritlerde organik bileşikler (Cronin and Chang, 1993).

Bileşik tipi	Konsantrasyon (ppm)	Tanımlanmış bileşikler	Karbon zincir uzunluğu	Molekül örnekleri
Alifatik hidrokarbonlar	35	210	C ₁ -C ₃₀	Propan, izobütan, heksan
Aromatik hidrokarbonlar	25	87	C ₆ -C ₂₀	Piren, fenantren, benzen, toluen
Alkoller	11	8	C ₁ -C ₄	Etanol, metanol, propanol
Aldehitler ve ketonlar	27	9	C ₁ -C ₅	Dimetilketon, asetaldehit, formaldehit
Karboksilik asitler	350	63	C ₁ -C ₁₂	Asetik asit, propionik asit, valerik asit
Hidrokarboksilik asitler	15	101	C ₂ -C ₈	Laktik asit, α -hidroksi glutarik asit
Aminler	8	10	C ₁ -C ₄	Metilamin, propilamin
Amidler	62	4	C ₁ -C ₃	Üre, guanilüre, fenilüre
Aminoasitler	60	78	C ₂ -C ₉	Glisin, α -aminoizobütirik asit, izovalin
Pürinler ve pirimidinler	2	5	C ₄ -C ₅	Adenin, ksantin, guanin, urasil
Diğer heterosikler	7	38	C ₅ -C ₁₀	Dibenzotiofen, quinolin
Şeker-bileşikleri	60	27	C ₃ -C ₆	Gliserol, tartarik asit, glusitol, eritritol
Sülfonik ve fosforik asitler	65	12	C ₁ -C ₄	Metil sülfonik asit, etil fosforik asit
Polimer	>14300	-	C _{>100}	C ₁₀₀ H ₄₈₋₇₁ , N _{1.8-3} O ₁₂ S ₂ (Murchison)
Toplam	>15000	652		

Mikrometeoritler (< 1 mm), organik molekülleri içeren bir diğer taşıyıcıdır. Asteroit veya kuyruklu yıldızdan kökenlenen bu yapılar, yaklaşık 10,000 ton kadarı yıl içerisinde Dünya yüzeyine akış yapar ve dış-kaynaklı maddenin %99'unu Dünya'ya ulaştırırlar (Maurette, 2006). Atmosfere girerken taşıdıkları organik molekülün bir kısmı yıkıma uğrasa da, yaşlı Antartika buzundan toplanan mikrometeoritlerin atmosfere girdiklerinde içeriklerinin 50-100 μ m boyutlarındaki %80 karbonlu bölümlerinin erimedikleri gözlemlendi (Maurette, 1998). Bu gibi mikrometeoritlerin analizleri iz miktarlarda aminoasit, α -amino bütirik asit, içerdiklerini gösterdi (Brinton, et al., 1998).

5.2.3.1. Meteoritlerdeki aminoasitler

Aminoasitler, Dünya üzerindeki yaşam için gerekli olan proteinlerin ve enzimlerin yapı taşlarıdır. Aminoasitler çeşitli prebiyotik koşullar altında sentez edilebilir (Miller, 1953); bu yüzden genellikle bu bileşenlerin erken Dünya üzerinde de bulunması

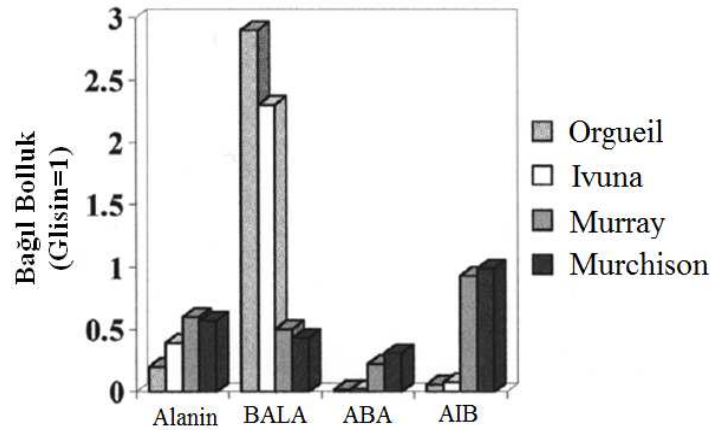
gerektiği tahmin edilir. Ayrıca bunlar, Titan ve Triton'daki atmosferik koşullarda gerçekleşen gaz karışımlarının kimyasal reaksiyonundan kalıntılar olan tolinlerin hidrolizi ile de üretilir (McDonald, et al., 1994).

Dünya üzerindeki tüm organizmalarda sadece L-enantiomer kiral aminoasitler protein ve enzimleri oluşturur. Bunun tersi, kiral amino asitlerin abiyotik sentezi her zaman 1:1 D-ve L-enantiomerlerin karışımıyla sağlanır (rasemik karışım). Bu yüzden, bu bileşiklerin moleküler yapısı, meteoritlerdeki aminoasitlerin biyolojik ve biyolojik olmayan kökenleri arasındaki ayrımı ortaya koyar.

Dünya'da çok ender bazı biyolojik olmayan aminoasitler, α -aminoisobütirik asit (AIB) ve izovalin, Murchison meteoritinde ilk analizi yapılan organiklerdir (Kvenvolden, et al., 1970). Bundan sonra, meteorit içerisinde 70'den fazla, çoğu da dünyasal atmosferde var olmayan, farklı aminoasit tanımlandı. Tek aminoasitler 2600 ppb derişimlerde saptandı (Murchison'da AIB, Ehrenfreund, et al., 2001) ve toplam aminoasit bolluğu 10 ppm'e ulaşabildi (Cronin and Chang, 1993).

Çoğu aminoasitin analizleri CM karbonlu kondritlerinde uygulandı ki Murchison meteoriti tamamen araştırılmış CM örneğidir. Sadece 4 CM-olmayan karbonlu kondritlerde (Mokoia ve Allende [CV], Renazzo [CR] ve Orgueil [CI]) aminoasitler araştırılmıştır (Cronin and Pizzarello, 1983). İki CI meteoriti Orgueil ve Ivuna'nın son yapılan analizi, bu iki örneğin Murchison ve Murray'in bileşimiyle karşılaştırıldığında çok farklı aminoasitlere sahip olduğunu gösterir (Ehrenfreund, et al., 2001). CM'lerde en bol bulunan aminoasitler glisin, AIB ve izovalindir. Glisin ayrıca çoğu biyolojik sistemlerde de bol bulunmaktadır oysa ki AIB ve izovalin dünyasal biyosferde yüksek miktarlarda bulunmamaktadır. Ek olarak, α -alanin, glutamik asit, α -amino-*n*-bütirik asit, β -amino-*n*-bütirik asit ve γ -amino-*n*-bütirik asidi kapsayan diğer karmaşık aminoasitler ayrıca CM meteoritlerinde vardır. Diğer taraftan, CI'ler, Orgueil ve Ivuna'da aminoasit dağılımı daha basittir ve glisinle birlikte β -alanin en bol bulunanlardandır (Şekil 5.4.).

Aminoasit analizleri ayrıca Mars meteoritleri EETA79001 (McDonald and Bada, 1995), ALH84001 (Bada, et al., 1998) ve Nakhla (Glavin, et al., 1999) meteoritlerinde de gerçekleştirildi. İz miktarlarda glisin, serin ve alanin, EETA79001'in oyuklarında (karbonat) ve ALH84001'in karbonat bileşeninde saptandı. Fakat, meteorit içerisinde saptanan D-alanin gibi bazı aminoasitlerin az miktarda bile olsa varlığının bulunmasına



Şekil 5.4. İki CL (Orgueil, Ivuna) ve iki CM (Murchison, Murray) karbonlu kondritlerinde glisinle ilişkili olarak dört aminoasidin derişimleri. Kısaltmalar: BALA = β -alanin; ABA = α -amino-*n*-bütirik asit; AIB = α -aminoisobütirik asit (Campins and Swindle, 1998).

rağmen, bu Antarktik Mars meteoritlerindeki aminoasit dağılımı, Antarktika buzunun erimiş suyundaki bu bileşenlerin dünyasal kökenli bileşenlerle benzerlik gösteriyordu (Bada, et al., 1998). Nakhla analizlerinin en ilginç bulgularından biri önemli miktarlarda aspartik ve glutamik asitlerin ve aynı zamanda alaninin D-enantiomerlerinin varlığıdır. Bu D/L oranları, denizsel siyanobakteride, *Synechococcus bacillaris*, bulunanlar için ortaktır ve bu yüzden kalıntılar, bu bakterilerin hücre duvarlarından türemiş olabilirler. Ek olarak, protein olmayan aminoasitler β -alanin ve γ -amino-*n*-bütirik asidin (γ -ABA) yüksek derişimleri Nakhla'da bulundu. Bu aminoasitlerin denizsel sedimentlerinde bulunması genellikle aspartik ve glutamik asitlerin α -dekarboksilasyonun bakteriyel bir etkiyle gerçekleştirmesine dayandırılmaktadır (Glavin, et al., 1999).

5.2.3.2 Meteoritlerdeki diğer karboksilik asitler

Hidroksi-karboksilik asitler, Murchison meteoritinde ilk olarak sıcak-su ekstraksiyonunu takip eden iyon değişimi ve silika-jel kromatografisi yöntemiyle tanımlandı (Peltzer and Bada, 1978). Bu analizler GCMS ölçümleriyle genişletildi ve 50'den fazla β - ve γ -izomerleriyle birlikte hidroksi asitler bulundu (Cronin, et al., 1993).

Karboksilik asitler, bir gram Murchison meteoriti örneğinde μ mol miktarlarda, aminoasitlerin miktarında karşılık gelen karbon sayısından 10 ila 100 kat daha fazla

miktarlarda elde edildi (Yuen, et al., 1984). Öte yandan, dikarboksilik asitlerden 42 farklı 8 karbon atomu içeren alifatik dikarboksilik asit, 50'den fazla hidroksi-dikarbolik asit de Murchison'da saptandı (Cronin, et al., 1993).

5.2.3.3. Meteoritlerde sülfonik ve fosfonik asitler

Fosfatlar şekerlerle birlikte DNA ve RNA'nın omurga bileşimini oluşturarak dünyasal biyokimyada önemli bir rol üstlenirler. Alkil sülfonatlar ve alkil fosfonatlar sililasyon sonrası GC-MS ile tanımlandı (Cooper, et al., 1992). Meteoritlerde saptanan sonraki sınıf ise ilk organofosfor bileşikleridir. Metil sülfonik asit için 380 nmol/g, etil sülfonik asit için 190 nmol/g, izopropil sülfonik asitler için 54 nmol/g ve n-propil sülfonik asit için 27 nmol/g derişimleriyle Murchison'da sülfonik asitler daha bol bulundu (Cooper, et al., 1997).

5.2.3.4. Meteoritlerde hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar indirgenmiş karbon moleküllerinin en basit formunu içerdiklerinden dolayı ilgi çekicidirler. Ayrıca Dünya üzerinde çok miktarda bulunurlar çünkü yağ asitleri gibi ürünlerin yapımına katılarak dünyasal biyoloji ile yakından ilişkili bileşiklerdir. Orgueil, Bokkeveld, Murchison, Vigarano, Allende, Ornans, Bishunpur meteoritleri (Sephton, et al., 2001) ve Yamato-791198 Antarktik meteoriti (Naraoka, et al., 1988) gibi bazı karbonlu kondritlerde alifatik hidrokarbonlar saptandı.

PAH'lar meteoritlerin benzen ekstraktlarından elde edildi (Naraoka, et al., 1988). Mars meteoriti ALH84001'de PAH'ların karbonat fazında bulunması, bu meteoritte bir biyolojik aktivitenin kanıtı olarak varsayıldı (McKay, et al., 1996). ALH84001'deki PAH dağılımının diğer Antarktik Mars meteoriti EETA79001, bazı Antarktik karbonlu kondritler ve polar buz örnekleriyle karşılaştırılması sonucunda PAH'ların her iki Mars meteoritinde saptanması ya dünya-dışı PAH'ların Mars'tan geldiği ya da dünyasal PAH'ların Antarktik erimiş su buzunda bulunmasıyla açıklanabildi.

5.2.3.5. Meteoritlerde azot heterosikler

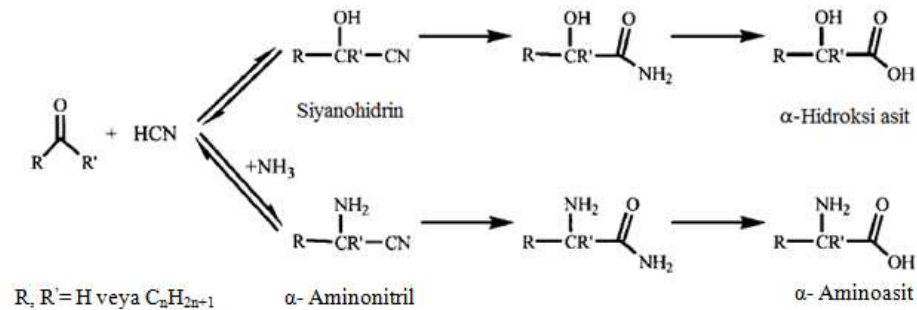
Pürinler ve pirimidinler DNA ve RNA'nın ana bileşenleridir. Aminoasitlerden farklı olarak, nükleobazlar moleküler kirallık göstermezler ve bu yüzden bu bileşiklerin abiyotik kökenli mi yoksa biyotik kökenli mi olduklarını çözmek zordur. İlk pürin ve pirimidin araştırmaları Murchison meteoritinin suda ve formik asit özütlerinde en üst derişim sınırlarında (0.01 ppm saptama sınırı) adenin, guanin, hipoksantin, ksantin, urasil, timin, sitozin, 4-hidroksipirimidin ve 4-hidroksi-6-metilpirimidin rapor edildi (van der Velden and Schwartz, 1977). Sonra, urasil, adenin, guanin, ksantin ve hipoksantin (Stoks and Schwartz, 1981) derişimi Murchison, Murray ve Orgail meteoritlerinde toplam 1.3 ppm olarak saptandı.

5.2.3.6. Meteoritlerde alkoller ve karbonil bileşikler

C₁'den C₄'e kadar alkoller ve aldehitler ve C₃'den (aseton) C₅'e (2- ve 3-pentanon) kadar ketonlar Murchison meteoritinde kolorimetrik analizlerle ve GCMS ile bulundu (Jungclaus, et al., 1976b).

Karbonil bileşikler aminoasitler için Strecker sentezinde önemli rol oynarlar (Şekil 5.5.). Bunların karbonlu meteoritlerde bulunması, bu sentez yol izi boyunca bu tip bileşiklerin tamamlanmamış döngüsüne işaret eder.

Karbonil bileşikler yıldızlararası ortamda ve kuyruklu yıldızlarda saptandı. Formaldehit, asetaldehit ve aseton yıldızlararası bulutlarda gaz fazında gözlemlendi (Herbst, 1995). Şekerin en basit formu, glikoaldehit, SGR B2(N) galaktik merkez



Şekil 5.5. Karbonil bileşikleri, hidrojen siyanit ve amonyaktan α -amino ve α -hidroksi asitlerin oluşumu için Strecker-siyanohidrin sentetik yol izi (Peltzer, et al., 1984).

kaynağında saptandığı rapor edildi (Hollis, et al., 2000). Formaldehit ve formamid hem de Hale-Bopp kuyruklu yıldızında gözlemlendi (Bockelée-Morvan, et al., 2004).

5.2.4. Asteroitler

Binlerce sayıda meteoridin toplanmasına rağmen, sadece birkaçının köken aldığı yer bilinmektedir. Karbonlu kondritlerin birkaçı Dünya'nın yörüngesindeki uydularla gözlemlenmiştir. Bunların en ilginç özelliği, Mars ve Jüpiter arasındaki asteroit kuşağında yörüngelerinin yer almasıdır ki bu, kondritlerin asteroitlerden türediğinin kanıtıdır (Ceplecha, 1977).

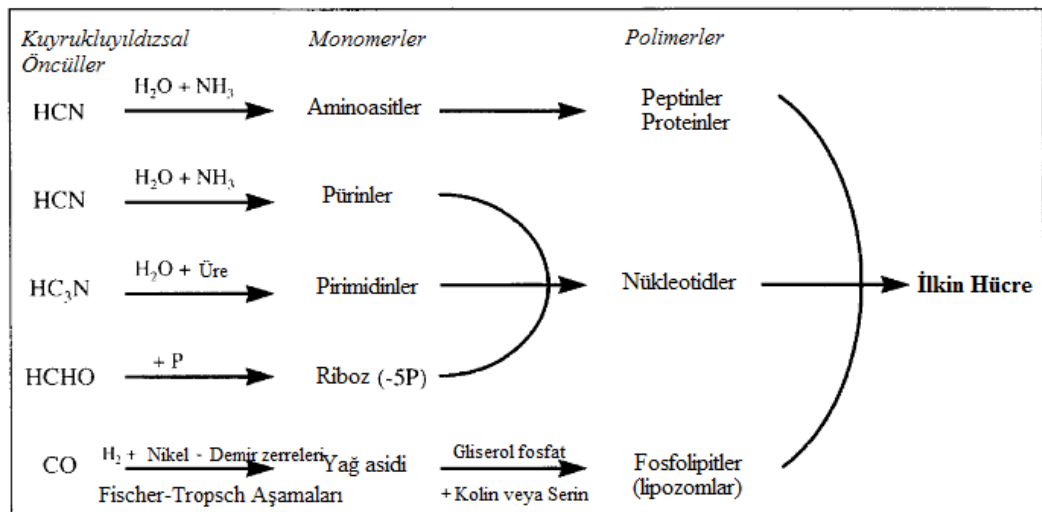
Asteroitler kendi ışıklarını üretmezler, yalnızca güneş ışığını yansıtırlar. Asteroitlerin yüzeylerinden yansıyan güneş ışığının özelliklerini inceleyerek bunların bileşimleri hakkında bilgi edinilebilir. Bu yansıma spektrumları sonra laboratuvarda toz haline getirilmiş çeşitli tipteki meteoritlerin ölçülmüş içerikleriyle karşılaştırılarak asteroit sınıflandırılması geliştirilir (Gaffey, et al., 1993). Organikçe zengin meteoritler muhtemelen düşük-aklık derecesindeki asteroitlerin (C-, P- ve D-tipleri) parçalanmasıyla gelmiştir. C-tipi ve D-tipi asteroitler karbonlu kondritlerin olası kaynakları olarak düşünülür. En büyük asteroit olarak bilinen Ceres, C-tipi bir asteroittir, su-bağlayan çamurları ve yüzeyinde muhtemel organik materyalin bulunması, CI ve CM karbonlu kondritlerinin sahip oldukları mineralleri anımsatır (Buseck and Hua, 1993). D-tipi asteroitler olivin, piroksen ve demir-nikel metalin varlığını gösteren emilim aralıklarına sahiptir. Bunlar sıradan kondritlerin türeyebileceği uygun potansiyel adaylardır. Bazı C-tipi asteroitlerin yüzeylerindeki mineral tabakalarında hidratlaştırılmış silikatlarda H₂O ve OH olduğu düşünülen belirgin spektrum sergilerler. C'lerin üçte birinde su tayfına dair bir kanıt yoktur (Jones, et al., 1990).

5.2.5. Kuyruklu yıldızlar

Erken Dünya'daki kimyasal koşulları değerlendirebilmek için, kuyruklu yıldızların organik molekülleri - ve belki prebiyotikleri - Dünya'ya nasıl yerleştirdiğini anlamak gerekmektedir (Oró, 1961; Thomas, et al., 1997). Uzun zamandır büyük tartışmalara

Tanımlanmış moleküller arasında birkaç “yapı taşı” sayılan prebiyotik molekül grupları da saptandı. Örneğin, bunlar kendiliğinden sıvı su içerisinde aminoasit veya nükleik asit benzeri moleküller oluşturabilirler. Bunlar H_2CO , HCN , HC_3N , CH_3CN gibi bileşenlerdir (Şekil 5.6.). Şekil 5.6.’ya göre ilkin hücre oluşumunda gerekli olan diğer elementler de kuyruklu yıldızlarda mevcuttur. Şekerlerin sentezine katılan fosfor, Vega 1 üzerinde yerleşik olan PUMA kütle spektrometresiyle Halley kuyruklu yıldızında saptandı. Fakat miktarı çok düşüktü ve saptama CH_2OH^+ gibi iyonların karışmasıyla etkilenmiş olabilirdi (Kissel and Krueger, 1987). Çizelge 5.6.’de Halley kuyruklu yıldızında kütle spektroskopisi ile saptanan bileşikler gösterilmiştir. Ni ve Fe, Ikeya-Seki ve Halley kuyruklu yıldızlarında saptandı (Crovisier, 1997). Bununla beraber, biyolojik olmayan karmaşık bileşikler kuyruklu yıldızlarda ayrıca bulunmaktadır. Kuyruklu yıldız Halley’in tozunda adeninin varlığı şüphelidir (Kissel and Krueger, 1987). Bu tip bir molekül yoğunlaşmış HCN ile su olmayan bir ortamda sentezlenebilir (Oró and Cosmovici, 1997; Wakamutsu, et al., 1966). Dahası, yıldızlararası toz partikülleri veya kuyruklu yıldızların bileşimiyle ilişkili buzları ısıtmaya maruz kaldığı zaman, karmaşık moleküller ve bunların yanında en basit aminoasit olan glisin oluşur (Briggs, et al., 1992). Suda asit hidrolizinden sonra diğer aminoasitler, alanin gibi, ayrıca tespit edilebilir (Kobayashi, et al., 1995). Böylece, kuyruklu yıldızlar prebiyotik elementleri erken Dünya’ya taşımış olabilir ve sıvı su ile karıştıkları zaman yaşamın kökeni için gerekli olduğu düşünülen bütün moleküllerin sentezlenmesine olanak verebilir.

Şekil 5.6. Kuyruklu yıldızsal moleküllerden prebiyotik sentez (Oró and Cosmovici, 1997).



Çizelge 5.6. Halley kuyruklu yıldızındaki gaz ve toz partiküllerinin kütle spektroskopisiyle tanımlanmış organik molekülleri (Cottin, et al., 1999).

Molekül	Aile	Kütle Spektrometresi	Güven Seviyesi
Hidrosiyanik asit	C-N-H	PUMA, PICCA	Onaylanmış
Asetonitril	C-N-H	PUMA, PICCA	Onaylanmış
Formaldehit	C-O-H	PUMA, PICCA	Onaylanmış
Formik asit	C-O-H	PUMA	Onaylanmış
Amonyak	N-H	PUMA	Onaylanmış
Asetaldehit	C-O-H	PUMA, PICCA	Yüksek
Asetik asit	C-O-H	PUMA	Yüksek
Polioksümetilen	C-O-H	PICCA	Yüksek
Aminoetan	C-N-H	PUMA	Orta
İminoetan	C-N-H	PUMA	Orta
Pirol	C-N-H	PUMA	Orta
İmidazol	C-N-H	PUMA	Orta
Piridin	C-N-H	PUMA	Orta
Pirimidin	C-N-H	PUMA	Orta
Siklopropenil	C-H	PICCA	Orta
Pentin	C-H	PUMA	Düşük
Heksin	C-H	PUMA	Düşük
Bütadin	C-H	PUMA	Düşük
Pentadin	C-H	PUMA	Düşük
Siklopenten	C-H	PUMA	Düşük
Siklopentadin	C-H	PUMA	Düşük
Sikloheksen	C-H	PUMA	Düşük
Sikloheksadin	C-H	PUMA	Düşük
Benzen	C-H	PUMA	Düşük
Toluen	C-H	PUMA	Düşük
İminometan	C-N-H	PUMA	Düşük
İminopropen	C-N-H	PUMA	Düşük
Pürin	C-N-H	PUMA	Düşük
Adenin	C-N-H	PUMA	Düşük
Sianik asit	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Metanolnitril	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Metanalimin	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Aminometanol	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Aminometanal	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Oksimidazol	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Oksipirimidin	C-N-O-H	PUMA	Düşük
Ksantin	C-N-O-H	PUMA	Düşük

Su ayrıca bazı kuyruklu yıldızların komalarında doğrudan saptanabildi (örneğin, Wilson kuyruklu yıldızı: Larson, et al., 1989 ve Hale-Bopp kuyruklu yıldızı: Crovisier, et al., 1997; Dello Russo et al., 1998). Su buzunun gözlemi çok zordur çünkü ya etrafını çeviren koma tarafından saklanmıştır ya da kuyruklu yıldız çok uzaktır ve gözlenmesi zayıftır. Yine de, Hale-Bopp kuyruklu yıldızında ilk defa buz zerrecikleri saptanmıştır (Davies, et al., 1997).

5.2.6. Jüpiter Sistemi

Enerjice zengin Jüpiter radyasyon kuşağına yerleşen Jüpiter'in buzlu uyduları (Cooper, et al., 2001), yerli maddelerin veya meteoritlerin içerdiği maddelerin birbirleriyle etkileşiminde (Delitsky and Lane, 1998) organik maddenin sentezlendiği potansiyel kaynaklardır. Europa, Ganymede ve Callisto üzerinde H₂O buzunun bulunduğu dair spektral veri doğrulanmıştır (Lane, et al., 1981; Noll, et al., 1996). O₂ ve O₃ Ganymede üzerinde saptanmıştır (Spencer, et al., 1995; Noll, et al., 1996). Jüpiter'in uyduları üzerinde gözlenen buzların tasvir edildiği birçok özet bulunmaktadır (örneğin; Nash and Betts, 1998; Cruikshank, et al., 1998c; Douté, et al., 2001).

Galileo görevi NIMS ile Galileo uydularındaki diğer malzemeleri ve buzları ortaya çıkarmıştır (Carlson, et al., 1996; McCord, et al., 1998). Callisto spektrumunda hidrokarbon bantlarının bulunması, Callisto'nun yüzeyinde belli bölgelerde hidrokarbon bileşiklerinin olabileceğini göstermektedir.

Hibbitts ve ark. (2000) Callisto üzerinde CO₂ ve SO₂ dağılımları tartışmışlardır ve Callisto'da CO₂ dağılımının Jüpiter ile birlikte dönen manyetik alanın etkisiyle birlikte tutarlılık gösterdiğini önermişlerdir. Fakat SO₂ dağılımı konusunda yeterli açıklama yapılmamıştır. Hibbitts ve ark. (2003) ayrıca Ganymede yüzeyinde CO₂ bölgeleri bulmuşlardır. Çizelge 5.7.'de Galileo uyduları üzerindeki buzlar ve diğer yüzey içerikleri listelenmiştir.

5.2.7. Satürn Sistemi

Cruikshank ve ark. (1998c) Satürn'ün uydularında gözlenen buzların listelerini geliştirdiler (Çizelge 5.7.).

Genişletilmiş dalga boyu (4-3.9 μm) kullanılan bir çalışmada, Owen ve ark. (2001) basit ve kendisiyle-tutarlı N-zengini Triton tolini, H_2O buzu ve karbon elementi içeren modeli türettiler. Gudipati ve ark. (2003) hemisfer spektrumunu, kozmik buzların UV ışınlanması ile oluşturulan makromoleküler organik kalıntıların olarak yorumladılar. Cuzzi ve Estrada (1998), az miktarlarda organik makromolekül bulaşmış su buzunun, Voyager uzay aracı ile gözlenen Satürn'ün halkalarının yakın-kızılaltı ve görünür renklerini açıklayabileceğini önerdiler.

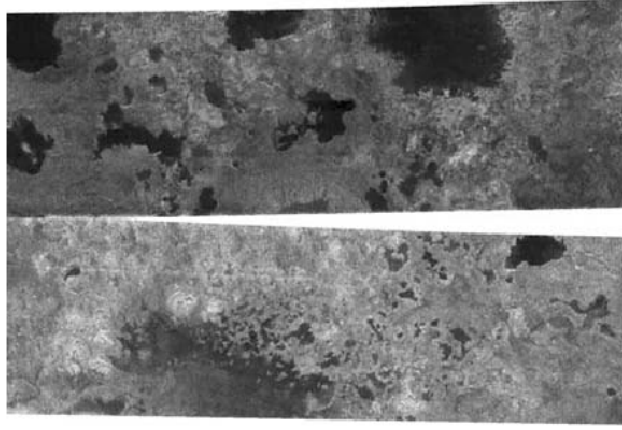
Çizelge 5.7. Dış Güneş Sistemi'nde gözlenen yüzey bileşikleri (Cruikshank, et al., 1998).

	Io: SO_2 , SO_3 , $\text{H}_2\text{S}?$, $\text{H}_2\text{O}?$
Jovian Uyduları	Europa: H_2O , SO_2 , CO_2 , Sulu Sülfat Tuzları H_2O_2 , H_2SO_4 Ganymede: H_2O , O_2 , CO_2 , $\text{X-C}\equiv\text{N}$, CH , SO_2 , Sulu silikatlar, SH , O_3 Callisto: H_2O , Sulu silikatlar, SO_2 , SH , CO_2 , $\text{X-C}\equiv\text{N}$, CH Mimas, Enceladus, Tethys, Hyperion, Phoebe: H_2O Dione: H_2O , C , HC , O_3
Satürn'ün Uyduları	Rhea: H_2O , $\text{HC}?$, O_3 Iapetus: H_2O , C , HC , NH Titan: H_2O , HC , $\text{C}\equiv\text{N}$ Halka: H_2O , CH Ariel: H_2O , CO_2 , $\text{OH}?$
Uranüs'ün Uyduları	Umbriel: H_2O Titania: H_2O , C , HC , $\text{OH}?$ Oberon: H_2O , C , HC , $\text{OH}?$ Miranda: H_2O , NH_3 hidrat ?
Neptün'ün Uyduları	Triton: N_2 , CH_4 , CO , CO_2 , H_2O
Plütön	N_2 , CH_4 , CO Charon: H_2O , NH_3 , NH_3 hidrat
Centaurlar ve Trans-Neptün Objeleri	H_2O , HC -buzu (örn. CH_4 , CH_3OH), HC , silikatlar HC = Çeşitli Hidrokarbonlar

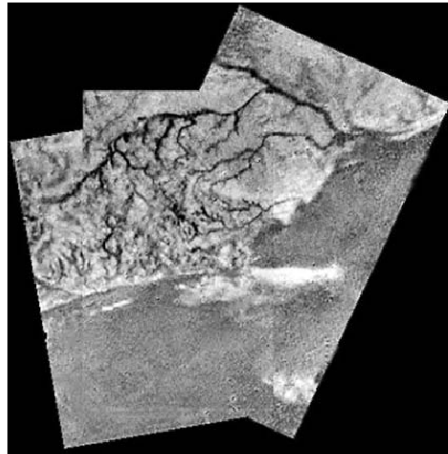
5.2.7.1. Titan

Titan'ın yüzeyindeki metanın hala anlaşılması beklenen karmaşık döngüsü vardır ve Dünya'daki suya benzer bir rol oynar. Temel sorulardan birisi metanın kaynağı ile ilgilidir. Titan'ın yüzeyinde hidrokarbon okyanusların bulunması, metanın ana kaynağı olarak yorumlanır (Lunine, 1993) ama şimdilerde bu kabul edilmemektedir. Fakat, Titan yüzeyinde metan ve etan göllerinin bulunması olasılığı şimdilerde yeni

saptamalarla; Cassini Radar tarafından Kuzey Kutbu yakınlarında sıvı cisimler (Şekil 5.7.) olduğu anlaşılan yüzey özellikleriyle doğrulanmış bulunmaktadır. Dahası, Huygens üzerindeki DISR aracı Titan'ın yüzeyinde oldukça yeni araziler içinde nehir ağlarına benzeyen dentritik yapıları (Şekil 5.8.) ve Titan yüzeyinde yeni sıvı akışlarını gösteren resimler sağlamıştır (Tomasko, et al., 2005).



Şekil. 5.7. Titan Kuzey Kutbu bölgesindeki göl olduğu düşünülen onlarca koyu özellikteki yerler. En küçüğü yaklaşık 1 km, bazıları ise 30 km'den daha fazla genişliktedir. En büyük göl ise yaklaşık 1,6 km uzunluğundadır (NASA/JPL-Caltech).



Şekil 5.8. Kanal ağları, dağlık bölge ve koyu-parlak ara yüzeylerin Huygens aracı DISR ile 6.5 km yükseklikten görüntüleri (ESA/NASA/JPL-Caltech/University of Arizona).

Ek olarak, Huygens GC-MS verileri, alçak troposferde artan metan mol oranının, yaklaşık 8 km yükseklikte doyum seviyesine ulaştığını ve böylece bulutların ve yağmurun oluşabilmesinin mümkün olduğunu gösterdi (Niemann, et al., 2005). Titan'da çok aktif olan organik kimya ve ilkel Dünya üzerinde önceden aktif olan prebiyotik kimyanın birbirlerine çok benzemesi ilgi çekicidir. Titan'ın yüzeyinde devamlı su kütlelerinin yok olmasına rağmen, ikisinin de kimyaları birbirlerine benzer. Titan'da günümüzde meydana gelen bazı organik aşamalar, dünyasal prebiyotik kimyanın hidrojen siyanid (HCN), siyanoasetilen (HC₃N) ve siyanojen (C₂N₂) gibi anahtar moleküllerinin nasıl oluştuğuna dair cevapları barındırır (Nature, 2005).

DISR, yüzeyin kızılaltı yansıma spektrumunu topladı ve Huygens aracı yere inmeden önce yüzeyi aydınlattı. Veriler su buzunun olduğunu gösteriyordu ki bu durum SSP aracı gözlemleri ile de aynı zamanda tutarlıydı (Zarnecki, et al., 2005). Titan'ın yüzeyi büyük ihtimalle donmuş uçucu organiklerle birlikte ısıya dayanıklı, tolin-benzeri organik maddelerle kaplanmış olabilir. Titan'ın yüzeyine ulaşan kozmik ışınların radyasyon etkileri diazometan ve azidler gibi reaktif bileşiklerin organik sentezini sağlayabilir (Raulin, et al., 1995). Fakat tolinlerin olduğuna dair - şimdiye kadar - açık bir kanıt yoktur. Diğer taraftan, yüzeye yakın atmosferin GC-MS analizi, siyanojen, C₃ ve C₄ hidrokarbonları ve benzen içeren birçok organik bileşiğin açık izlerini göstermiştir. Aynı zamanda, yüzeyin, alçak stratosfer ve troposferden daha fazla uçucu bileşik içerdiğine işaret edilmiştir (Niemann, et al., 2005).

Titan'ın sahip olduğu düşük sıcaklığa rağmen, Titan'ın yüzeyinde sıvı suyun varlığı göz ardı edilmemiştir. Titan üzerine kuyruklu yıldız çarpmaları yüzey su buzunu eritmiş olabilir ve uzun dönemlerde sıvı su ortaya çıkabilir. Bu durum, yalnızca nispeten düşük sıcaklıklarda dünya-benzeri prebiyotik sentezler için uygun koşulları sağlar. Ek olarak, Titan'ın yüzey derinliklerinde su-amonyak okyanusunun varlığının ihtimali, Titan'ın iç yapısı için düşünülen modellerle uygunluk göstermektedir. Aynı zamanda bu durum, basit moleküllerin karmaşık moleküllere dönüşümü ve kondritik organik moleküllerin prebiyotik bileşiklere yeniden aşama geçirmesi için en etkin yolu sağlamaktadır. Bu aşamalar Titan'ın tarihinin başlangıçlarında (su-amonyak okyanusunun yüzey üzerinde bulunma olasılığıyla birlikte) belki de etkin biçimde meydana gelmiş olabilir ki bu durum bir CHNO prebiyotik kimyasının dünyasal biyolojik önemli bileşiklere evrilmesine izin verebilir (Raulin, 2008).

5.2.8. Uranüs Sistemi

Cruikshank ve ark. (1998c) aynı zamanda Uranüs'ün uydularındaki gözlenen buzları ve diğer bileşikleri geliştirmişlerdir (bkz. Çizelge 5.7.). Grundy ve ark. (2006) Ariel üzerinde CO₂ varlığını tanımlamıştır. Bauer ve ark. (2002) Miranda üzerinde kristal H₂O varlığını saptamıştır. Kristalize H₂O buzu ve amonyum hidrat içeren teorik modeller, amonyum hidrat buzunun Miranda'da bulunması ihtimalini desteklemektedir (Bauer, et al., 2002).

5.2.9. Plüton-Charon ve Triton

Plüton'un spektrumu, yüzeyde katı N₂, CH₄, CO ve H₂O buzu için kanıt olabilecek bazı zayıf renklenme ajanları için delil sağlamıştır. Triton ile karşılaştırıldığında Plüton'da CH₄ ve CO miktarlarının daha yüksek olmasına rağmen, Owen ve ark. (1993) Triton gibi Plüton üzerinde de bir miktar CH₄'ın N₂ buzu içinde çözülmüş olabileceği sonucuna varmışlardır. Grundy ve Buie (2001) Plüton üzerinde uçucu buzların (CH₄, N₂ ve CO) dağılımını keşfettiler. Onlar, kırmızı yakın-kızılötesi devamlılık eğimi ile birlikte CH₄-zengini bölgeler buldular ve hem Titan hem de Triton tolinlerini bu bölgede kendi modellerine dahil ettiler.

Buie ve ark. (1987) Plüton'un uydusu olan Charon üzerinde H₂O buzu tanımladılar. Roush (1994) Charon'un yüzeyinde olası diğer uçucu grupların (CH₄ ve CO₂) keşfedilmesi için eldeki verileri karşılaştırarak teorik modeller kullandı. Daha yüksek spektral çözünürlüğe sahip veriler kullanarak Brown ve Clavin (2000) Charon üzerinde kristal halinde H₂O buzu ve amonyak veya amonyum hidrat buzu varsaydıkları spektrumları bulduklarını açıkladılar. Dumas ve ark. (2001) eldeki verileri Charon'un hemisferine uygulayarak, kristal su buzu varlığını doğruladı.

H₂O buzunun aksine, Triton'un, CH₄, N₂ ve CO gibi uçucuları içeren ilk buzlu yüzeydir (Çizelge 5.7.). Cruikshank ve arkadaşlarının da (1998) tartıştığı gibi, yüzey sadece az miktarlarda CO ile birlikte iri-taneli N₂ buzu ve CH₄ buzları ile baskındır. CO₂ buzu bulunmasına ek olarak, H₂O buzunun da bulunduğu dair kanıtlar bulunmuştur (Cruikshank, et al., 2000). Bunlara ek olarak, Quirico ve ark. (1999) yüzeyin maksimum % 10'unun saf CH₄ olabileceğini tahmin etmiştir.

BÖLÜM 6

ERKEN DÜNYA'DA YAŞAM

Erken Dünya'ya dair jeolojik örneklerin yetersiz olmasından dolayı dünyasal çevrelerin prebiyotik doğasını ortaya çıkarmak çok zordur. Gezegenimizin geçmiş tarihinde sahip olduğu koşulların anlaşılması, yaşamın başlangıcı ve yaşamın varlığı hakkındaki soruların cevaplanmasında önemlidir. Bu bölümde prebiyotik Dünya ortamı hakkında bilgile, eski fosil kayıtları kaynak alınarak yaşamın hangi koşullarda ortaya çıktığına ve bu ortamlarda bulunan organizmalara değinilecektir.

6.1. Dünya'nın Oluşumu Ve Suyun Kökeni

Başlangıçtaki tozlu ilkel-gezegenel disklerden dünyasal gezegenlerin oluşmasına dair önemli senaryolar ortaya atılmıştır (Chambers and Wetherill, 1998; Levison, et al., 1998). Eldeki verilerden yola çıkarak, tozdan gezegene doğru evrim ardışık üç evreye ayrılabilir. İlk evre, μm -büyüklüğündeki zerrelerin km -büyüklüğündeki gezegenimsilere olan koagülasyonudur ki bu aşama $10^4 - 10^5$ yıl içerisinde gerçekleşir (Weidenschilling and Cuzzi, 1993). Bu ilk aşamada, bileşimlerine bağlı olarak zerreler birbirleriyle çarpışır (Kouchi, et al., 2002). Bu durumla birlikte, gezegenimsiler gazlı disk içerisinden ayrılırlar ve kütleçekimsel olarak birbirlerini etkilerler. Bu süreç ikinci evreyi katalizler ve %1-10 Dünya kütleindeki gezegenel embriyoların oluşumuna öncülük eder (Makino, et al., 1998). Bu embriyolar malzeme biriktirirler ve Güneş Sistemi boyunca yoğun popülasyonlar oluştururlar. En son Dünya kütleline ulaşmak için 50-150 milyon yıl gereklidir. En son aşama, bir gezegen yığılmasıdır; yaklaşık 1 AB'de oluşan gezegenimsilerin yığılmasıyla Dünya kütleinde gezegen oluşur.

Dünya'nın bölgesel ve devamlı yığılması senaryoları, suyun kökenine dair tutarlı bir teori geliştirmez. Su içeriği ve asteroitlerin yörüngesel uzaklıkları arasındaki bağlantı, 1 AB'de oluşan bir cismin kuru olmasını önermektedir (Morbidelli, et al., 2000). Bazı yazarlar Dünya'daki uçucuların ve suyun kaynağının kuyruklu yıldızlar olduğunu önermiştir (Chyba, 1987; Delsemme, 2000). Fakat dinamik modeller, kuyruklu yıldızların dünyasal su içeriğine az katkısı olduğunu göstermiştir (Morbidelli,

et al., 2000). Ayrıca, çok eski zirkonların keşfedilmesi, 4,4 milyar yıl kadar öncesinde, Dünya üzerinde kıtasal kabuğun oluşması için yeterli miktarda sıvı suyun bulunması gerekliliğini düşündürmektedir (Wilde, et al., 2001).

6.2. Prebiyotik Dünya'nın Tarihlemesi

Dünya üzerinde yaşam başlamadan önce Dünya bir prebiyotik aşamadan geçmiştir. Bu prebiyotik Dünya, ilk biyolojik aşamalara öncülük eden en son kimyasal evrimin adımlarının olduğu yerdir. Eğer Panspermia göz önünde bulundurulursa bu konu çok kolay çürütülebilir (Napier, 2004). Genellikle karasal yaşamın Dünya üzerinde ortaya çıktığı tahmin edilir. Fakat panspermia halen bilimsel olarak çok tartışılan daha ilginç bir hipotezdir. Yaşam ister dünya-dışı kaynaklı ister yer-kaynaklı olsun, prebiyotik Dünya üzerinde yaşam gelişmeye başlamıştır ve prebiyotik Dünya'yı tanımak gerekmektedir.

Embriyo yığılmasının sonu (4,45 GY önce) ve Ay'ın oluşumuna kadar (4,0-3,8 GY önce) geçen süre içindeki Dünya'nın çarpışma tarihi tartışmalı bir konudur. Bu süreç içerisinde, büyük çarpan kütleler genellikle bütün dünyasal okyanusu buharlaştırabilecek ve 300 bardan daha fazla bir H₂O-CO₂ atmosferiyle çevrilmiş olan kayalık yüzeyi magmanın içerisine eritebilecek güçtedir (Zahnle and Sleep, 1997). Bu durum karşısında bir çarpışma (bazı yazarların, Dünya dışına atılan bakterilerle aşılannmış kütlelerin daha sonra Dünya'yı tekrar tohumlayacaklarını düşünmesine rağmen - Wells, et al., 2003) yalnızca dünyayı sterilize etmekle kalmaz tüm organik bileşikleride yıkıma uğrattır. Bu nedenle ilk organizmanın Dünya'nın çarpışma ile sterilize edilmesinden sonra ortaya çıkması gerektiği düşünülmektedir. İlginçtir ki, eski yaşama dair elde edilen en eski morfolojik ve izotopik kanıtlar 3,85-3,45 GY öncesine dayanmaktadır (Brasier, et al., 2004).

6.2.1. Prebiyotik atmosferin bileşimine dair görüşler

Dünya'ya suyun, 2-3 AB uzaklıkta oluşmuş bir veya birkaç embriyo tarafından getirilmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu embriyoların Dünya ile birlikte km-büyükte kütleler haline gelmesi tahminen 10,000 yıl alabilmektedir. Bu süre

içerisinde kendi içsel enerjisini sera etkisi yoluyla dışarıya yayıp, soğumaya başlamıştır. Bu sızıntı, “magma okyanusu” aşamasını üretmiştir ki bu evrede yoğun buhar atmosferi ile eriyen kayalık yüzey dengelenmiş durumdadır (Sleep and Zahnle, 2001). Bu evre 0,5-4 milyon yıl sürmüştür (Lyo, et al., 2003; Armitage, et al., 2003). Bu zaman içerisinde embriyolar, doğrudan buldukları bulutsudan soygazları ve elementleri kendi atmosfer, kayasal kabuk ve manto tabakalarına geçebilir (Dauphas, 2003).

6.2.2. Erken Dünya'nın sıcaklığı

Yukarıda bahsedildiği üzere, büyük çarpışmalar sonucu, yüzlerce bar atmosfer tarafından çevrelenen bir magma okyanusu tetiklenmektedir. Bu atmosferin yoğunlaşması ve soğuması sırasında, sıcak okyanus (230°C) 300 bar atmosfer ile denge halinde bulunabilmektedir. Bu en uç durum ile şimdiki koşulların arasındaki sıcaklık evrimi halen çok belirsizdir.

Dünya tarihinin en soğuk zamanları, ekvatora kadar buz ile kaplanmasıyla karakterize edilen *Kartopu Dünya* olaylarıdır. Bu olayların başlangıcında, buz-aklık ters etkisi on binlerce yıl için küresel sıcaklığı -50°C'lere düşürmüştür (Schrag, et al., 2002). Bu sıcaklık düşmesi birkaç milyon yıl boyunca sıcaklığın yaklaşık -10°C'ye düşmesiyle takip edilmiştir. Bilinen en eski kartopu olayları Proterozoik (2,45- 2,22 GY önce) başlangıcına yakın zamanda ortaya çıkmıştır ve bir diğeri 2,7-2,8 GY önce ortaya çıkmış olabilir (Crowley, 1983). Bu eski alt-enlemlerdeki buzlanmalar belki ilk biyolojik oksijenin salınmasının sonucu olabilir (Selsis, 2002). Fakat yaşam ortaya çıktıktan sonra, iklim etkili bir şekilde biyolojik aktiviteden etkilenmiştir. Özellikle, en ilkel metabolizma olarak bilinen metanogenezis, düşük solar radyasyon altında iklimin ılık sürmesini sağlayabilir (Pavlov, et al., 2000).

6.3. Dünya'da Erken Yaşam

Dünya'da yaşam başladığında Dünya şimdiki halinden oldukça uzaktır. Yaşam için ilk fosil kanıt 3,5 milyar yıl öncesine, yani Dünya'nın oluşumundan bir milyar yıl sonrası dayanır (Dunlop, et al., 1978; Westall, et al., 2000). Fakat, mikrofosillerin karakterleri, oldukça evrimleşmiş yaşam şekillerini sunar. Yaşam, açıkça, daha erken

ortaya çıkmıştır ve (ilk hücrenel membran içeren ilkel reproduktif ve enerji-içeren mekanizmaların oluşumundan, bugün geçerli olan çoğu modern organizmalarda bulunan metabolik yol iz tipleriyle tanımlanmış organizmalara kadar) birden fazla önemli evrimsel aşamalardan geçmiştir. Bununla beraber, yaşam için izler, yüksek derecede başkalaşmış Grönland'taki Isua ve Akilia yeşiltaş kuşaklarındaki 3,65-3,8 GY yaşlı kayalarda tanımlanmıştır (Pflug, 2001; Schidlowski, 2001).

Dünya üzerinde yaşam ne zaman oluşabildiğini bilmek için, 4,3-4,4 GY yaşındaki en erken kanıtlara bakarak yaşamın sıvı suya ihtiyaç duyduğunu söylemek gerekir. Bu kanıt, daha genç kayalarda hapsolmuş birçok zirkon kristallerinin bulunmasına dayanmaktadır (Wilde, et al., 2001). Bu kristallerin büyük miktarlarda oluşması hidratlanmış bazaltik kabuğun parçalara ayrılmasına ihtiyaç duyar. Bu yüzden, zirkonlardan elde edilen $\delta^{18}\text{O}_2$ izotop değerleri, düşük sıcaklıklı hidrotermal akıntılarla değiştirilmiş kabuk kaynağı ile tutarlıdır (Wilde, et al., 2001). Su-zengini akıntılar, Hadean Eon'daki (4,56-4,0 GY) bu erken dönemde yaşamın kökenini destekleyebilir (Dünya tarihinin 4,56-4,0 GY arası Hadean dönemi, 4,0-3,2 GY arası Erken Arkeyan dönemi, 3,2-2,8 GY arası Orta Arkeyan dönemi ve 2,8-2,5 GY arası ise Geç Arkeyan dönemidir). Diğer taraftan, Ay'ın çarpmasının kayıtlarının analizi, daha içteki gezegenlerin erken tarihlerinde yoğun çarpışma akışıyla karşı karşıya kaldıklarını doğrular ve erken Dünya'da 4-3,85 GY arasında bombardıman oranı zirveye çıkmış olabilir (Ryder, 2002). En karamsar çarpışma senaryoları, gezegenin yüzeyinde var olabilecek herhangi bir yaşamın ortadan kalkabilmesini önermektedir (Maher and Stevenson, 1988; Sleep, et al., 1989). Oysa en iyimser hipotezler ise okyanusların sadece en üst birkaç yüz metresinin kaynadığını ve böylece küresel bir sterilizasyon sağladığını savunur (Ryder, 2002). Bu zamana kadar, yaşamın tam olarak ne zaman ortaya çıktığı bulunamamıştır. Çünkü yaklaşık 3,5 GY yaşından daha yaşlı kayalara dair doğrudan kanıtlar elde edilememiştir ve bu kayalar ya tabaka tektoniği aşamaları ile yok edilmiş ya da başkalaşım ile değiştirilmiştir.

6.4. Erken Çevresel Habitatlar

Erken kıtasal kütleler, volkanlar veya okyanus yükseltilerinden (şimdiki İzlanda gibi) oluşmuş volkanik kayaları ve hatta kalınlaşmış okyanus kabuğu bölümlerini

(Pasifik Okyanusu'ndaki Ontong Java Platosu) temsil eder. Buralar, hidrotermal bacalarıyla beraber derin-deniz ortamından subaerial çevrelere kadar, erken yaşam için çeşitli potansiyel habitatlardır. Geniş bir alana sahip olmamakla beraber sığ kıtasal kaya tabakaları, tipik modern kıtalar, erken Dünya tarihi boyunca yaşamın gelişmesi için önemli sonuçları barındırır; erken yaşamın biyokütlesi, kaya tabakaları tarafından sağlanan güneşli çevrelerde organizmaların gelişip uygun biçimde dağılmasına yön veren oksijenli fotosentezin evrimine kadar sınırlı kalmıştır.

Az sayıda kısmen parçalanmış kayalardan ayrı olarak (örneğin silika bakımından bunlar daha zengindir) Erken Arkeyan'dan ulaşan kayaların çoğu ultrabazik bileşimdedir. Erken Dünya'daki kayaların birleşimi önemlidir çünkü yaşamın yüzeye-bağlı olduğu ve ilk organizmaların büyümeleri için yüzeyin altında bulunmalarına gerektiği varsayılır. Dahası, en erken yaşam şekillerinin, yaşam ağacına göre, büyük ihtimalle kemoototrofik metabolizma kullandıkları (en ilkel metabolizma formu), bu sayede hem kendi enerjilerini ve hem de kendi karbonlarını organik-olmayan kaynaklardan sağlayabildikleri düşünülür. Volkanik kayaların yüzeyleri kimyasal açıdan yüksek derecede reaktiftir ve böylece, kemoototrofik organizmalar için ideal substrat sağlanabilir. Erken Dünya sıcaklıkları, hem mantoda hem de yüzeyde, büyük olasılıkla şimdiden daha yüksekti (Arndt, 1994; Knauth and Lowe, 2003). Daha yüksek manto sıcaklıkları, daha hızlı tektonik geri dönüşümü ve daha büyük volkanik ve hidrotermal aktiviteyi sağlar. Knauth ve Lowe (2003) ortalama okyanus sıcaklığını 50°den daha yüksek yani muhtemelen 70-80°C olabileceğini hesapladılar. Bu sıcaklıktaki olası bir erken yaşam türünün termofilik olması gerektiği ve hipertermofilik olması hakkında kesinlik taşımayacağı önerildi (Wiegel and Adams, 1998; yaşamın orijini için termofilik ve hipertermofilik tartışmaları için Forterre, et al., 1995).

Okyanus suyunun bileşimi yani pH'ı ve tuzluluğu bilinmemektedir. Bir teorik modelde, erken "soda" okyanusunun modern, alkalın volkanik göller ile karşılaştırılmasına dayandırılarak hipotez kurulmuştur (Kempe and Degens, 1985). Diğerleri, erken atmosferdeki CO₂'in yüksek kısmi basıncından dolayı okyanusun çok az asidik pH'a, yaklaşık 5, sahip olacağını önermişlerdir (Grotzinger and Kasting, 1993). Diğer taraftan, Holland (1984), modern okyanuslarda olduğu gibi erken okyanusun da nötral pH'a sahip olduğunu öngörmüştür. Erken Arkeyan kayalardaki sıvı kapanımlardaki tuzluluk ölçümleri aynı zamanda çeşitli sonuçları gösterdi: Touret

(2003) normal tuzlu okyanus suları olduğu verisini sunarken, de Ronde ve Ebbessen (1996) Erken Arkeyan tuzluluğunun günümüz okyanus sularından çok az daha tuzlu olduğunu hesaplamışlardır.

Erken atmosferin birleşimi, H₂O buharı, N₂ ve CH₄ gibi gazları içermesine rağmen, büyük olasılıkla CO₂ bakımından baskın haldeydi (Kasting, 1993). Genç Güneş'ten gelen radyasyon muhtemelen şimdikinden %30 kadar biraz fazlaydı (Sagan and Chyba, 1997). Bu yüzden, gezegeni ılık tutmak ve okyanusları da sıvı halde sabitlemek için ya atmosferik CO₂'in kısmi basıncının çok yüksek olması (10 bardan yukarı) ya da diğer sera gazlarının, örneğin CH₄, atmosferde bulunması gerekmektedir (Kasting, 1993).

Erken atmosferdeki oksijen miktarı ve Dünya'nın tarihindeki serbest oksijen (O₂ gazı) miktarının yükselmesine ilişkin konular halen tartışmalıdır. Örneğin, Ohmoto (1997), Erken Arkeyan atmosferindeki oksijen seviyelerinin oldukça yüksek olduğunu savunurken Holland (1984) bu seviyenin çok düşük olduğu görüşünü getirmiştir. Fakat, Erken Arkeyan'da jasperitlerin ve şeritli demir oluşumlarının (Banded iron formations - BIFs) (Şekil 6.1.) belli miktarlarda O₂'e ihtiyacı vardır. Bu kimyasal çöküntüleri üretecek gerekli oksijen, atmosferde ve okyanusların üst tabakalarında bulunan H₂O buharının az miktarlardaki fotolizi ile türetilmiş olabilir. Fakat bu, şimdiki atmosferik



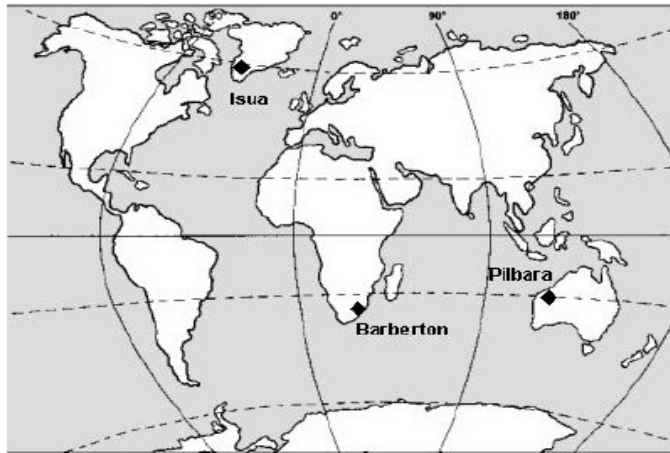
Şekil 6.1. Şerit halindeki demir oluşumları. Yaklaşık 10 m yüksekliğindeki demir oksit katmanlarının arasına serpiştirilmiş demir silikatlar ve diğer silika minerallerinden oluşan bir kaya. Brockman Demir Oluşumları, Batı Avustralya. Demir oksitler, temel olarak siyanobakteriyal fotosentez sonucu serbest kalan oksijen ile ferro demirden (Fe⁺²) ortaya çıkan ferrik (Fe⁺³) demir formu içerirler (Madigan, et al, 2010).

seviyelerinin %1'den de aşağıdaki derişimleri temsil etmektedir (Kasting, 1993). O₂'nin düşük miktarları erken yaşam için önemli anlamlar içerebilir; Dünya üzerindeki erken yaşamın anaerobik olduğu ve koruyucu bir ozon tabakasının da var olmadığı gibi. Bu, zararlı UV radyasyonun, suların en üst tabakaları ve kara yüzeyleri gibi maruz kalan ortamlardaki habitatlara ulaşması demektir (Cockell, 2001). Diğer taraftan, erken atmosferin, büyük ihtimalle, gezegene çarpan kütlelerin ve volkanik aktivitenin çok olmasında kaynaklanan toz ve aerosoller yüzünden çok kalın olduğu önerilmektedir (Lowe and Byerly, 1986; Kyte, et al., 2003).

Erken yaşamı etkilediği düşünülen diğer çevresel faktörler daha kısa günler (gezegenler daha hızlı dönüyorlardı) ve Ay'ın Dünya'ya şimdikinden daha yakın olmasında kaynaklanan daha yüksek gelgit olaylarıydı (Sonett, et al., 1996).

6.5. Erken Yaşam

Yaşamın, Dünya yüzeyinde köken aldığı varsayımını doğrulamak için, eski yaşamın çalışılacağı kayalara sahip olan sadece birkaç arazi vardır. İlgili kayalar sıkıştırılmış volkanik madde içerirler. Bunlardan en eskileri güneybatı Grönland'daki Isukasia/Akilia yeşiltaş kuşaklarındaki ve kuzeybatı Avustralya ve Güney Afrika'nın doğusundaki Pilbara ve Barberton yeşiltaş kuşaklarındaki kayalardır (Şekil 6.2.)



Şekil 6.2. Erken Arkeyan arazilerinin konumları; Isua, Barberton ve Pilbara (Westall, et al., 2002).

6.5.1. Isua/Akilia yeşiltaş kuşakları

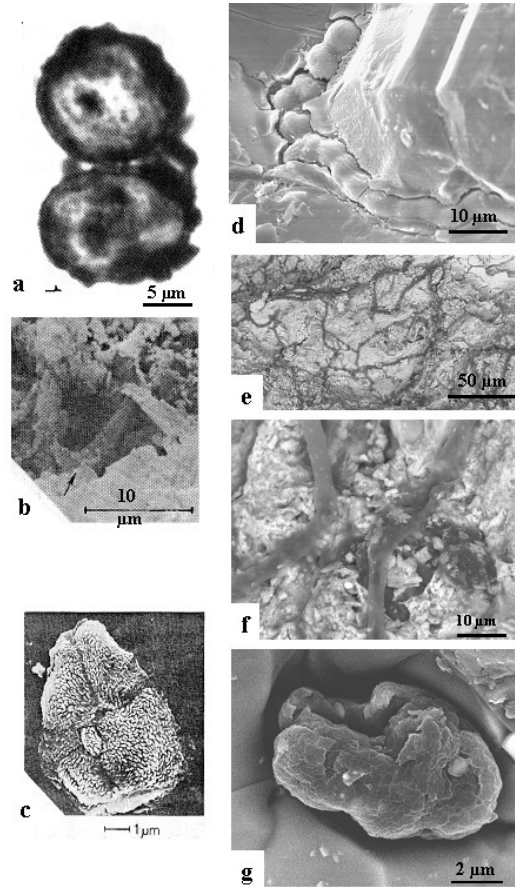
Grönland, birçok erken Arkeyan arazisine ev sahipliği yapmaktadır. Bunlardan ikisi erken yaşama ilişkin veriler açısından için ilgi çekicidir: Nuuk'un kuzey batısındaki Isukasia alanı ve Nuuk'un güney batı tarafındaki Akilia birlikleri. Bu araziler yüksek derecede farklılaşmış kabuk-üstü kayalardır (volkanik, volkaniklastik ve kimyasal sedimentler) ve 3,75 GY'dan daha yaşlıdır (Nutman, 1986). Değişimin derecesinden dolayı, bu arazilerin gerçekte özgün sediment kayalarını içerip içermediğine dair bazı tartışmalar vardır (Fedo and Whitehouse, 2002; Myers, 2003).

Bu kayalar yaşamın kanıtlarının tanımlanması için birçok farklı yöntem kullanılarak analiz edildiler. Karbonlu, asitli kalıntının üzerine ince kesit çalışması ile taramalı ve geçirimli elektron mikroskop (SEM, TEM) gözlemleri, maya-benzeri hücrelere benzer bakteriyomorf yapılar (*Isuasphaera isua*, Pflug and Jaeschke-Boyer, 1979), siyanobakterilere benzer yapılar (Pflug, 2001) (Şekil 6.3a) ve aynı zamanda *Apellela ferrifera* gibi bakteriyomorflar (Robbins, 1987) (Şekil 6.3c) olduğu düşünülen ve bunların hepsinin mikrobiyal kolonileri ve demir kaplanmış filamentleri (Robbins, 1987; Robbins and Iberall, 1991) (Şekil 6.3b) olarak yorumlanan yapıları ortaya çıkardı. Bu yapılar sonra tekrar olası hava ile aşınmış ürünler, sıvı kapanımlar veya bugünkü kontaminasyon olarak tekrar yorumlandı (Roedder, 1981; Bridgewater et al., 1981; Westall and Folk, 2003). Westall ve Folk (2003), örneğin, bu kayaların yarıkları ve çatlakları içerisinde yağmur suyu ile yıkanmış yarıkların arasında karbonlu izleriyle birlikte yerleşen siyanobakteriler ve mantarlar gibi yeni endolitik mikroorganizmaları gösterdi (Şekil 6.3d-g).

Isua'daki metamorfik kayalar ayrıca sabit azot izotop çalışmalarına da konu oldu (Pinti, et al., 2001). Metasedimentlerde bulunduğu inanılan biyotitler ve demir oksitlerin ölçümlerinden alınan değerlerin biyolojik kökenli olduğu tahmin edildi fakat bu hipotezlerin doğrulanması için farklı araştırmalar yapılması gereklidir.

6.5.2. Barberton ve Pilbara yeşiltaş kuşakları

Yukarıda bahsedildiği gibi, 3,7 milyar yaşından büyük Isua ve Akilia kayalarının değişme derecesinin çok büyük olması dolayısıyla, bunların kökenleri konusunda açık



Şekil 6.3. Isua şeritli demir oluşumlarındaki bakteriomorflar ve mikroorganizmalar (Westall and Walsh, 2000). (a) Asit maserasyonu ile serbest bırakılmış, siyanobakteri fosili olduğu düşünülen sferik, büyük karbonlu bakteriomorf TEM mikrografisi (Pflug, 2001). (b) Asit maserasyonu ile serbest bırakılmış filamentlerin SEM mikrografisi (Robbins and Iberall, 1991). (c) Asit maserasyonu ile serbest bırakılmış *Apellela ferrifera* (Robbins and Iberall, 1991). (d) BIF'lerdeki yakın geçmişteki endolitik siyanobakteriler; (a) ile karşılaştırılması (Westall and Folk, 2003). (e,f) Yakın geçmişteki BIF'lerdeki yüzey kırığı üzerindeki endolitik fungal hif; (b) ile karşılaştırılması (Westall and Folk, 2003). (g) BIF'den olasılıkla ekzojen kökenli üretken kerojen kümesi; (c) ile karşılaştırılması (Westall, et al., 2002).

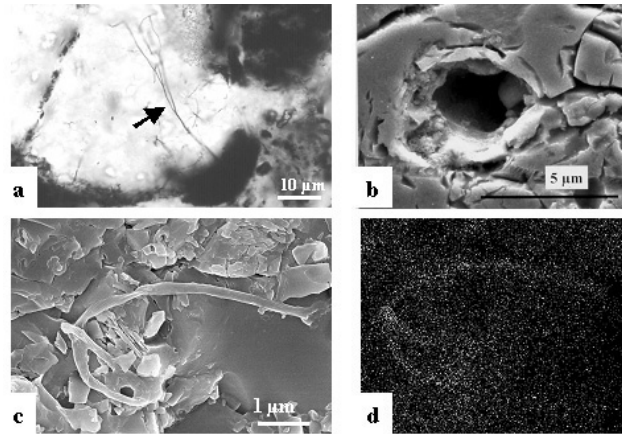
bir yorum getirmek pek olası değildir. Fakat bir diğer iki eski arazi içerisinde iyi-korunmuş sedimanter kayalar bulunur. Bunlar 3,2-3,5 GY olan Güney Afrika'daki Barberton yeşiltaş kuşakları ve Avustralya'daki Pilbara bölgesidir (Bkz. Şekil 6.2). Bu iki arazi, tabakalar arasında giren püskürtülmüş volkanik kayalardan volkaniklastik ve kimyasal sedimentlerden ve granitten oluşmuştur.

Bu öncül - kıtasal kütleler erken yaşam için potansiyel bir alan oluştururlar. Bu sedimentlerde yaşamın kanıtlarının bulunması için çok sayıda keşif yapılmıştır. Schopf

ve Walter (1983) tanımlanan mikrofosillerin büyük bir çoğunluğunun el yapımıyla alakalı, biyolojik kökenin belli olmadığı fosiller veya kontaminantlar olduğu sonucuna vardılar (Şekil 6.4.). Yakın geçmişte, görünüşte fosil siyanobakterilere benzeyen birkaç filamentli yapıları, hidrotermal silisli sistlerin damarlarında karbonlu çöküntülerde bulunduğu gösterildi (Brasier, et al., 2002). Diğer taraftan, Pilbara ve Barberton'daki karbon-zengini sistlerde yapılan çok sayıda karbon izotopu keşifleri biyolojik parçalanmalarla tutarlılık göstermiştir (Hayes, et al., 1983; Brasier, et al., 2002).

Ek olarak, bu kayalarda karbonlu, halı-benzeri meydana gelmiş kokkoidal mikrofosiller, zincir-benzeri birleşmeyle bir araya toplanmış veya daha gevşek bağlanmış koloniler, daha küçük, kıvrımlı karbonlu filamentler, 0.25-0.5 μm arasında genişlikte ve birkaç 10 μm 'den daha büyük uzunlukta, kalın, sağlam mikrobiyal yığınlar, çubuk-şeklinde bakteriyomorflar bulunmuştur (Westall and Walsh, 2000).

Barberton ve Pilbara'da Erken Arkeyana ait birçok stromatolit varlığına ilişkin rapor vardır. Kubbe gibi stromatolitler Pilbara'nın Kuzey Kutup bölgesi/Strelley Pool Chert alanından Dunlop ve ark. (1978), Schopf ve Walter (1983), Lowe (1983) ve Westall ve ark. (2002) tarafından, Barberton yeşiltaş kuşağının güney tarafından ise



Şekil 6.4. Pilbara ve Barberton'da Erken Arkeyan oluşumlarından filamentler (Westall and Walsh, 2000). (a) Büyük, karbonlu filamentler (oktaki dik olarak kalın, karbonlu, biyofilm substrattan çıkıntılı halde. Filamentler sist içerisinde gömülmüş durumda. Kromberg Oluşumu, Barberton (Westall and Walsh, 2000). (b) Silis-endirilmiş büyük bir filamentin enine kesit görüntüsü, granüler dış zar sistin içerisine gömülmüş. Kromberg Oluşumu, Barberton (Westall and Walsh, 2000). (c) Daha küçük, silis-endirilmiş sistin içerisinde gömülmüş bir filament. Coppin Gap Oluşumu, Pilbara (Westall, et al., 2002). (d) Mikrofosilde karbon bolluğunun EDX haritalamasıyla gösterimi (Westall, et al., 2002).

Byerly ve ark. (1986) tarafından tanımlandı. Fakat, Lowe (1994) bazı kubbe biçimli stromatolitik yapıların mikrobiyal yığınlardan ziyade hidrotermal tortuları yansıtan abiyonik kökenli yapılar olabileceğini not etti.

6.6. Erken Arkeyan Yaşama Dair Sonuçlar

Erken Arkeyan'daki mikrofosillerin morfolojik, kolonisel ve yığın-oluşturma karakteristikleri modern prokaryotlarınkine dikkat çekecek derecede benzerdir. Bu karakteristikler, bu mikrofosilleri ve fosil biyofilm/yığınları oluşturan organizmaların tek hücreli prokaryotlar olduğunu akla getirir. Bu organizmalar, ilk hücreler olduğunu düşünülen basit, daha çok veya az küresel hücresel yapılarla karşılaştırıldığında dikkat çekecek derecede evrimleşmiş karakteristikler sergilerler. Şimdilerde sıcak kaynakların çevrelerinde bulunan bazı amorf yapılı, dikdörtgen biçimli veya çok-duvarlı yapılı organizmaların yanı sıra bazı spiral yapılı modern prokaryotlar, fosiller arasında eksiktir. Dahası, bazı siyanobakterilerdeki hücre farklılaşması veya diken oluşumuna dair kanıtlar gibi mikroorganizmalara dair morfolojik özellikler (polisakkaritçe zengin kılıfları ve glikokaliks ile örtülmüş kolonileriyle) gözlenememiştir. Kısacası Erken Arkeyan sırasında siyanobakterilerin büyük olasılıkla var olmadığı sonucuna varılabilir (Westall, et al., 2002). Diğer taraftan, bütün yığınlar, çok sıg su çevrelerinde ve hatta litoral çevrelerde bulunmuştur. Bu demektir ki bu organizmaların UV radyasyona karşı dirençli olmaları lazımdır. Yığınların evaporitik çevrelerde bulunması bu yığınları oluşturan organizmaların halofilik değilse de halotolerant olmaları olasıdır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Atlin, BC. yakınlarında bir sulak alandan mikrobiyal yığın fotoğrafı. Yığının yüzeyindeki evaporitler okla gösterilmiştir (Garcia-Pichel, et al., 1994).

BÖLÜM 7

EKSTREMOFİLLER

7.1. En “İlkel” Yaşam Şekillerini Aramak

Gezegelimiz üzerinde yaşamın nasıl başladığını anlamak için iki farklı yaklaşım uygulanabilir. Bunlardan ilki, ilkel Dünya ortamlarını - teorik ve/veya deneysel olarak - yeniden oluşturmak ve bildiğimiz yaşamın bu ortamlarda nasıl ortaya çıktığına dair olası senaryoları çözümlenektir. Bu tip bir yaklaşım çoğunlukla kimyacılar ve fizikçiler tarafından benimsenmiştir. İkinci yaklaşım ise, biyologlar tarafından desteklenir ve bugünkü organizmaların çok uzak tarihlerdeki ipuçlarına bakmaya dayanır (Gribaldo and Forterre, 2006). Bu bölümde çoğunlukla ikinci yaklaşım üzerinde durulacaktır.

Aslında, cansız maddeden yaşama geçiş hakkında tutarlı bir görüşe ulaşmak için, her yaklaşım tarafından önerilen senaryolar neticede birbirleriyle bir noktada birleşmek zorundadır. Diğer bir deyişle, örneğin, kimya ne zaman biyolojiye yol vermiştir? Bu sorunun cevabı, diğer gezegenler üzerinde yaşamın gelişmesi için uygun başlangıç ortamının varlığıyla birlikte, yaşamın ortaya çıkmasının olası hesapları için önemlidir.

7.2. Daha Basit Mutlaka Daha Yaşlı Değildir!

Biyologların yaşamın kökenine dair en geleneksel yaklaşımlarından biri, günümüze kadar gelen en basit hücreli yaşam şekillerinin, gezegenimizde görülen ilk hücrelerin geçmişteki özellikleri ile ilişkisini araştırmaktır. Bu ilk hücrelere doğru geri adımlar atıp iz sürmek araştırmayı daha kolay kılar. Böyle bir araştırmada, basitlik ve küçük boyutlar bazen atasal karakterler olarak (örneğin ilkel Marslı “nanobakteriler” varsayımı) dikkate alınır. Fakat, bu tip bir değerlendirme risklidir ve yanlış kanıtlarla sonuçlanmıştır; aslında basit olan şey mutlaka ilkel değildir, fakat ikincil sadeleşmenin bir ürünü olabilir. Örneğin, bakterilerin günümüze kadar gelen en küçük üyeleri olan mikoplazmalar, tarihsel olarak ilkel hücreler için aday olarak gösterilmiştir. Fakat şimdi biliyoruz ki bunlar gerçekten antik ve “ karmaşık ” bakterilerdir (Gribaldo and Forterre, 2006).

Sonuç olarak, ilk hücreler elbette çok basit olmalarına rağmen, günümüze kadar gelen en basit hücresel şekillerin yerine onların son derece evrimleşmiş ve özelleşmiş nesilleri yer almıştır. Bu durum, günümüzden başlayarak geçmişi yeniden oluşturma girişimlerini ve dünyasal biyosfer hakkında bilinene dayanarak, olası dünya-dışı yaşam tahminlerini sınırlamaktadır.

7.3. Hipertermofiller Ve Yaşamın Sıcak Bir Kökeni Hipotezi

Yaşamın çok sıcak ortamlarda (deniz-altı hidrotermal bacalarda) veya doğrudan Dünya'nın manto tabakası içinde ya okyanussal yükseltelerin yakınlarında ya da içlerinde olduğu hipotezi çoğu ekzobiyolog tarafından kabul edilir. Aslında, böyle bir hipotez altında, yaşamı barındırabilecek ötegezegen sayısı artabilir. Öngörülen başlangıç atmosfer koşulları ve yıldızdan uzaklıkları kullanılmamaya başlanabilir. Dahası, eğer yaşam böyle koşullarda meydana çıktıysa (örneğin Dünya'nın yüzeyinden uzakta), ilk evrim adımları, gezegen olduğu zamandan beri devam eden meteoritik bombardımandan korunmuş olması gerekir. Bu nedenle hipertermofiller, "ilkel hücre" adaylığı için mikoplazma ile yer değiştirir (Madigan, 2002). Birçok yazar, LUCA'ya kadar sıcak bir köken hipotezini desteklemiştir (Pace, 1991). Bu yazarlara göre, LUCA, hala-sıcak Dünya üzerinde ortaya çıkmış ve yaşamış olabilirdi ve günümüzdeki hipertermofiller bunun doğrudan nesilleri olabilirdi (Wiegel, 1998).

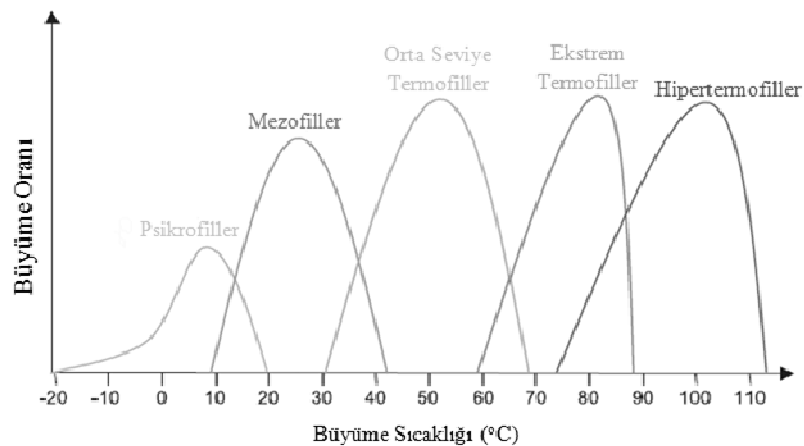
7.4. Ekstremofiller Hakkında Bazı Kavramlar

Uzun zaman steril olduğu düşünülen ekstrem ortamlarda ekstremofil adı verilen ve bu ortamlara iyi uyum sağlamış doğal yerleşicilerin varlığı ve çeşitliliğini bugün biliyoruz. İlk organizmalar arasında tuz-seven organizmalar özellikle bu habitatlara direnç açısından çalışıldı. İlk halofilik türler, Farlow tarafından 1880'in başlarında tuzlanmış balıktan izole edilmiştir (Farlow, 1880). Volcani, 1936'da, %30-34'lere varan çok yüksek tuz derişimlerinde yaşayan çok sayıda mikrobiyal türü Ölü Deniz'den izole etti (Wilansky, 1936). Daha sonra 1970'lerde, ilk termofilik ve hipertermofilik arke izole edildi (Brock and Freeze, 1969). Bu çalışmalar, Pasteur zamanından beri, 80°C üzerinde organizmaların yaşayamayacağına dair fikirleri değiştirecek güçteydi (Madigan, et al., 2002).

7.4.1. Ekstremofil nedir?

Ekstremofil, sabit olarak ekstrem bir çevrede yaşayan organizmadır. Ekstrem çevre ise insanlar için koşulların sert ve şiddetli olduğu habitatlar olarak düşünülebilir. Bu antroposentrik görüş, göreceli olarak geçerli görünse de çok öznedir. Bir ortama “ekstrem” diyebilmek için, bu ortamı tanımlayan fizikokimyasal karakterlerin yaşamın meydana gelebilmesi için bilinen sınırların içerisinde olması lazımdır. Bu tam bir biyolojik tanımlamadır. Bu bağlamda, “biyoekstremler”den bahsedilmelidir (Şekil 7.1). Böylece, eğer sıcaklık örneğini ele alırsak, yaşam yaklaşık olarak -20°C ve $110-120^{\circ}\text{C}$ arası yayılabilir. Bu aralıkta organizmalar minimal ve maksimal büyüme sıcaklıklarına göre farklı kategorilere bölünürler. Bu tanımlamaya göre, psikrofiller ve hipertermofiller, yaşam için sıcaklığın alt ve üst sınırlarına yakınlarda yaşayanlar, ekstremofillerdir.

Çoğu prokaryotun metabolizması, metabolik olarak sınırlı ökaryotik akrabalarıyla karşılaştırıldığında, kendilerini “ekstrem” hale getirir (Gaidos, et al., 1999; Nealson, 2001). Bu yüzden, bu normalin dışındaki organizmalar, kullanılabileceği düşünülmeyen beslenme substratlarıyla bu ekstrem ortamlara uyum gösterebilmişlerdir. Ökaryotlar sınırlı aralıktaki (genellikle glukoz, asetil- koA, veya TCA döngüsünde kullanılabilen) karbon kaynaklarını metabolize ederken, prokaryotlar bir karbondan, polisiklik bileşiklere kadar geniş aralıktaki karbon bileşiklerini metabolize ederler (Çizelge 7.1). Dahası, inorganik enerji kaynaklarını kullanma yeteneği, bilinen kadarıyla, prokaryotik dünyanın bir özelliğidir (Çizelge 7.2.).



Şekil 7.1. Büyüme sıcaklıklarına göre organizmaların sınıflandırılması (López-García, 2005).

Çizelge 7.1. Çeşitli metanojenik arkeler tarafından metana dönüştürülen substratlar (Madigan and Martinko, 2010)

I. CO ₂ -tipi substratlar	Karbondiyoksit CO ₂ Format, HCOOH ⁻ Karbonmonoksit, CO
II. Metil Substratlar	Metanol, CH ₃ OH Metilamin, CH ₃ NH ₃ ⁺ Dimetilamin, (CH ₃) ₂ NH ₂ ⁺ Trimetilamin, (CH ₃) ₃ NH ₂ ⁺ Metilmerkaptan, CH ₃ SH Dimetilsülfid, (CH ₃) ₂ S
III. Asetotrofik substratlar	Asetat, CH ₃ COOH ⁻ Piruvat, CH ₃ COCOO ⁻

Çizelge 7.2. Besin açısından ekstremofiller (Seckback and Walsh, 1999)

(1) Enerji Kaynakları (2) Oksidantlar	Organizmaların Metabolik Tipleri	Çevreler	Organizma Grupları
(1) Karmaşık Organik polimerler Selüloz, Lignin, Kitin	Heterotroflar	Çoğu habitat	Bacteria Archaea Fungi
(1) İnorganikler H ₂ , H ₂ S, NH ₃ Fe(II), CO CH ₄ , CH ₃ OH	Litotroflar Aerobik Anaerobik	Hidrotermal Bacalar Tabakalanmış sistemler	Bacteria Archaea
(1) Işık Anaerobik Rodopsin	Fotosentetik Bacteria Halofiller		Bacteria Archaea
(2) Hiçbiri	Fermentörler	Çoğu	Fungi Bacteria Archaea
(2) İnorganikler CO ₂ , SO ₄ ⁻ Fe(III), NO ₃ ⁻ Mn(IV)	Anaerobik Solunum Yapanlar	Derin Yüzealtı ve bacalar	Bacteria Archaea Fungi

Ekstrem koşullar altında, oksijen veya organik besinlerin sınırlanmaya başlaması durumlarında, bu yaşanmaz, görülen ortamlarda belirli organizmaların yaşamlarını besinsel ekstremofillikle sürdürmeleri, diğer araştırmalar için çok önemlidir. Ekstremofilleri çalışma sebepleri: ekstremofilleri uzay için kullanmak - belki yaşam desteği, belki de

dünyalaştırmak; ekstrem ortamlarda yaşayabilirliği sağlayan mekanizmaları ile Dünya üzerindeki yaşamın biyoçeşitliliğini kullanarak uzaydaki yaşamın sınırlarını anlamak için kullanılmaktadır (Rothschild, 2007). Ekstremofillerin evrende yaşamın aranması için kullanılması ile ilgili olarak, on dokuzuncu yüzyılda popüler bilim yazarı olan Richard Proctor tarafından ilk defa diğer gezegenlerde yaşam ve ekstrem çevrelerdeki yaşam çalışmalarını birbirleriyle ilişki kurulmuştur (Proctor, 1870).

7.5. Ekstrem Çevreler Ve Üzerlerinde Yaşayanlar

7.5.1. Ekstremofiller ve Ekstremotolerantlar

Çizelge 7.3.'de ekstremofilik ve ekstremotolerant organizmaların genel özellikleri özetlenmiştir. Bunların sınıflandırılmaları fizikokimyasal değiştirgelere dayanılarak yapılmış, ekstremofil gruplarının örnek türleri ve koloni oluşturdukları habitatlar da çizelgede belirtilmiştir. Sıcaklık, pH, tuzluluk (ozmotik basınç), basınç, kuruluk (su mevcudiyeti) ve radyasyona maruz kalma özellikleri genellikle buldukları habitatlarda ekstremofillerin fizyolojisini yapılandırır. Bazı yazarlar ayrıca hava boşluğu, kütle çekimi ve kısmi oksijen basıncını da göz önünde bulundururlar (Rothschild and Mancinelli, 2001). Yine de, çoğu organizmanın hava boşluğu olan ortamlara dayanıklı oldukları bilinse de (bu ortamda dirençli veya durgun formda inaktif bulunmaları, bu ortamların yaşam alanıyla ilgisi olmadığını gösterir), hiçbir organizmanın hipo- veya hiperkütle çekimi altında yaşadığı bilinmemektedir. Oksijen ise serbest radikallerin oluşumuna sebep olup hücreleri parçalayabilir. Ancak çoğu organizma, oksijen-türevli zararlı etkileri etkisizleştirecek mekanizmalara sahiptir; bu yüzden zarar görmezler. Bu nedenle oksijen kullanımının "ekstrem" kabul edilmesi bu açıdan tartışmalıdır (Newcomb and Loeb, 1998).

Yukarıda bahsedilen bazı sınırlar için sadece ekstremotolerant organizmalar söz konusudur. Bu nedenle, burada radyotolerant mikroorganizmalar vardır, fakat bunların hiçbirisi "radyo-fil" değildir. Çizelge 7.3.'deki listelenmiş özelliklere ek olarak, oligotrofik durumlar veya ekstrem şekilde düşük besin derişimleri, ki bunlar sıklıkla bazı ekstrem çevreler olarak tanımlanırlar, yaşam için sınırlayıcı büyük bir faktör teşkil ederler.

Çizelge 7.3. Ekstremofil örnekleri ve çevreleri ile sınıflandırma (Rothschild and Mancinelli 2001; Seckbach and Oren, 2004).

Çevresel Özellik	Tür	Tanımı	Ekosistem örnekleri	Organizma örneği
Sıcaklık	Hipertermofil	Büyüme > 80°C	Gayzer, Sıcak kaynaklar	<i>Pyrolobus fumarii</i> 113°C
	Termofil	Büyüme 60-80 °C		<i>Synechococcus lividis</i>
	Mesofil	15-60 °C		<i>Homo sapiens</i>
	Psikrofil	< 15 °C	Buz, kar	<i>Psychrobacter</i>
pH	Alkalofil	pH > 9	Soda gölleri	<i>Natronobacterium</i> , <i>Bacillus firmus</i> OF4, <i>Spiruline spp.</i> (Bütün pH 10.5)
	Asidofil	düşük pH sevenler	Asit madeni Sıcak kaynaklar	<i>Cyanidium caldarium</i> <i>Ferroplasma sp.</i> (Bütün pH 0)
Tuzluluk	Halofil	Tuz sevenler (2-5 M NaCl)	Tuz gölleri	<i>Halobacteriaceae</i>
			Tuz madenleri	<i>Dunaliella salina</i>
Kuruma	Kserofil	Anhidrobiyotik	Çöl	<i>Artemia salina</i> , mantarlar, likenler
Basınç	Barofil	Basınç sevenler	Derin okyanus	Prokaryotik MT41 suşu > 100 Mpa basıncı tolere eder
Yerçekimi	Hipergravite	> 1g		Bilinmiyor
	Hipogravite	< 1g		Bilinmiyor
Hava boşluğu		Hava boşluğuna dayanabilir		Tardigratlar
Radyasyon		Yüksek seviyede radyasyona dayananlar	Reaktörler, yüksek solar maruzatı; yüksek irtifa gibi	<i>Deinococcus radiodurans</i>
Oksijen	Zorunlu Anaerobe	O ₂ kullanamaz		<i>Methanococcus jannaschii</i>
	Mikroaerofil	Biraz O ₂ kullanabilir		<i>Clostridium</i>
	Zorunlu Aerob	O ₂ 'e ihtiyaç duyar		<i>Homo sapiens</i>
Kimyasallar		Gazlar	Maden drenajları	<i>Cyanidium caldarium</i> (saf CO ₂)
Metaller	Metalotolerant	Yüksek konsantrasyonlardaki metale dayanabilirler	Maden drenajları	<i>Ferroplasma acidarmanus</i> (Cu, As, Cd, Zn); <i>Ralstonia sp.</i> CH34 (Zn, Co, Cd, Hg, Pb)

Çoğu ekstremofil, birden fazla çevresel parametrenin üstesinden gelir ve bu organizmalar multi- veya poli-ekstremofil olarak adlandırılabilir (Rothschild and Mancinelli, 2001). Örneğin, kırmızı alg *Cyanidium caldarium* (Seckbach, 1999; Seckbach and Walsh, 1999) ve onun grubu asidik ortamda (pH 0.5 ila 3.5) ve yüksek sıcaklıklarda (maksimum 57°C) büyüyen termo-asidofillerdir; bunlar %3 ila %10 aralıklarındaki tuzluluk değerlerini (Pinto, et al., 1994), 1N H₂SO₄ kullanabilirler ve saf CO₂ altında gelişebilirler (Allen, 1959). Aynı şekilde barofiller/piezofiller, ağırlık/basınç sevenler ayrıca ya termofillerdir, hidrotermal bacaların yakınlarında yaşarlar ya da psikrofillerdir, denizlerin ve okyanusların derinlerinde yaşarlar.

7.5.2. Ekstrem koşullara en iyi uyum gösteren filogenetik gruplar

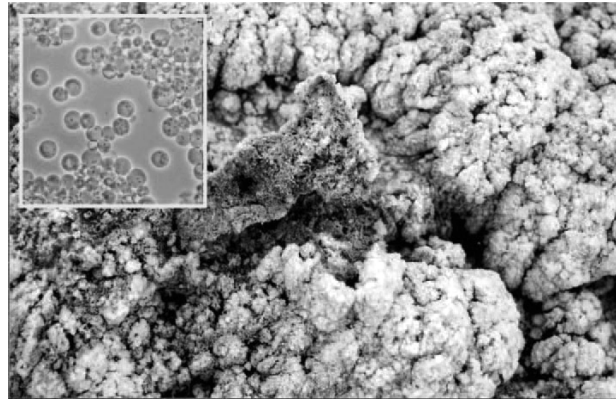
Bazı ekstremofiller, kısıtlanmış çevre tipleri ve yaşamı-sınırlayıcı özel koşullara iyi uyum göstermiş, özel filogenetik nesillere ait mikroorganizma gruplarıyla uyuşmaktadır. Örneğin sadece bazı arkeal ve birkaç bakteriyel nesiller hipertermofildir (Stetter, 1996). Diğer taraftan, benzer ekstrem durumlara uyum sağlamış diğer ekstremofilleri filogenetik ağaç üzerine açıkça dağılmış halde bulabiliriz. Farklı psikrofiller veya barofiller için de bu durum geçerlidir.

Ayrıca burada benzer filogenetik aileye ait olan organizma grupları bütün ekstremofil kayıtlarını barındırmayan, çok çeşitli ekstrem veya orta derecede ekstrem koşullara uyum sağlamış organizmalar vardır. Bakteriler arasında, çeşitli ekstrem koşullara en iyi şekilde uyum gösteren siyanobakterilerdir. Bunlar sıklıkla Antarktika buzundan kıtasal sıcak kaynaklara kadar, diğer bakterilerle mikrobiyal yığınları oluştururlar. Yellowstone'da ~70°C gibi sıcaklıklarda bazı yeşil sülfür bakterileriyle, bilinen en termofilik fotosentez yapan organizmalar, birlikte siyanobakteriler izole edildi (Madigan, et al., 2002; Paerl, et al., 2000). Bunlar hem aerobik hem de anaerobik koşullarda yaşayabilirler ve hipersalin ve alkalın göllerde ayrıca gelişebilirler. Bunlar yüksek metal derişimlerini desteklerler ve kserofilik koşulları endolitik komüniteler oluşturarak tolerans gösterebilirler. Fakat, asit durumlarına dayandıkları görülmemiştir.

Ökaryotlar arasında, mantarlar, yalnız veya siyanobakterilerle simbiyoz içerisinde veya algerle likenleri oluşturarak muhakkak en çok yönlü ve ekolojik olarak başarılı

filogenetik nesillerdir (Şekil 7.2). Hipertermofilik dışında, en çok termofilik ökaryotlar olmalarına karşın, 60-64°C’lerde yaşarlar. Çoğunluğu aerobiktir fakat bazıları anaerobik olabilirler. Mantarlar, maden bölgelerindeki asidik ve metal-zengini sularda, alkaline ortamlarda, Ölü Deniz gibi hipersalin bölgelerde, sıcak ve soğuk çöllerde, derin-denizlerde (Mariana Çukuru, ~ 11000 m derinlik; Yayanos, 1995), vb. ortamlarda yaşarlar (Buchalo, et al., 1998; Lopez-Archilla, et al., 2001; Sterflinger, 1998).

Archaea genellikle bakterilerden ve ökaryotlardan daha az çeşitliliğe sahiptir fakat uyum konusunda oldukça kabiliyetlidirler. Örneğin, *Pyrolobus fumarii* yakın zamana kadar bilinen en iyi hipertermofilik organizma iken (113°C - Blöchl, et al., 1997), Pasifik derin-deniz ağzından diğer bir arkaeon izole edildi (121°C - Kashefi and Lovley, 2003). Benzer olarak bazı archaea arasında en iyi halofilik ve alkalifik mikroorganizmalar bilinmektedir (Oren, 1994). Ek olarak, archaea arasından metanojenler dikkat çekicidir. Bu organizmalar tam anaeroblardır ki ~ 110°C’den başlayıp (örn. *Methanopyrus kandlerii*) (Burggraf, et al., 1991) 0-2°C’ye varan termal aralıkta, soğuk deniz sedimentlerinde yaşarlar (Lanoil, et al., 2001). Çoğu metanojen ayrıca asidofilik, alkalifik veya halofiliktir (Madigan, et al., 2002).



Şekil. 7.2. Alçıtaşında yaşayan endolitik komünite. Yeşil tabaka termofilik alglerden (50°C) oluşmuştur, *Galdieria sulfuraria* içteki resimde gösterilmiştir (Loper-Archilla, et al., 2001).

7.5.3. Dirençlilik şekilleri ve uzun ömürlülük

Mikroorganizmalar bu aşırı derecede olumsuz koşullara hangi sınıra kadar ve ne kadar uzun süre dirençlilik gösterebilirler? Bu sorular bir gezegenden diğerine nakledilen

(örneğin meteoritlerde) olası yaşam şekilleri için temel soruları teşkil eder. Çevresel koşullar elverişsiz hale geldiğinde, bu organizmalar, koşullar yine elverişli hale gelene kadar yaşamlarını sürdürebilmelerine izin veren bir latent durumuna geçerler (Muliukin, et al., 2002). Gram pozitif bakteriler ve mantarlar sporlar oluşturarak olumsuz koşullara karşın etkin bir koruma sağlarlar. Dış uzaya maruz kalma deneylerinde *Bacillus subtilis* sporlarının yıllarca yaşayabildiği ve bu polisakkarit veya hücre tabakalarından oluşmuş ince tabakanın ultraviyole ışımadan organizmayı koruduğu bulunmuştur. Fakat, tek bir hücre tabakasıyla bu organizmalar birkaç saatten fazla yaşayamaz (Bkz. Bölüm 8). Benzer bir yolla, tuz kristalleri içindeki halofilik archaea dış uzay koşullarına maruz bırakıldığında deneyin sürdüğü 2 hafta boyunca direnç gösterdiği gözlenmiştir (Rothschild and Mancinelli, 2001). Bu dikkat çekici dirençliliktür çünkü halofilik archaea sporlar oluşturmaz. Halofiller uzun yaşabilme rekorunu şimdiye kadar ellerinde tutan tek organizmalardır (*Bacillus permians*- 250 milyon yıl) (Fish, et al., 2002; Grant, et al., 1998).

Biyolojik korunmanın en etkin yolları donma (cryopreservation) ve kurumadır (desiccation). Kutuplarda donmuş toprak altında binlerce yıl var olan türlerin yeniden canlandırılması konusunda raporlar vardır (Kochkina, et al., 2001; Shi, et al., 1997). Tuz kristalleri içindeki halofilik archaea'nın uzun süre yaşayabilirliği için çok etkin mekanizma kurumadır. Farklı açıdan bazı mikroorganizmalar ise kurumaya karşı dirençli sporlar oluşturarak parçalanmayı engelleyebilmektedir (Crowe, et al., 1992).

7.6. Ekstremofiller ve Ekzobiyoloji

7.6.1. Sıcaklık ekstremeleri

Sıcaklık, bütün yaşam aşamalarını etkileyen önemli bir fiziksel özelliktir. En başta ve birinci olarak, sıcaklık suyun sıvılığını kararlar. Sıcaklığın ikinci etkisi ise biyolojik makromoleküllerin (örneğin proteinler) yapısı üzerindeki etkisi ve membranların akışkanlığı gibi hücresel aşamalar üzerine sınırlamalarıdır (Charlier and Droogmans, 2005). Ek olarak, gazların su içerisinde çözünübilirliği sıcaklığın artmasıyla beraber azalır ve bu durum akuatik organizmaların yüksek sıcaklıklarda, oksijen veya karbondioksit ihtiyacında problemler oluşturur. Suyun donma noktasının aşağısındaki sıcaklıklarda ise membranlar çözünür ve kopmaya başlar ve büyük olasılıkla bu durum toksik seviyelere

ulaşır. Makroskopik düzeyde ise buz kristallerinin oluşmasıyla hücrel membranlar delinebilir (Charlier and Droogmans 2005).

7.6.1.1. Hipertermofiller

Genellikle ılıman veya daha sıcak habitatlarda yaşayan organizmalar termofiller veya hipertermofillerdir. Bu mikroorganizmalar yaşam ağacının köküne yakın bir yerde bulunurlar. Sıcaklık toleransı açısından organizmalar bazı farklılıklar gösterir. Örneğin ökaryotlar için en üst sıcaklık sınırı 62°C iken, termo-siyanoprokaryotlar < 70°C’de, termofilik bakteriler 70 °C’den < 100 °C’ye kadar olan sıcaklık aralıklarında ve hatta hipertermofilik Archaea maksimum 113°C’de yaşayabilir (Blöchl, et al., 1997; Seckbach and Walsh, 1999). Termofiller, jeotermik kaynakları, sıcak kaynaklar gibi, sıcak gayzerleri ve okyanus tabanlarındaki hidrotermal bacalarda yaşayabilirler (Bkz. Çizelge 7.3.) (Marion, et al., 2003). Deniz tabanındaki kara bacalarda suyun sıcaklığı 350°C’ye varır ve Dünya kabuğunda bulunan gazlar, mineraller ve diğer materyaller burada açığa çıkar. Metan üreten *Methanopyrus* bu kara bacaların duvarlarında yaşayan organizmalardan biridir (Kurr, et al., 1991).

Hipertermofillerin keşfedilmesinden sonra, yaşamın sıcak bir kökeni olduğu fikri ortaya atıldı (Pace, 1991). Yaşam başlangıçta kemolitoototrofik olabilirdi ve modern denizsel hidrotermal bacalara benzer yüksek sıcaklıklı çevrelerde ortaya çıkmış olabilirdi (Henley, 1996). Çoğu hipertermofil önceden de bahsedildiği gibi kemolitoototroftur yani enerjilerini çok çeşitli redoks tepkimelerinden elde ederler (Çizelge 7.4.) (Madigan, et al., 2002). Dahası, bu reaksiyonlar çoğunlukla hidrojen, demir ve sülfür içerir. Bu, enerjilerini H₂ ve FeS₂ ile H₂S üreten FeS redüksiyonundan elde eden ilk organizmaların varlığı hipotezini süren Wächtershäuser modelini anımsatır (Wächtershäuser, 1988).

7.6.1.2. Psikrofiller

Düşük sıcaklığa sahip çevreler Dünya üzerinde oldukça yaygındır. Bunlar, buz, buzullar, soğuk karasal çevreleri, donmuş gölleri ve toprakları, derin deniz ve troposferi içinde olan mikro-çevreleri içerirler.

Çizelge 7.4. Hipertermofillerde kemoototroforik metabolizmalar. Bakteriye genisler yıldız ile işaretleştir, diğere genisler ise Archaea aittir (López-García, 2005).

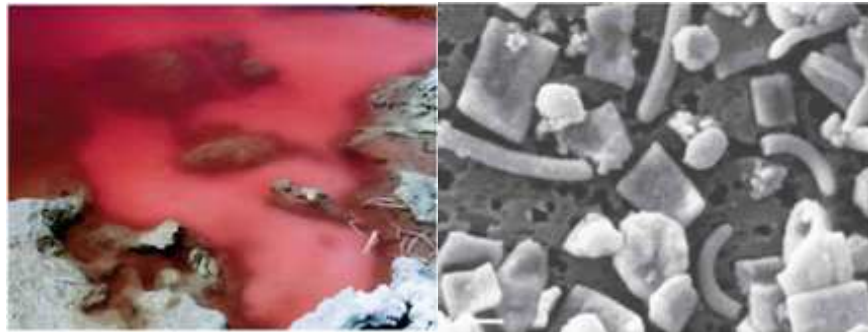
Enerji-veren reaksiyonlar	Organizma örnekleri
$H_2 + S^0 \longrightarrow H_2S$	<i>Acidianus, Pyrodictium, Thermoproteus</i>
$H_2 + NO_3^- \longrightarrow NO_2^- + H_2O$ (NO_2, N_2)	<i>Pyrobaculum, Stygioglobus, Aquifex*, Pyrodictium, Thermoproteus</i>
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow NH_4 + 3H_2O$	<i>Pyrolobus</i>
$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$	<i>Acidianus, Sulfolobus, Pyrobaculum, Aquifex*</i>
$2S^0 + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$	<i>Sulfolobus, Acidianus</i>
$4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4$	<i>Sulfolobus</i>
$10FeCO_3 + 2NO_3^- + 24H_2O \longrightarrow 10Fe(OH)_3 + N_2 + 10HCO_3^- + 8H^+$	<i>Ferroglobus</i>
$4H_2 + SO_4^{2-} + 2H^+ \longrightarrow 4H_2O + H_2S$	<i>Archaeoglobus</i>
$4H_2O + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$	<i>Methanopyrus, Methanococcus</i>

Çok düşük sıcaklıklarda yaşayan ($-17^\circ C$ - $-20^\circ C$) psikrofilik mikroorganizmalar (Rivkina, et al., 2000), Antarktika'nın Kuru Vadileri'nde, Arktik kutupsal çöllerde veya sürekli donmuş halde olan soğuk dünya-dışı bölgeler (McKay and Friedmann, 1988), örneğin Avrupa'nın buz kaplı yüzeyinin altındaki hipotetik okyanusta, gibi ekstrem soğuk çevrelerde yaşayabilirler. Ayrıca raporlardaki gözlemlerde Antarktik kriptendolitik organizmaların $-20^\circ C$ 'den daha düşük sıcaklıklarda yaşayabildiği gösterildi (Friedmann and Sun, 2005). Bu organizmalar bakterileri, likenleri ve mantarları (mayaları) içerir (Marion and Schulze-Makuch, 2006). Üstelik, $-80^\circ C$ 'de denizsel psikrofilik bakterinin elektron taşınımına ve enzim aktivitesine ilişkin bazı kanıtlar elde edildi (Junge, et al., 2006). $-100^\circ C$ 'den daha düşük sıcaklıktaki bir metanol, etilen glikol ve su karışımının içerisinde meydana gelen enzim aktivitesi ölçüldü (Bragger, et al. 2000). Buzullardaki mikroorganizmaların buz kafesi içerisine yayılmış çözülmüş CO_2 , CO , O_2 , N_2 ve CH_4 gibi küçük molekülleri metabolize ettikleri kanıtlarını bulundu (Rohde and Price, 2007).

Buzaltı Antarktik göllerden, özellikle Vostok Gölü, kıtasal buz örtüsünün altındaki 3750 m'den daha derinlikte ve 350 bar'ı geçen bir basınç altından birkaç milyon yıl barınabilmiş mikrobiyal komüniteler izole edildi (Siegert, et al., 2001).

7.6.2. Halofiller ve evaporitler

Halofilik mikroorganizmalar (Şekil 7.3) uzun dönemler tuz madenlerindeki veya evaporitik kayaların içindeki tuz kristallerinde yaşayabilirler (Fish, et al., 2002; Grant, et al., 1998). Bunlar sıvı kapanımlarında bile aktif olabilirler (Rothschild, 1990). Evaporitler mikrobiyal yapıları ve algal filametleri iyi şekilde korumaları anlaşıldığında beri önemli fosil kayıt haline gelmişlerdir. En son Mars keşifleri, su akışı izlerini gösteren çarpışma kraterlerinde evaporitik katmanlara benzeyen jeolojik yapıların varlığını gözler önüne serdi (Newsom, et al., 2001). Bunlar, korunmuş potansiyel geçmiş yaşam izlerine sahip olduklarında dolayı ilgi çekici örnekleme alanlarıdır (McLennan, et al., 2005).

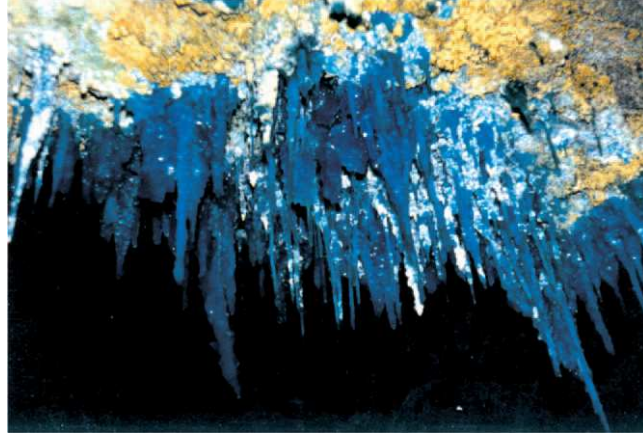


Şekil 7.3. Halofilik Archaea'nın aşırı tuzlu ortamları. Solda; Hamara gölü, Mısır. pH'ı 10 olan bu soda gölünde üreyen pigmentli haloalkalifil patlaması. Sağda; İspanya tuzlarında kare bakterileri de içeren halofilik prokaryotların taramalı elektron mikroskobu görüntüsü (Madigan and Martinko, 2010).

7.6.3. Derin biyosfer

Dünya'nın yüzeyi altındaki mikrobiyal yaşamın keşfi, Güneş Sistemi'ndeki ve hatta ötesindeki diğer gezegenlerde de yaşamın yüzeyin altında olabileceğini düşündürdü. Kemolitotrofiye dayalı derin mikrobiyal biyosferin varlığı kanıtları biriktirildi (Stetter, et al., 1993; Pedersen, 2000). Yeraltı biyotopları kıtasal ve deniz tabanını, derine gömülmüş sedimentleri, yağ ve petrol kaynaklarını, derin mağaraları ve derin akiferleri kapsar (Şekil 7.4). Bu nedenle okyanus kabuğu, Dünya üzerindeki en geniş habitattır ve kendi mikrobiyal habitantları, gezegenimizin toplam biyokütlesinin önemli bir kısmını oluşturabilir. Yer altı mikrobiyal komüniteler kemolitototrofik metabolizmalarla ve tam anaerobik koşullarla tanımlanmıştır. En son çalışmalardan biri, bir sıcak derin akiferde

popülasyonunun %95'inden fazlasının H_2 ve CO_2 kullanarak CH_4 üreten metanojenik archaea olduğunu göstermiştir (Chapelle, et al., 2002).



Şekil 7.4. Derin yüzey altı mağarası (Pozo Alfredo, 800 m derinlik, İspanya). Termofilik archaea ve bakteria bu çevreden tanımlanmıştır (Lopez-Archilla, et al., 2001).

7.6.4. Yaşam için pH sınırları; Asidofiller ve alkalofiller

pH ekstremlerinde yaşam çok zordur. Düşük pH'da proton pompasının yokluğu, hidrojen iyonlarının hücreye birden girmesine sebep olabilir, hücrenin içsel ortamının pH'ının düşmesi hücrenin biyokimyasını bozabilir. Ekstrem şekilde düşük pH'da ise proteinler bozulur (Rothschild, 2007). Yüksek pH'da yaşayan organizmalar yeterli protonu alabilmek için proton pompalarına ihtiyaç duyar (Pick, 1999).

Bacteria, archaea, fungi ve alglerin $pH \leq 1.0$ değerlerine dayandıkları ispat edildi (Huber and Stetter, 1998) (Şekil 7.5). Örneğin kırmızı alg, *Cyanidium caldarium* pH~0'da yaşayabilmektedir (Seckbach, 1999). Archaea *Picrophilus oshimae* ve *Picrophilus torridus* pH 0.5'in altındaki kuru topraklarda yaşarlar (Schleper, et al., 1995); ve *Ferroplasma acidarmanus*, asitli maden drenajından izole edilmiştir ve pH 0'da büyüebilir (Edwards, et al., 2000). Yüksek alkalinitelere ($pH > 10$) dair çalışmalar ekstrem asiditilerdekenden ($pH < 1.0$) daha azdır, muhtemelen çünkü yüksek alkalın çevreler (soda gölleri gibi) doğada daha seyrekler. Bunun dışında hidroksit anyon, yüksek pH'lı sularda yüksektir, çok güçlü bir nükleofildir ve metabolik reaksiyonlarda önemli rollerde olan çoğu molekülü yıkabilir (Baross, et al. 2007). Yine de, bakterilerden

siyanobakteriler ve rotiferlere kadar çeşitli organizmalar pH 10.5’de yaşayabilirler (Martins, et al., 2001; Duckworth, et al., 1996). Mikrobiyal komünitelerin Maqarin, Jordan’daki soda göllerinde pH 12.9’da yaşadıkları rapor edilmiştir (Pedersen, et al., 2004). Burada not etmek gerekir ki soda gölleri genellikle yüksek derişimlerde siyanobakteri ile birlikte yüksek derecede verimli olma eğilimindedir çünkü yüksek derişimde çözülmüş CO₂ barındırır (Rees, et al., 2004). Bu sebeple asidofiller Venüs üzerinde potansiyel yaşam için model sistemler olarak kullanılır (Schulze-Makuch, et al., 2002b).



Şekil 7.5. Rio Tinto, İspanya. Nehir suları yüksek derecede asidiktir (pH 1,9-2,5) ve kırmızı renkten sorumlu olan ferrik demir ile doygundur. Nehir yatağı yoğun olarak asidofilik mikroorganizmalarla kolonize olmuştur (Lopez-Archilla, et al., 2001).

7.6.5. Basınç

Derin-toprak ve derin-deniz çevrelerinde derinlikle orantılı olarak basınç yükselmeye başlar (Marion and Schulze-Makuch, 2006). Mikroorganizmalar basıncın 110 MPa değerine ulaştığı Pasifik’teki Mariana Çukuru’ndan izole edilmiştir (Kato, et al., 1998; Yayanos, 1995). Görünüşe göre zorunlu barofil olan, *Moritella* ve *Shewanella*’ya benzer iki bakterinin optimal olarak 70 MPa’da büyüdüğü ve 50 MPa aşağısında büyüemedikleri bulundu (Kato, et al. 1998). Burada bazı derin-deniz hidrotermal bacalarıyla ilişkili Archaea, 890 bar basınçtan daha yüksek basınçlarda yaşamını sürdürebilir (Pledger, et al., 1994). Hidrotermal bacalardaki yüksek basıncın, yüksek sıcaklıklarda moleküllerin kararlılığını korumaya yardımcı olacak bir düzenleyici etkisi olduğu anlaşılır (Marion and Schulze-Makuch, 2006). Marianas Çukuru’ndan elde edilen piezofilik bakteriler 70-80 MPa basınçta büyüebilirler fakat 50 MPa basıncın altında büyüemezler (Bartlett, 2002).

Laboratuarda elmas şeklinde örs hücresi kullanılarak, *Shewanella oneidensis* ve *Escherichia coli* suşlarının fizyolojik ve metabolik olarak 68-1680 MPa basınç altında 30 saatte kadar aktif oldukları ispatlandı (Sharma, et al., 2002). 1200-1600 MPa basınçlarında Buz VI'daki sıvı kapanımlarda canlı bakterilerin bulunduğu ve basınç tekrardan 1 bara indirildiğinde toplam popülasyonun %1'inin yaşamını sürdürmeye devam ettiği belirlendi (Sharma, et al., 2002).

Organizmalar düşük basınçlara daha duyarlı olabilirler. Hiç atmosferi olmayan veya sadece ince bir atmosferi olan bir gezegen üzerinde bir organizmanın kendi çevresel substratına nasıl tutunabileceğini düşünmek oldukça zordur. Mars yüzey koşulları altında dünyasal organizmalar için bu durum gösterildi ve düşük basıncın çevresel bir engel olmadığı belirlendi (Diaz and Schulze-Makuch, 2006).

7.6.6. Radyasyon

Organizmalar, Dünya üzerinde çeşitli tiplerde radyasyona maruz kalırlar. Atmosferdeki ozon ile 300 nm altındaki radyasyon azaltılmıştır. Bu özellikle önemlidir çünkü nükleik asitlerin en tepe absorpsiyon noktası ~260 nm, ve proteinler için ortalama ~280 nm'dir. Ultraviyole ışınlar DNA replikasyonunu önler (Baross, et al., 2007), iyonize radyasyon ise çift-sarmallı DNA'nın çoklu kırılmasına sebep olur (Obe, et al., 2001). Çoğu organizma radyasyonun zararlarına karşı korunma mekanizması geliştirmiştir (Marion and Schulze-Makuch, 2006). *D. radiodurans*'ın radyasyona dirençliliği daha ön plandadır; olağandışı şekilde radyasyona-dirençli olmakla kalmaz, kurumaya karşı da dirençlidir. Bu durum, kurumaya karşı direncin, radyasyona karşı dirençle ilişkili olduğu hipotezi ortaya koyar (Battista, 1997). Bununla beraber, denizaltı hidrotermal baca çevrelerinden elde edilen hipertermofilik arkelerin 8000 Gy kadar radyasyon seviyelerine direndikleri bulundu (Jolivet, et al., 2004).

7.6.7. Düşük besin mevcudiyeti ve kimyasal ekstremeler

Dünya üzerindeki yaşam 70 elementle etkileşim halindedir (Wackett, et al., 2004) ve on altı elementin (karbon, oksijen, hidrojen, azot, potasyum, kalsiyum, fosfor, magnezyum, kükürt, demir, klor, bakır, manganez, çinko, molibden ve bor) yaşam için önemli olduğu

düşünülür (Marion and Schulze-Makuch, 2006). Bu elementlerden her hangi birinin yokluğu yaşamı sınırlayabilir.

Ayrıca Dünya üzerinde yaşamı sınırlayıcı olan civa (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve arsenik (As) gibi toksik elementler de vardır. Dünya üzerinde yüksek derecede toksik element derişimleri sıklıkla yüksek asiditeler ile bağlantılıdır (Fernandez-Remolar, et al., 2003). Bu yüzden, güçlü asiditeye dayanabilen organizmalar genellikle yüksek seviyelerdeki ağır metallere de dayanabilirler. Fakat, toksik elemetlerden birkaçı aynı zamanda gerekli besinlerdir (Marion, et al., 2003). İlginç olarak, genellikle toksik olan arsenik ve selenyum gibi bazı elementler, bazı bakterilerin metabolik yol izlerinde enerji kaynağı olarak kullanılırlar (Stolz and Oremland, 1999). 2010'da NASA'nın yapmış olduğu basın toplantısında, yüksek tuz ve asit oranına sahip Mono Gölü'nden izole edilen GFAJ-1 adlı bir yeni bakterinin arseniği, metabolik olarak kullanmakla kalmayıp, hücresel lipidler, proteinler, ATP gibi metabolitler ve DNA ve RNA nükleik asitlerinde kullandığının bulunduğu duyuruldu. (Wolfe-Simon, et al., 2010).

7.6.8. Düşük su mevcudiyeti

Dünya üzerindeki yaşam aşamaları çözücü olarak su içerisinde gerçekleşir. Ortamdaki daha yüksek su aktivitesi mikroorganizmayı destekleyecek şekilde eğilim gösterir. Şimdiye kadar hiçbir Bacteria veya Archaea'nın kendi doğal çevrelerinde 0.7'den daha düşük su aktivitesinde büyüebildikleri bulunamazken, mantarlar bir miktar tolerans gösterirler (Marion, et al., 2003). Mikroorganizmaların çeşitli gruplarının, su aktivitesinin yaklaşık 0.75 olduğu doymuş NaCl sularında kendilerini hücre bölünmesine yönelttikleri gösterildi (Grant, 2004). Fakat, hiçbir mikrobiyal üreme, Ölü Deniz'in $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ ile baskın olan su aktivitesinin yaklaşık 0.67 olduğu tuzlu sularında gösterilemedi (Kis-Papo, et al., 2003). Yalnızca *Xeromyces bisporus*, su aktivitesi 0.61 olan şeker solüsyonu içerisinde büyüeyebilir (Grant, 2004).

BÖLÜM 8

UZAYDA YAŞAM

Uzayda dünyasal yaşamın bulunmasının zorluğu en az altı sebebe bağlanmaktadır (Rothschild, 2007):

1. Atmosferik bileşim büyük ihtimalle ciddi biçimde farklı olacaktır.
2. Diğer kayasal gezegenlerin kütle çekimi Dünya'dakine oranla daha düşük olmalıdır (gaz devleri üzerinde kütle çekimi daha yüksektir).
3. Uzayın kendisi nerdeyse tamamen hava boşluğudur.
4. Diğer gezegenlerde büyük sıcaklık değişimleri (aşırı sıcak-soğuk) yaşanabilir.
5. Besin kaynakları farklı olabilir ve Dünyasal besinler bulunmayabilir.
6. Radyasyon şekilleri çok farklıdır.

Dünya-dışı koşullara biyolojik uyumun çalışılması için, mikroorganizmalar örnek sistemler olarak kullanılabilirler. Fakat, bunların uyumlarına ilişkin çalışma yöntemleri çok zordur. İlk yüksek irtifada yapılan mikrobiyal deneyden bu yana çok fazla sayıda kısa- ve uzun-zamanlı mikrobiyal maruz bırakma deneyleri geliştirildi. Örnek olarak, BIOPAN deneyi mikroorganizmaları uzaya kısa-zamanlı maruz bırakma, EXPOSE deneyi ise Uluslararası Uzay İstasyonu'nda (UUI) uzun-zamanlı maruz bırakma deneyi olarak gerçekleştirildi. Bundan başka, benzetim deneyleri, laboratuvar ortamında mikrobiyal deneyleri yürütmek için geliştirildi. Çok sayıda mikroorganizma, saf kültürler ve mikrobiyal komüniteler halinde maruz kalma deneyleri için kullanıldı. Bu bölümde, hem uzay hem de benzetim ortamlarında gerçekleştirilen mikrobiyal deneyler, mikroorganizmaların bu deneylerdeki yaşayabilirlikleri ve son olarak da evrende yaşanabilir bölgelerden bahsedilecektir.

8.1. Uzayda Mikrobiyolojik Deneyler

Uzay, aşırı sıcaklık değişimleriyle, filtrelenmemiş solar radyasyonu, solar rüzgarları, galaktik radyasyonu, uzay boşluğu ve ihmal edilebilir kütle çekimiyle, biyolojik sistemler için yaşanamaz bir ortamdır (Çizelge 8.1).

Çizelge 8.1. Gezegenlerarası uzay ve ADY çevrelerinin karakteristik özellikleri (Horneck and Rettberg, 2007).

Uzay Parametresi	Dünya ^a	Alçak Dünya Yörüngesi (ADY)	Gezegenlerarası Uzay
Basınç (Pa)	10 ³	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁴
Solar Spektrum (nm)	> 280	Sürekli	Sürekli
Kozmik İyonize Radyasyon (Gy/yr)	< 10 ⁻⁴	400-10000	≤ 0.1
Sıcaklık (K)	Geniş aralık ^b	Geniş aralık ^c	> 4
Azaltılmış kütleçekimi (g)	1	10 ⁻³ - 10 ⁻⁶	<10 ⁻⁶

^a Değerler deniz seviyesindedir.

^b Konuma bağlıdır.

^c Oryantasyona ve Güneş'ten uzaklığa bağlıdır.

İlk mikrobiyolojik deneyler 1935'de stratosferik Explorer 2 ile, 25 km 286 m yüksekliğe ulaşılarak yapılmıştır (Stevens, 1936). Bir takım fungi sporları, düşük sıcaklık, azalmış atmosferik basınç ve doğrudan solar radyasyona maruz bırakılmıştı. Uzay teknolojinin gelişmesiyle, mikrobiyolojik örnekler, Dünya yörüngesi uçuşlarında, galaktik radyasyonun, yer çekiminden kurtulma durumunun ve diğer uzay uçuşları etkilerinin biyolojik sistemlere olan zararlarını tanımlamak için kullanıldı. Çok çeşitli biyolojik sistemler değerlendirildi. Bunlara virüsler, bakteriler, mayalar, mantarlar, bitkiler, hayvanlar ve doku kültürleri dahildir (Taylor, 1975).

Uzay yarışları şiddetlendiği zaman, uzay araçlarında biyolojik bulaşmanın görülmesi üzerine uzay araçlarının sterilizasyonu endişeleri arttı. İlk doğrudan uzaya maruz kalan korunmamış dünyasal mikroorganizmaların başarılı şekilde geri döndürülmesi 1968'de gerçekleştirildi (Lorenz, et al., 1969). Bu deneyde, *Bacillus subtilis* sporları, tip III poliovirüs ve *Escherichia coli* bakteriyofajı T-1, 155 km yükseklikte 500 saniye maruz bırakıldılar. Bu, ADY ile ilişkili bir seri deney ile takip edildi. Bu deneylerde *Penicillium roqueforti*, T-1 kolifaj, *B. subtilis* sporları ve Tobacco Mosaic Virüs kullanıldı. Her bir örnek, 17 saat boyunca Gemini 9A ve 12 araçları üzerinde ve 4 ay boyunca Agenda 8 roketi üzerinde maruz bırakıldılar (Lorenz, et al., 1969). Canlı örnekler Gemini görevinden elde edildi. Fakat, Agenda 8'in kalkış problemlerinden dolayı sadece korunmuş örnekler yaşamlarını sürdürebildi. Bundan sonra, ADY'de mikrobiyal organizmaların kısa- ve uzun-zamanlı maruz kalma deneylerinin geliştirilmesine zemin hazırlandı. NASA ve ESA tarafından yürütülen bazı deneyler Çizelge 8.2.'de listelenmiştir.

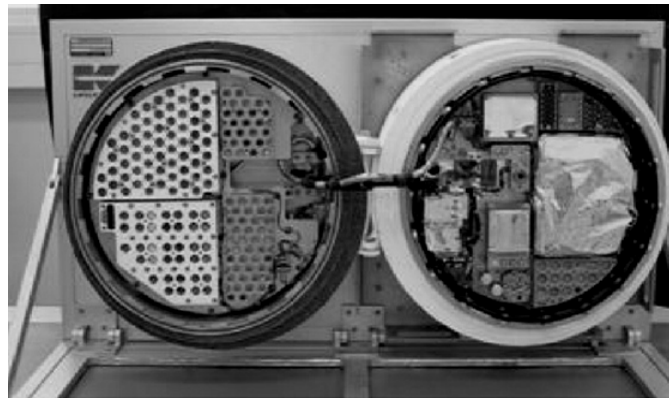
Çizelge 8.2. ADY ile ilişkili mikrobiyolojik maruz kalma deneyleri örnekleri (Olsson-Francis and Cockell, 2010)

Roketin Taşıdığı Yük	Görev	Maruz Kalma Süresi	Deney	Sonuçlar	Kaynaklar
<i>Kısa-zamanlı deneyler</i>					
Biostack I	Apollo 16	266 s	Biostack: <i>B. subtilis</i> suşu sporlarının HZE partiküllerine tepkisi	Kontrol sporlarının yaşayabilirliği yerdeki-kontrol örneklerine benzerdir. Sporlar HZE partiküllerine karşı yüksek derecede dirençlidir.	Taylor et al., 1975
MEED	<i>Aeromonas proteolytica</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. thuringiensis</i> var. <i>thuringiensis</i> , <i>E.coli</i> 'nin T-7 bakteriyofajı, <i>Nematospiroides dubius</i> , <i>Trichophyton terrestre</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Rhodotorula rubra</i> ve <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 'nin uzay ortamına tepkileri			Eğer solar ışıınımdan korunuyorsa, mikroorganizmaların uzay boşluğuna maruz bırakıldıklarında yaşamlarını sürdürebilecekleri sonucuna varıldı.	
Biostack II	Apollo 17	304 s	Biostack: <i>B. subtilis</i> sporlarının HZE partiküllerine tepkisi	<i>B. subtilis</i> 'in kurumuş sporları, solar radyasyona karşı korunduğu zaman yaşamlarını sürdürdü.	Facijs et al., 1978
Biostack III	Apollo-Soyuz	218 s	Biostack: <i>B. subtilis</i> sporlarının HZE partiküllerine tepkisi	<i>B. subtilis</i> 'in kurumuş sporları, solar radyasyona karşı korunduğu zaman yaşamlarını sürdürdü.	Facijs et al., 1979
Advanced Biostack/ES 029	Spacela b I	9 g	Biostack: <i>B. subtilis</i> sporlarının HZE ^a partiküllerine tepkisi. ES029: <i>B. subtilis</i> sporlarının serbest uzaya tepkisi	<i>B. subtilis</i> 'in kurumuş sporları, solar radyasyona karşı korunduğu zaman yaşamlarını sürdürdü.	Bucker et al., 1984
UVRAD	Spacela b II	10 g	<i>B. subtilis</i> sporlarının dünyadışı solar UV'a ve farklı kalınlıktaki ozon tabakalarına ve uzay radyasyonuna biyolojik tepkisi	Ozon konsantrasyonlarının azalmasıyla birlikte solar UV ışımasının biyolojik etkileri güçlü şekilde arttı.	Horneck et al., 1996 de Vera et al., 2004
BIOPAN	Foton	-	Detaylı şekilde bahsedilecektir		
<i>Uzun-zamanlı deneyler</i>					
Exobiology and radiation assembly	EURE CA	302 g	<i>Deinococcus radiodurans</i> , <i>B.subtilis</i> sporları, <i>Aspergillus sp.</i> Conidia ve hüresel bileşenlerinin solar UV ve/veya boşluğa tepkisi	Mor membranlar, aminoasitler ve üre uzaydan etkilenmedi (solar radyasyondan korundukları zaman). Multi-tabakalı mikroorganizmalar ve sporlar solar radyasyondan korunduklarında yaşamlarını sürdürdüler.	Dose et al., 1995 Horneck et al., 1995
Free Flyer Biostack	LDEF	2107 g	<i>B. subtilis</i> sporlarının solar UV ve/veya boşluğa tepkisi	Kurumuş sporlar solar radyasyondan korunduklarında yaşamlarını sürdürdüler.	Horneck et al., 1996
Exobiologie	MIR	68 g	<i>B. subtilis</i> sporlarının yapay/gerçek meteoritler gibi inorganikler tarafından korunmuş halde iken solar UV ve/veya boşluğa tepkisi	Gerçek veya yapay meteoritin ince tabakası sporları UV radyasyondan koruyamadı.	Rettberg et al., 2002
EXPOSE		-	Çizelge 8.5'de daha detaylı bahsedilecektir		

8.1.1. Kısa-zamanlı maruz kalma deneyi: BIOPAN

Mikroorganizmaların uzay koşullarına maruz kalma faaliyetleri üzerine olan ilginin artmasıyla birlikte, ESA kısa-zamanlı maruz kalma deneyi olan BIOPAN'ı geliştirdi (Şekil 8.1). Bu faaliyetler ADY'de 2 haftaya varan sürelerde çeşitli maruz kalma deneylerini sağlama imkanı verdi. Yapı, Rus maruz kalma faaliyeti KNA'ya dayalıydı ve Rus uzay aracı Foton ile birlikte uçacak şekilde tasarlanmıştı. Uzaya Soyuz roketi ile birlikte fırlatılmıştır ve ADY'ya vardığında kapaklarını 180° açarak uzay ortamında deneyleri gerçekleştirmiştir (Demets, et al., 2005).

BIOPAN deneyinde Survival, Yeast, Marstox, Photo, Lichens, Permafrost ve Lithopanspermia deneyleri gibi çok sayıda mikrobiyolojik deney gerçekleştirildi. Survival deneyinin amacı, uzayda yaşamı sınırlayıcı etmenleri incelemektir. Bunun için, *B. subtilis* sporları ve halofil olan *Synechococcus* ve *Haloarcula-G* türleri, kil, meteorit tozu, benzetilmiş Mars toprağı veya tuz kristalleri içerisine gömülmüş halde uzay ortamına bırakıldı. Korunmamış halofillerin deneyde kaybedildiği fakat korunmuş örneklerin yaşamlarını sürdürdükleri sonuçlarına varıldı (Mancinelli, et al., 1998; Horneck, et al., 2001a). *B. subtilis* sporları, Marstox deneyinde kullanıldı. Bu çalışmanın amacı ise Mars yüzeyindeki koşullarda yaşanabilirliğin araştırılmasıydı. Toz haline getirilmiş kil, kaya ve meteoritler içerisine doğrudan karıştırılmış sporlar, maruz kalma deneyinde yaşamlarını sürdürdüler (Rettberg, et al., 2004).



Şekil 8.1. BIOPAN modülünün kapağının iç tarafı. İki levha barındırır; üst ve alt levhalarında örnekler yerleşmiştir. Bu düzeneğin çapı 38 cm, uzunluğu ise 23 cm olarak ölçülmüştür (Horneck and Rettberg, 2007).

Lichen deneyinde *Rhizocarpon geographicum* ve *Xanthoria elegans* türleri uzay ortamına bırakıldı. Likenler, kontrollerle beraber benzer fotosentetik aktivite gösterdiler ve liken talluslarındaki algal ve fungal hücrelerin çoğunda yapısal değişiklikler saptanmadı (De la Torre, et al., 2004). *Saccharomyces cerevisiae* Yeast deneyinin amacı, radyasyonun organizma üzerine etkilerini belirlemektir. Deney, yaşanabilirliğin kaybıyla sonuçlandı (Kennedy and Volz, 1983).

Photo deneyinde ise *Clamydomonas reinhardtii*, solar ışık ile birlikte uzay radyasyonuna maruz bırakıldı. Yaşayabilirliğini sürdüren organizmalara uzay stresinin etkisinin, maruz bırakıldıkları ışık koşullarıyla çeşitlendiği gözlemlendi. Fotosentetik olarak aktif hücreler, solar radyasyona maruz kalmalarına rağmen yaşamlarını sürdürdüler (Bertalan, et al., 2007).

Lithopanspermia deneyinin amacı, mikroorganizmaların uzay yolculuğunda yaşamlarını sürdürebilme yeteneklerini keşfetmektir. Kendi doğal kaya substratlarında epilolitik liken türleri *R. geographicum*, *X. elegans* ve *Aspicilia fruticulosa*, Atacama halitlerinden mikrobiyal komüniteler, İngiltere Beer'dan bir siyanobakteriyel endolitik komünite, *Anabaena cylindrica* akinetleri uzay koşullarına maruz bırakıldı. Bütün likenler ADY koşullarına dirençliydi. Mikrobiyal halit komünitelerinin onda biri yaşamlarını sürdürdü; bir siyanobakteriyum, uzaydan dönüşünde izole edildi ve solar radyasyondan korunduklarında akinetler uzaya maruz kalmalarından sonra yaşamlarını sürdürdüler (Olsson-Francis, et al., 2009). Donmuş topraklardan alınan örnekler ise parçalandı (Novotokaya-Vlassova, et al., 2002).

8.1.2. Uzun-zamanlı maruz kalma deneyi: EXPOSE

EXPOSE, ESA tarafından geliştirilmiş en son deneydir; Uluslararası Uzay İstasyonu üzerinde uzun-zamanlı maruz kalma deneyleri için tasarlanmıştır. Deneyler, basınçlandırılmış veya havalandırılmış, çeşitli geometrilerdeki filtreler, maddeler ve pencereler ile korunmuş yüzlerce küçük hücrede yer almıştır (Schulte, et al., 2007). Deneye ilişkin olarak sıcaklık, basınç, UV ve radyasyon ölçen detektörler bulunmaktadır. Burada, sekiz uluslararası bilimsel grup, EXPOSE deneyi ile ilişkili 1000'den fazla biyolojik, kimyasal ve dozimetrik örnek kullanmıştır (Baglioni and von Heise-Rotenburg, 2004; Horneck and Rettberg, 2007).

8.1.3. Yerde-konuşlandırılmış benzetim deneyleri

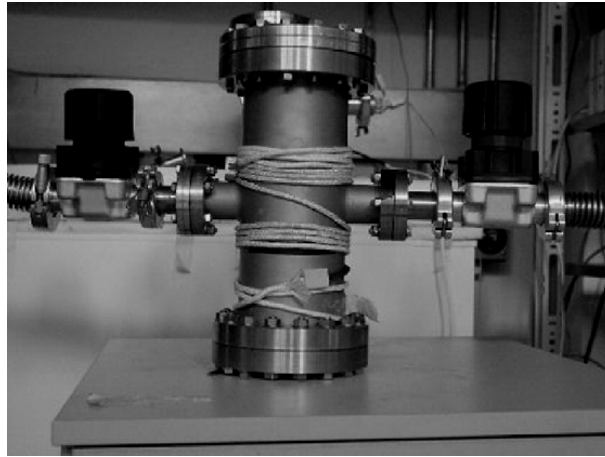
Benzetim deneyleri, uzay görevleri için büyük maliyetlerden kaçınılarak, laboratuvar ortamında, mikroorganizmalar üzerinde dünya-dışı koşulların etkisini çalışmak için büyük bir olanak sağlamıştır. Gelişmiş benzetim deneylerinde çalışmalar, değiştirgelerin izlenebildiği ve ayrıca sınınanabildiği kontrollü ortamlarda gerçekleştirilir. Bu deneyler özellikle görevlere hazırlanmak ve uzayda yaşamın ihtiyaçlarını anlamak için önemlidir. Bu benzetim deneyleri Mars, Titan ve Ay gibi ortamları uyarlamıştır.

8.1.4. Mars koşullarına benzetim

NASA ve ESA tarafından planlanan Mars gelecek görevleri ile birlikte, Mars benzetim deneyleri, Mars'taki mikrobiyal yaşayabilirliği çalışmaları ve Mars'a taşınacak dünyasal yaşamın devamlılığı için özel çevresel değiştirgeleri tanımlamak için kullanıldı (Hansen, 2007).

Mars benzetim deneylerindeki Mars atmosferi hakkında mevcut bilgi, dolaylı araçlarla ve Mariner görevlerinden alınan doğrudan bilgi ile tasarlanmıştır (Hansen, 2007). İlk mikrobiyolojik deney, Mars sıcaklığı (-65/25), basıncı (100 mbar), atmosferi (%0.25 CO₂, %95.5 N₂, %0.25 Ar) ve solar radyasyonu (200-2500 nm) uyarlanarak başarılmıştır (Zhukova and Kondratyev, 1965). Bu çalışmada yazarlar, ksenon ışık kaynağı kullanmışlardır. Bu ışık, Mars UV ortamını en yakından benzeyen, hem görünür ışık spektrumunu hem de kızılaltı ışık spektrumlarını içeren bir kaynaktır. Başka diğer yazarlar ise civa (Packer, et al, 1963; Hagen, et al., 1970; Imshenetsii, et al., 1984), halojen lambaları (Pogoda de la Vega, et al., 2006), hidrojen (Koike, et al., 1996), döteryum (Mancinelli and Klovstad, 2000) ve polikromat (Onofri, et al., 2008) lambaları kullanmışlardır. Mars üzerinde solar radyasyon yüzeyde >200 nm'ye ulaşır (Hansen, 2007).

Bugünkü Mars benzetim deneyleri normal olarak paslanmaz çelikten imal edilmiştir ve çevresel değiştirgelerin takip edilmesi ve bağımsız olarak kontrol edilmesi sağlanır (Şekil 8.2). Mars gaz karışımı ticari olarak alınabilir ve CO₂ (%95.3), N₂ (%2.7), Ar (%1.7), O₂ (%0.2) ve H₂O (%0.03) içerir. UV radyasyon genellikle ksenon-ark lambası ile üretilir (Schuerger, et al., 2003).



Şekil 8.2. Open Üniversitesi'ndeki tasarlanmış Mars kabini. Kabininin çapı 15 cm ve yüksekliği de 30 cm'dir (Olsson-Francis, 2009).

Mars benzetim deneyleri hem saf kültürler hem de mikroorganizma komüniteleri ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 8.3. ve Çizelge 8.4.). Bu deneyler ile UV radyasyonun hücre inaktivasyonunda ana etmen olduğu gösterilmiştir (Schuerger, et al., 2003; Cockell, et al., 2005; Zhukova and Kondratyev, 1965). Bu zamana kadar, incelenen hiçbir prokaryot uzun süre boyunca UV radyasyona direnç gösterememiştir. Örneğin, *B. subtilis* ve *Chroococcidiopsis*'in kurumuş hücreleri sırasıyla 15 ve 30 dakika sonra ölmüşlerdir (Schuerger, et al., 2003; Cockell, et al., 2005).

Çizelge 8.3. ADY ve benzetim koşullarında araştırılan komünite örnekleri (Olsson-Francis, 2010).

Örnek	MSK	ADY/ benzetim	Kaynaklar
Çevresel Topraklar	X		Green et al., 1971; Hansen, 2007
Kolonize olmuş kumtaşı, Antarktika	X	X	Onofri et al., 2008
Kurumuş topraklar; Arktik, Sibirya ve Antarktika	X	X	Novotoskaya-Vlassova et al., 2002; Morozova et al., 2007
Halit kayalar, Atacama Çölü	X	X	de la Torre et al., (basılmadı)
Kıyusal kireçtaşı kayalığı, İngiltere	X	X	Olsson-Francis (basılmadı)
Likenler			
<i>Rhizocarpon geographicum</i>	X	X	De la Torre Noetzel et al., 2007
<i>Xanthoria elegans</i>	X	X	Sancho et al., 2007; de Vera et al., 2004
<i>Aspicilia fruticulosa</i>	X	X	De la Torre et al., (basılmadı)
<i>Fulgensia bracteata</i>	X	X	De la Torre (basılmadı), de Vera et al., 2004
<i>Xanthoria parietina</i>	X	X	de Vera et al., 2004

Çizelge 8.4. ADY ve benzetim ortamlarında araştırılan saf kültür örnekleri (Olsson-Francis, 2010)

Kültür örnekleri	ADY	Gezegensel tahliye	Atmosfer Girişi	MBK ^a	Kaynaklar
<i>Bacillus cereus</i>				X	Hagen et al., 1967
<i>Bacillus megaterium</i>				X	Imshenetskii et al., 1984
<i>Bacillus mycoides</i>				X	Imshenetskii et al., 1984
<i>Bacillus subtilis</i>	X	X	X	X	Imshenetskii et al., 1984
<i>Bacillus thuringiensis</i>	X			X	Horneck et al., 1994; Fajardo-Cavazos et al., 2005a
<i>Clostridium botulinum</i>					Taylor et al., 1975
<i>Clostridium butyricum</i>				X	Hawrylewicz et al., 1962
<i>Clostridium celatum</i>				X	Parefenov and Lukin, 1973; Koike et al., 1996
<i>Clostridium manganotii</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Clostridium roseum</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Lactobacillus plantarum</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Staphylococcus aureus</i>				X	Hawrylewicz et al., 1968
<i>Streptococcus mutans</i>				X	Parefenov and Lukin, 1973; Hawrylewicz et al., 1968
<i>Kocuria rosea</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Luteococcus japonicus</i>				X	Imshenetskii et al., 1984
<i>Micrococcus luteus</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Streptomyces albus</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Streptomyces coelicolor</i>				X	Hawrylewicz et al., 1968
<i>Actinomyces erythreus</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Rhodospirillum rubrum</i>				X	Dublin and Volz, 1973
<i>Azotobacter chroococcum</i>				X	Moll and Vestal, 1992
<i>Azotobacter vinelandii</i>				X	Robert, 1963
<i>Enterobacter aerogenes</i>				X	Young, 1963
<i>Escherichia coli</i>	X	X		X	Grigoryev et al., 1972; Koike et al., 1996; Willis et al., 2006
<i>Klebsiella pneumoniae</i>				X	Hawrylewicz et al., 1962
<i>Photobacterium sp.</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				X	Hawrylewicz et al., 1968
<i>Pseudomonas fluorescens</i>				X	Hawrylewicz et al., 1968
<i>Serratia marcescens</i>				X	Hagen et al., 1967
<i>Serratia plymuthica</i>		X			Roten et al., 1998
<i>Aeromonas proteolytica</i>	X				Taylor et al., 1975
<i>Hydrogenomonas eutropha</i>	X				Grigoryev et al., 1972
<i>Deinococcus radiodurans</i>	X	X		X	Dose et al., 1995; Mastrapa et al., 2001; de la Vega and Rettberg, 2006
<i>Rhodococcus erythropolis</i>		X			Burchell et al., 2001
<i>Chroococcidiopsis sp.</i>	X	X	X	X	Cockell et al., 2005; Horneck et al., 2008; Brandstatter et al., 2008
<i>Synechococcus (halit)</i>	X				Mancinelli et al., 1998

Çizelge 8.4. (devamı)					
<i>Haloarcula-G</i>	X				Mancinelli et al., 1998
<i>Anabaena cylindrica</i> (akinetler)				X	Olsson-Francis et al., 2009
Archaea					
<i>Halobacterium sp.</i>				X	Stan-Lotter et al., 2003
<i>Halobacterium salinarum</i>				X	Koike et al., 1996
<i>Halococcus dombrowskii</i>				X	Stan-Lotter et al., 2003
<i>Methanosarcina sp. SA-21/16</i>				X	Morozova et al., 2007
<i>Methanosarcina barkeri</i>				X	Morozova et al., 2007
<i>Methanobacterium MC-20</i>				X	Morozova et al., 2007
Fungi					
<i>Chaetomium globosum</i>	X			X	Taylor et al., 1975
<i>Penicilium roqueforti</i>					Hotchin et al., 1968
<i>Sordaria fimicola</i>	X				Zimmermann et al., 1994
<i>Trichophyton terrestre</i>	X				Taylor et al., 1975
<i>Aspergillus niger</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Aspergillus oryzae</i>	X			X	Zhukova and Kondratyev, 1965; Dose et al., 1995
<i>Mucor plumbeus</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>				X	Zhukova and Kondratyev, 1965
<i>Ulocladium atrum</i>			X		Brandstatter et al., 2008
Bakteriyofaj/Virüs					
T-7				X	Taylor et al., 1975
Faj T-1	X				Hotchin, 1968
Tobacco mozaik virüs					Hotchin, 1968; Koike et al., 1996
Canine hepatitis	X				Hotchin, 1968
Influenza PR8	X				Hotchin, 1968
Vaccinia virüs	X				Hotchin, 1968
<i>Rhodotorula rubra</i>	X				Taylor et al., 1975
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	X			X	Taylor et al., 1975
<i>Saccharomyces mitis</i>	X				Grigoryev et al., 1972
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	X				Grigoryev et al., 1972

a. MBK: Mars Benzetim Koşulları

8.1.5. Uzay koşullarına benzetim

EXPOSE ve BIOPAN gibi maruz bırakma deneylerinde mikrobiyolojik denemelerin uzayda başarıyla gerçekleştirilebilmesine rağmen, olanaklar çoğunlukla kısıtlıdır ve sınırlıdır. Bu nedenle, yerde-konuşlandırılmış benzetim deneyleri uzaya

maruz bırakma çalışmalarında öncül olarak kullanılır; uzay ile bağlantılı tekil çevresel değiştirgeleri araştırmak için gereklidir. Örneğin, Almanya’da DRL’deki (Alman Uzay Ajansı) benzetim deneyleri EXPOSE görevlerinin kalkışından önce kullanılır. Yerde-konuşlandırılmış deneyler, biyolojik denemelerin kısa-zamanlı maruz bırakmada yaşamların sürdürülebileceğinden emin olmak için yürütülür (Onofri, et al., 2008).

Uzaya benzetim deneylerinde çevresel değiştirgeler izlenebilir ve bağımsız olarak kontrol edilebilir. Basınç sabit bir pompa sistemiyle ayarlanır ki basınç burada örneğin 10^{-5} Pa kadar son düşük basınca ulaşır. Döteryum ışık kaynağı UV radyasyon için kullanılabilir (>160 nm), bu yüzden örnekler UV-A, UV-B ve UV-C’ye maruz kalırlar. Uzaya benzetim deneylerinin sonuçları genellikle ADY deneyleri ile tutarlılık gösterir. Mikroorganizmalar üzerine en zararlı etkinin UV radyasyon olduğu bulunmuştur (Beegle, et al., 2007).

8.1.6. Litopanspermia kavramını sınamak için deneysel teknikler

Litopanspermia, organizmaların kayasal cisimlerle, bir gezegenden diğerine gezegenlerarası veya yıldızlararası uzay boyunca taşınmasını savunan teorik bir görüştür (Thomson, 1871). Litopanspermia’nın Güneş Sistemi’nde meydana geldiğine dair bir kanıt olmamasına rağmen, çeşitli aşamalar deneysel sınamaya uygun hale gelmiştir (Cockell, 2008).

Litopanspermianın meydana gelebilmesi için, gezegensel yüzeye giriş sırasındaki sıcaklık sapsmalarıyla birlikte ivmelenme ve şok kuvvetine maruz kalan mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürüebilmeleri gerekir. Mars meteoritlerinden elde edilen püskürtülmüş kayalarda karşılaşılan şok basınçlarının varsayılan değerleri, şok basınçlarının yaklaşık olarak 5 ila 55 Ga, ivmelenmenin 3×10^6 m/s² ve ani sarsılmanın 6×10^9 m/s² ve şok-sonrası sıcaklık artışının ise yaklaşık 1 K ila 1000 K olduğunu önermiştir (Cockell, 2008).

Gezegenden dışarı çıkış sırasındaki ivmelenmenin mikroorganizmalar üzerinde etkisini saptamak için, yivli silah ve ultrasantrifüj metotları kullanılmıştır. Mastrapa ve ark. (2001) başarılı bir şekilde bu yöntemleri *B. subtilis* ve *Deinococcus radiodurans* üzerinde ivmelenmenin etkilerinin sınamak için kullandı. Yivli silah deneyinde, yeni hazırlanmış örnekler, ticari 0.177 kalibre silah saçmalarının arka oyuğuna yerleştirildi

ve plastisin içerisine sıkıştırılmış-havalı saçma silahından ateşlendi. Her bir saçmanın hızı ölçüldü ve 1.5×10^6 m/s² ve 4.5×10^6 m/s² arasında bir ivmelenme ve 1.5×10^{10} m/s² ve 1.5×10^{11} m/s² sarsılmaya uyduruldu. Daha uzun süreli deneyler için ultrasantrifüj kullanıldı çünkü 10^5 rpm, 4.27×10^6 m/s² ivmelenmeye eşittir (Mastrapa, et al., 2001).

Şok basıncının etkisi bir ateşli havalı silah veya plaka aparatı kullanılarak belirlenebilir. İki-kısımlı ateşli havalı silah, milimetre ve santimetre büyüklükteki çalışılan projeksiyonların 5 km/sn'den üst hızlara hızlandırılmasını sağlar (Burchell, et al., 1999). Glukoz maya özütü veya buz gibi hedeflerin içerisine projeksiyonlar ateşlenmeden önce, projeksiyonlar mikrobiyal kültürlerle ıslatıldı ve silahın sabotuna yerleştirildi. Deney boyunca şok basıncı 1 ve 70 GPa arasında tutuldu (Burchell, et al., 2001).

Litopanspermia hipotezinin sınanan önemli bir bakış açısı, kayaların üzerinde yerleşik veya içerisinde olan mikroorganizmaların uzaydan Dünya'nın atmosferine girişlerindeki hiper hızda yaşamlarını sürdürebilmesiydi (Cockell, 2008). Gezegenel tahliyede olduğu gibi, bu, sondaj roketleri ve mikrobiyal deneyler için kullanılan yörüngesel araçlar ile deneysel olarak ispatlandı.

Granit kubbelerin içerisine aşıl原因an *B. subtilis* sporları hiper hızda atmosferik geçişte (iki defa) ~120 km yüksekliğe yükselen iki-kısımlı Orion roket üzerinde kullanıldı. Sporların kayaların kenarları üzerinde yaşamlarını sürdürdükleri gösterildi fakat bunlar ileriye-dönük yüzeylerde 145°C maksimum sıcaklığa maruz kaldıklarından yaşamlarını sürdüremediler (Fajardo-Cavazos, et al., 2005a).

Bundan başka, ESA STONE deneyinin bir parçası olarak, yapay meteoritlerin atmosfere girişleri sırasında yaşanabilirliğin çalışılması için tasarlanan deneysel seferlerde gömülmüş organizmalar üzerine mikrobiyolojik deneyler gerçekleştirildi (Brack et al., 2002). Bu deney için, mikroorganizmalarla yüklenen farklı tipteki kayalar, Foton'un atmosfere geri giren kapsülünün sıcaklık kalkanı üzerinde yerleştirildi. Atmosfere geri girişte kaya örnekleri sıcaklık ve basınç etkilerine, meteoritlerde maruz kaldığı gibi, karşı karşıya getirildi.

İlk STONE deneyi üç kaya tipinden oluşuyordu; bazalt, dolomit ve uyarlanmış Mars regoliti (Brack, et al., 2002). STONE 5 için ilave kayalar birleştirildi; kumtaşı, dolerit ve Arktik'ten gnays. Her bir kaya örneği delindi ve *B. subtilis* ve *Ulocladium atrum* (fungal sporları) ve kurutulmuş *Chroococcidiopsis* ile kayalar dolduruldu. Gnays kayası, endolitik komünite oluşturmak için *Chroococcidiopsis* hücreleri ile ıslatıldı

(Brandstatter, et al., 2008). Bu zamana kadar yapılan bu mikrobiyolojik deneylerde atmosfere geri girişteki sıcaklıkta yaşamını sürdürebilme aktivitesi gözlenmedi.

8.2. Mikroorganizmaların Yaşayabilirliğine Dair Sonuçların Analizi

Mikroorganizmaların yaşayabilirlikleri, yukarıda da bahsedildiği gibi, ADY ve benzetim deneylerinde geniş açıdan çalışıldı. Büyük sayıda mikroorganizma maruz bırakma deneyleri için seçildi (Bkz. Çizelge 8.4.). Bu organizmaları iki gruba ayırmak mümkündür; insan-kaynaklı mikroorganizmalar ve ekstremofiller. İnsan-kaynaklı mikroorganizmaları çalışmak insan sağlığı ve gelecekteki görevler için önemlidir; uzayda yaşayabilirliğin fizyolojik ihtiyaçlarını çalışmak için ise ekstremofiller yaşamsal önem taşır.

Ekstremitallerin kullanıldığı çoğu deneyin odak noktası, Mars üzerinde olası mikroorganizma yaşayabilirliğinin, gezegen üzerinde geçmişte veya şimdi olması ihtimalinin araştırılması üzerinedir. Mars kayalarının matriksi (kriptoendolitler), polar buz zirveleri, kutuplardaki sürekli donmuş topraklar, buz-altı hidrotermal bacalar veya evaporitler gibi korunmuş çevrelerde mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri varsayılmaktadır. Bu yüzden, Dünya üzerinde bu çevrelerde yaşayan halofil, endoevaporit, kriptoendolit, psikrofil ve UV dirençli ekstremofiller maruz bırakma deneylerinde kullanılmıştır (Friedmann and Koriem, 1989).

Ek olarak, Mars atmosferinde metanın keşfiyle birlikte sadece metanogenesizin varlığı ile açıklanabilecek bir varsayım ortaya atıldı. Benzetim çalışmaları, Mars koşullarında metanojenlerin etkileri ile ilişkilendirildi (Bkz. Çizelge 8.4) (Formisano, et al., 2004). Bilindiği üzere metanojenler hidrojen ve karbondioksiti kullanarak metan üreten kemolitotroflardır. Mars üzerinde metanojenler potansiyel olarak yüzey altı ortamlarda, yıkıcı UV radyasyondan korunmuş şekilde, hidrojenin üretildiği jeotermal bölgelerin yakınlarında bulunabilmesi varsayılır (Liu and Whitman, 2008).

Maruz bırakma deneyleri için, mikroorganizmalar hem saf kültür hem de karışık komüniteler olarak çalışıldılar. Saf kültür deneylerinin büyük bir kısmı prokaryotlar üzerine odaklandı. Birkaç deney ökaryotları ve virüsleri içerdi (Bkz. Çizelge 8.4.).

Sıcaklık, UV radyasyon ve düşük basınç gibi ekstrem çevresel koşullara dirençli oldukları bilinenler endospor-üreten bakteriler, çoğu maruz bırakma deneyleri için

model organizmalar olarak kullanıldılar (Nicholson, et al., 2000; Schuerger, et al., 2003). En yoğun olarak kullanılan bakteri, yüksek derecede sert koşullara dirençli olduğu için endospor-üreten *B. subtilis*'tir (Horneck, et al., 1995). Gezegenlerarası ve benzetilmiş Mars yüzeylerindeki güneş-kaynaklı ultraviyole radyasyon, kullanılan organizmalar üzerine yüksek seviyede letal doz oranları içermektedir. Bunun tersine, minimum bir koruma sağlandığında UV radyasyonun düşük güçte organizmanın bulunduğu ortama girmesinden dolayı UV radyasyonun letal etkileri etkin biçimde hafifletilebilir ve hatta önlenir. Bilinen en iyi UV-dirençli hücre tiplerinin dormant bakteriyel endosporlarının, kendilerine özgü mekanizmaları sebebiyle ya spordaki DNA zararını önleme uyumuyla ya da etkin biçimde DNA onarım mekanizmalarıyla korundukları saptanmıştır. Fakat bunların uzayda, uzun-sürelili yaşayabilecekleri halen kesin değildir.

Komünite çalışmaları için, çevresel örneklerdeki, örneğin kaya veya toprak, mikrobiyal popülasyonun *in situ* maruz bırakılmasıyla gerçekleştirildi. Çevresel örnekler genellikle farklıdır; bu yüzden, maruz bırakılan tür sayısı saf kültürdekilerden daha fazladır. Maruz bırakılan komünite dirençli olan mikroorganizmaları seçer, bu sebeple ortamlardaki mikrobiyal yaşayabilirliğin fizyolojik ihtiyaçları hakkındaki geliştirilen bilgiler denir. Komünite çalışmaları maruz bırakma çalışmaları için kullanıldılarsa da, çevresel örnekler homojen olmayabilirler. Bu yüzden bütün komünitenin aynı koşullara maruz kaldığından emin olmak zordur (Hansen, 2007).

8.3. Farklı Yaklaşım Ve Çalışmalar

Bu zamana kadar, saf kültür çalışmalarının çoğunda kullanılan organizmalar, sert çevrelere dirençli oldukları bilinen mikroorganizmalardan seçildi. Fakat, ideal bir yaklaşım hem komünite hem de saf kültür tekniklerinin birleştirilmesiyle uygulanabilir. Ekstrem koşullara maruz bırakma, ADY veya uyarlanmış Mars koşulları gibi, yeni ekstremofilik mikroorganizmalar için seçilebilir. İzolatların fizyolojisi sonradan karakterize edilebilir. Bu nispeten ender bir yöntemdir ve sadece iki çalışmada kullanılmıştır. Davis ve Fulton'un (1958) çalışması, topraktan izole edilen mikroorganizmaların tasarlanmış Mars koşullarına maruz bırakmasını içerir ve Olsson-Francis ve ark. tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise kireçtaşı kayalarından izole

edilen siyanobakteriler ADY ve tasarlanmış Mars koşullarına maruz bırakılmıştır (Davis and Fulton, 1959).

Diğer farklı çalışmalar ise fungusların ve bakterilerin radyasyonla ilişkilerine dair yapılan çalışmalardır. İsrail'deki Evolution Canyon'nun yüksek solar radyasyon içerdiği bilinen kuzey yamacından izole edilen *Aspergillus*, *Alternaria*, *Humicola* gibi türlerinin (Singaravelan, et al., 2008; Volz, et al., 1997), yüksek radyasyonlu ve çok soğuk Arktik ve Antarktik bölgelerde yerleşen funguslara fazla sayıda melanin içermeleri bakımından çok benzerlik göstermesi ilgi çekicidir (Robinson, 2001). Asıl ilginç olan ise, Çernobil reaktörünün hasara uğramış duvarlarında koloni oluşturan (Mal'tsev, et al., 1996) ve aynı zamanda Mir Uzay İstasyonu (Alekhova, et al., 2005) ve UUİ yüzeyinde koloni oluşturan fungus (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Saccharomyces*, *Cladosporium* gibi) ve bakterilerin (bazı Gram pozitif ve Gram negatif çubuklar) benzer şekilde radyasyona uyum göstermek için melanin ve diğer pigmentler sayılarını arttırdıklarının keşfedilmesidir (Novikova, et al., 2006).

Diğer taraftan, ADAPT deneyi (mikroorganizmaların farklı uzay ve gezegenel UV koşullarına moleküler uyumunun araştırılması) üzerinden alınan sonuçlar dikkat çekicidir. Bu deneyde *Bacillus subtilis* hücreleri, devresel UV radyasyonu (200 - 400 nm) altında devamlı kültüre alınmış ve 700 nesil oluşturulmuştur. Bu şekilde, erken Dünya üzerinde ozon tabakası oluşmamışken, erken Dünya'daki ilk mikrobiyal ekosistemin kökeni üzerine UV radyasyonun etkileri taklit edilmiştir. Sonuç olarak, UV stressi altındaki popülasyonun, atasal hücreden 7 kat daha UV-dirençli hale evrildiği bulunmuştur. UV stressine karşı dirençliliğin nesilsel artması benzer olarak kuruluk, aşırı tuzluluk ekstremlerine karşı uyumda da saptanmıştır (Walsmann, et al., 2010).

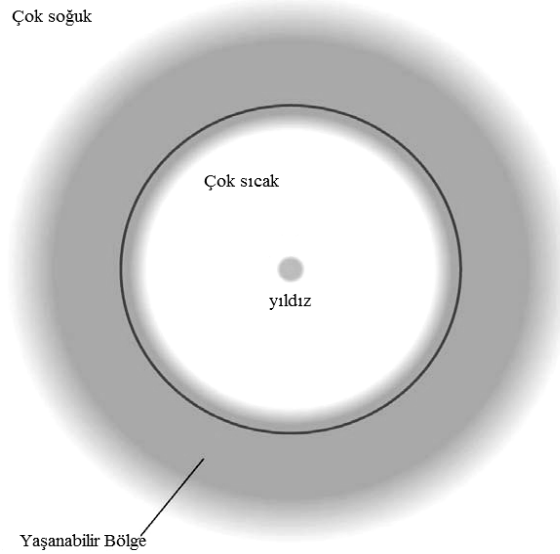
8.4. Yaşanabilir Bölge Ve Yaşamın Evrene Dağılımı

8.4.1. Yıldızsal sistemlerde yaşanabilir bölgeler

Sıvı su için sıcaklık-basınç aralığı çoğu yerde elverişli halde bulunabilir fakat bu yerlerde ısınma yaygın değildir ve çoğunda atmosfer yeterli derecede yoğun değildir. Yıldızlararası gaz bulutları çok seyrek ve soğuktur, yıldızsal atmosferler çok sıcaktır ve bu yıldızların etrafında yıldıza yakın dönen cisimler dolayısıyla çok sıcak,

yıldızlarından uzak cisimlerde ise çok soğuktur. Asteroitler, kuyruklu yıldızlar, küçük uydular ve küçük gezegenler haricindeki diğer çok küçük cisimler hiç atmosfer tutamazlar. Sonuç olarak yaşanabilir bölgelerin ana yıldızdan uygun uzaklıktaki sürekli atmosfer barındıran uydularda ve gezegenlerde varlığından söz edilebilir.

Yıldızsal yaşanabilir bölgeler, en azından bir zaman aralığında sıvı su bulundurabilmiş, yıldızın enerji verimiyle tanımlanan bölgelerdir (Şekil 8.3). Yıldız ne kadar enerji üretirse, bölge yıldızdan o kadar uzak olur. Daha büyük yıldızlar yakıtlarını daha hızlı yakarlar, daha parlaktırlar ve hızlıca kendi ana kol fazlarında evrimleşirler ve bu yüzden yaşanabilir bölgeleri daha kısa sürelidir (Kasting, et al., 1984) (Çizelge 8.5). Örneğin, Güneş'ten 0.5 kat daha kütleli bir yıldız ($0.5 M_{\odot}$) ana kol üzerinde 10 milyar yıl daha fazla uzun süre durur; Güneş'ten 1.5 kat daha kütleli bir yıldız ($1.5 M_{\odot}$) ise 2 milyar yıldan az bir süre ana kolda durur. $0.5 M_{\odot}$ ile $1.5 M_{\odot}$ aralığındaki kütleli yıldızların büyük olasılıkla üçte ikisi veya daha fazlası çift ve çoklu yıldız sistemleri meydana getirir (Duquennoy and Mayor, 1991). Bu çift sistemlerin %50'si yaşanabilir bölge ihtiva edebildiği bulundu (Kasting, et al., 1984). $0.5 M_{\odot}$ ile $1.5 M_{\odot}$ kütleleri aralığında çok sayıda yıldız bulunmasından dolayı yıldızların çevrelerindeki yaşanabilir bölgeler yaygın olabilir.



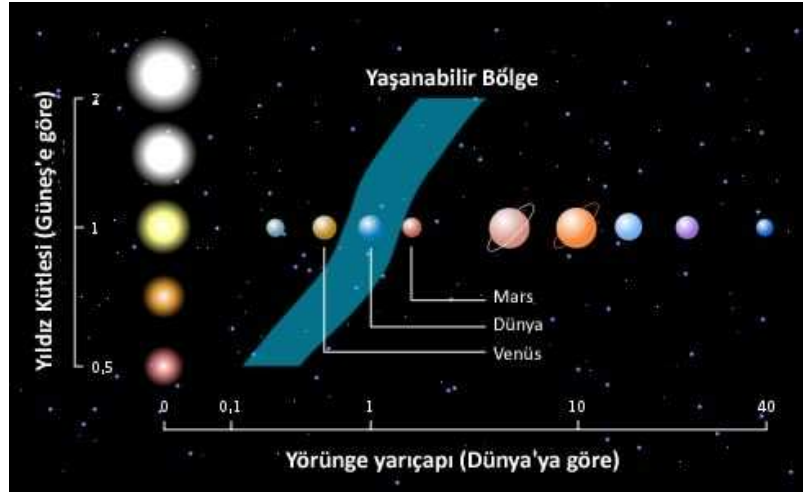
Şekil 8.3. Bir yıldızın yaşanabilir bölgesi (Pearson Addison-Wesley[®], 2007)

Çizelge 8.5. Hidrojen-yakan yıldızların başlıca yedi spektral sınıfı ve özellikleri

Spektral sınıf	Yaklaşık Bulunma Yüzdeleri	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Parlaklık (solar birim)	Kütle (solar birim)	Yaşam süresi (yıl)	Açıklama
O	%0.001	50.000	1milyon	60	500 bin	Gezegen oluşumu için çok kısa yaşam süresine sahiptir. Galaksimizde çok enderdir (<% 1)
B	%0.1	15.000	1.000	6	50 milyon	Gezegenlerin oluşması için yeterli uzunlukta yaşam süresine sahiptir fakat bu süre yaşamın oluşması için yeterli değildir.
A	1%	8.000	20	2	1 milyar	Basit yaşamın ortaya çıkması ve gezegenlerin oluşması için yeterli süreye sahiptir fakat gelişmiş yaşamı oluşturamaz.
F	2%	6.500	7	0.1	2 milyar	
G	7%	5.500	1	1	10 milyar	Güneş'e benzer bu yıldızlarda yaşam süresi gelişmiş yaşamın evrimleşmesi için yeterlidir.
K	15%	4.000	0.3	0.7	20 milyar	Bu yıldızlar gelişmiş yaşamı oluşturabilirler. Ancak, çevrelerinde birçok yaşanabilir gezegen barındıramayabilirler çünkü yaşanabilir bölgeleri çok dardır.
M	75%	3.000	0.003	0.2	600 milyar	

En sıcak O ve B sınıfı yıldızlar o kadar kütlelidirler ki bunlar hemen kararsız hale gelebilir ve gezegenleri üzerinde yaşamın başlamasına yetebilecek kadar zaman bırakmadan süpernova olarak patlarlar. Güneş-benzeri yıldızsal sınıflar olan F ve G sınıfları dünyasal yaşam için muhtemel sağlayıcılardır çünkü daha soğuk K ve M sınıfı yıldızların etrafında olduğu gibi yaşanabilir bölge yıldızın yakın civarında değildir. Yıldızlarına çok yakın yörüngelenen gezegenler eş zamanlı bir döngüsel hareket içerisinde kilitlenmiş hale gelebilirler, yani bunlar yıldıza doğru her zaman aynı yüzlerini gösterirler. Dünyasal gezegenler, kendi atmosferleri ve manyetik alanları tarafından kozmik ve yıldızsal radyasyondan her zaman korunurlar (Grieffmeier, et al., 2005). Bu yüzden yüzeydeki yaşamı yukarıdaki atmosfer korur. Spektral A tipi yıldızlar, basit yaşam formlarının kesinlikle meydana gelmesi için birkaç milyar yıl yaşanabilir bölge sağlarlar fakat bu süre karmaşık yaşamın evrimleşmesi için yeterli uzunlukta olmayabilir (Rekola, 2009).

Ötegezegenler için, Güneş Sistemi'ni etkileyen benzer etmenler uygulanabilir (Şekil.8.4) Bir yıldız ile bu yıldızın yaşanabilir bölgesi arasındaki uzaklık yıldızsal büyüklük ve parlaklıkla artar. Bir $0.5 M_{\odot}$ ve $1.5 M_{\odot}$ yıldızın yaşanabilir bölgesi sırasıyla $0.3 AB$ ve $2.5 AB$ 'de ($1AB = 149,6 \text{ km}$) ortalamıştır (Kasting, et al., 1984).



Şekil 8.4. Merkezi yıldızların farklı kütleleri için yaşanabilir bölge konumları (Hanslmeier, 2009).

Geçerli modeller dünya-benzeri gezegenlerin sıklıkla 0.3 AB ila birkaç AB arasında geliştiğini tahmin etmektedir (Wetherill, 1996).

Dev gezegenler önemli şekilde yaşanabilir bölgeyi etkileyebilirler. Jüpiter-büyükliğindeki çok dar yörüngelere sahip gezegenlerin yakın zamandaki keşifleri (Marcy and Butler, 1996), gaz devlerinin nebula diskin dış kısımlarında oluştuğunu ve daha sonra iç kısımlara doğru gelebildiğini (Lin, et al., 1996) ve büyük olasılıkla yolları üzerindeki kayasal gezegenleri ortadan kaldırdığını göstermiştir. Örneğin, bir Jüpiter-benzeri gezegen büyük çapta kuyruklu yıldızların akışını azaltabilir (Wetherill, 1994). Büyük Jüpiter-boyutlarındaki gezegenler daha içlerdeki yaşanabilir gezegenleri çevresel yıkıcı faktörlerden korurlar. Biyosferlerin başlaması ve gelişmesi için bu gibi koruyucu gezegenlerin gerekli olduğu düşünülürse, solar sistemlerdeki devamlı yaşanabilir bölgelerin tahmin edilen toplam sayısı daha da düşebilir.

8.4.2. Galaktik yaşanabilir bölge

Evrende çok sayıda galaksi tipi bulunur ve bunlar dünyasal yaşam için farklı koşullara sahiptir. Dünyasal yaşamı barındırdığı bilenen tek geniş spiral galaksi Samanyolu Galaksisi'dir. Sferoid galaksiler, farklı oluşum tarihlerine ve içsel kinematiklere sahiptir. Bunların dünyasal yaşam için az tercih edilebilir olduğu

belirtilebilir. Sferoid galaksilerin spiral galaksiler ile bütün yaşanabilir değiştirgeleri halen yeterli seviyede bilinmemektedir (Gonzalez, et al., 2005).

Gonzalez ve ark. (2001) Galaktik Yaşanabilir Bölge (GYB) terimini Samanyolu'nun yaşama en iyi şekilde ev sahipliği yapacak bir kısmı için, yıldızların etrafındaki yıldızsal yaşanabilir bölgeye benzer şekilde tanımladılar. Bu bölgeyi tanımlamak için anahtar değiştirgeler; metalik, süpernova sıklığının yakınlığı ve yıldızsal yaştır.

Ana yıldızın metalliği, solar sistem oluşumunun meydana gelmesini kararlayan önemli bir faktördür (Trimble, 1995; Fischer, et al., 2004). Gezegen barındırdığı bilinen 80'in üzerinde yıldızın spektroskopik analizinde Santos ve ark. (2003) gezegen-barındıran yıldızların yaklaşık olarak iki kat daha fazla Fe/H bolluğu olduğunu buldular. Buna ek olarak, $<18 M_{Jüp}$ bir gezegenin bulma olasılığının metalik oranıyla arttığını ortaya çıkardılar. Fischer, Valenti ve Marcy (2004) iyi gözlenmiş 754 yıldızın metalliğini sınıdılar ve Fe/H oranı ile Doppler-saptamalı ötegezegen gezegensel sistemlerin çok güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu buldular. Düşük metalikte, Fe/H = -0.5, gezegenlerin popülasyonun azaldığını rapor ettiler oysa ki Fe/H = +0.5 (Güneş'in solar metalliğinin üç katı) olduğu durumlarda bu solar metalliğe sahip yıldızların %5-10'unun gezegene sahip olduğunu rapor ettiler. Galaksinin merkezine doğru yıldızların yoğunluğu arttığı gibi yıldızsal metalik de artar. Bu yüzden gezegen oluşumunun, ve böylece solar yaşayabilirliğin, galaktik çapın azalmasıyla birlikte artabildiği görülebilir.

Süpernovaların ~10 parsek alanda şiddetli etkileri olabilir (Shklovskii and Sagan, 1966; Clark, et al., 1977). Tip II süpernovalardan (yıldızsal kütle $> 10 M_{\odot}$) açığa çıkan toplam enerji $\sim 10^{52}$ ergtir (Colgate, 1968) ve başlangıçtaki patlama bir gezegenin ozon tabakasını yıkabilir, yaşamı doğrudan solar UV radyasyona maruz bırakır ve olasılıkla patlamadan $\sim 10^3$ yıl sonra süpernova artığı gezegene ulaşmadan önce sürekli bir kozmik ışınların artışı gözlenir (Clark, et al., 1977). Clark ve ark. süpernovaların galaksinin daha yoğun bölgelerinde tercihen meydana geldiğini not ettiler ve özellikle onlar galaktik spiral kolların sürüklendiği bu sıkıştırılmış geçitleri "süpernova bölgesi" olarak adlandırdılar. Bu yüzden yaşam, galaktik şişkinliğin olduğu bu bölgelerde, daha az yoğun olan dış bölgelerden daha yüksek radyasyon riskiyle karşılaşır. Galaksi'nin merkezinden 8,5 kpc uzaklıkta, Güneş spiral kolların dönme bölgesinde bulunmaktadır bu yüzden süpernova bölgesine hareket etmemektedir (Balázs, 1988).

Samanyolu Galaksisi'nin süpernova patlamalarıyla sterilize edilmesiyle burada bulunan metallerin toplanması ve gelişmiş yaşamın evrimi için 4 ± 1 GY zaman aralığına gerek duyması arasında bir bağlantı kurulduğunda, Lineweaver ve ark. (2004) dairesel GYB'nin, galaksinin merkezinden 7 ve 9 kpc arasında uzaklıkta olduğunu buldular. Merkeze 7 kpc'den daha yakında, süpernovalar gelişmiş türler evrimleşmeden önce yaşamı ortadan kaldırır ve merkezden 9 kpc ötesinde ise düşük metalik kapasitesi dünyasal gezegen oluşumunu sınırlar. Lineweaver ve ark. (2004) galaksilerin GYB'nde olasılıkla %10 kadar yıldızın oluştuğunu buldular.

8.4.3. Gezegenler ve gezegensel habitatlar

Dünyasal yaşam için zorlu arayış, yaşanabilir gezegensel çevrelerin keşfini, bunların evriminin modellenmesini ve bu çevrelerin fiziksel ve kimyasal tanımlanmasını barındırmalıdır. Yaşama-fırsat vermesi için diğer gezegenler, sıvı su ve kararlı bir iklime sahip olmalıdır (McKay and Stoker, 1989). Gezegensel habitat ayrıca biyolojik olarak kullanılabilir enerji kaynaklarını, kimyasal besinleri ve yaşamın ortaya çıkmasına, evrimleşmesine ve yaşamalarını sürdürebilmesine izin verecek şekilde çevresel tutarlılığa sahip olmalıdır (Walter and Des Marais, 1993).

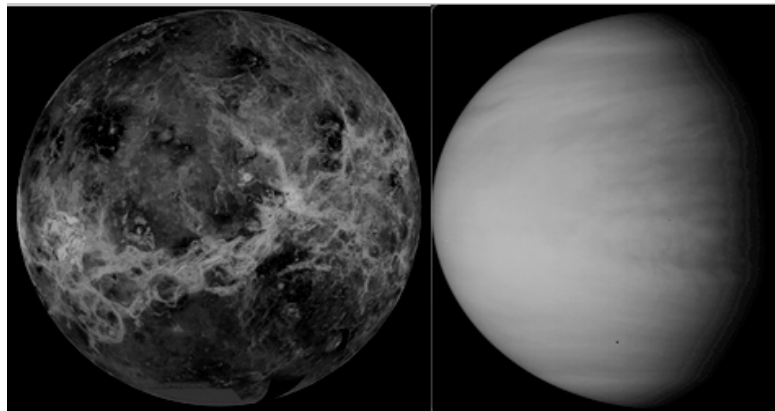
Gezegensel aşamalar da yaşanabilir bölgeyi etkiler. Gezegensel yüzey sıcaklıkları atmosferin enerji dengesini yansıtır ki bunlar güçlü şekilde sera gazları tarafından etkilenir (Hart, 1978; Kasting, et al., 1984). Su buharı bugün Dünya üzerinde sera ısınmasının çoğunu gerçekleştirmektedir. Fakat, CO₂ aynı zamanda sera ısınmasına önemli şekilde katkıda bulunmaktadır ve Dünya'nın ikliminin ve yüzey sıcaklığının kararlı hale gelmesinde uzun zamanlı rol oynamıştır (Kasting and Ackerman, 1986). Dünya'nın içsel termal aktivitesi (volkanizm ve tektonikler) atmosfere ve okyanuslara CO₂ kazandırır ve CO₂ sulu kayaların havalandırılması, su taşınımı, organik madde ve karbonatlar olarak sedimentler içerisinde gömülmesi yoluyla uzaklaştırılır. İklim düzenlenmesi başarıyla gerçekleştirilir çünkü karbondioksiti uzaklaştırma aşamaları sıcaklıkla-bağlantılıdır. Sıcaklık artışları bu sera gazının atmosferden büyük miktarlarda uzaklaştırılmasıyla dengelenir.

Sera gazları yaşanabilir bölgenin evrimini ve boyutunu etkiler (Kasting and Ackerman, 1986). Eski zamanlarda güneşin daha az parlak olmasından dolayı, Venüs

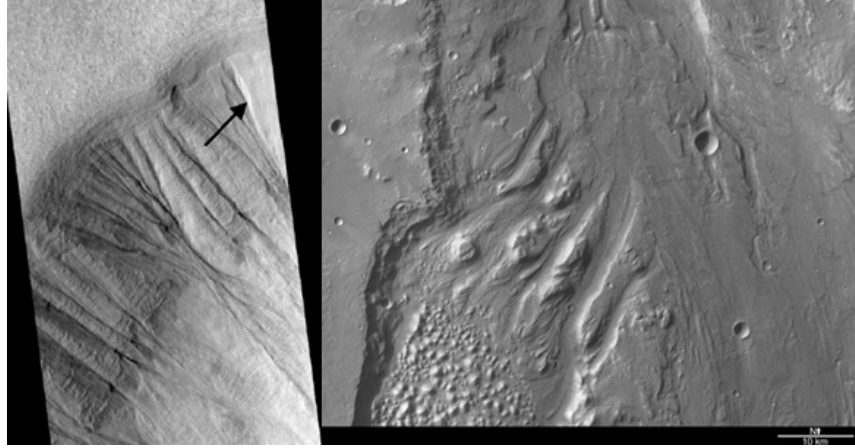
yaşanabilir bir yüzey ortamına sahip olmuş olabilirdi. Fakat, CO₂-su-aracılı iklim düzenlenmesi, Venüs üzerinde etkisiz kaldı çünkü artan solar ısınma su buharının Venüs atmosferine doğru hızla yönelmesine ve sonra uzaya kaçmasına sebep oldu (Kasting, et al., 1984). CO₂'in uzaklaştırılması için sulu aşamaların kaybıyla birlikte sıcak sera koşulları sonsuza kadar Venüs'ün çok sıcak yaşanamaz bir ortam olmasına sebep oldu (Şekil 8.5).

Aynı zamanda Mars gezegensel aşamaların rolü açısından değerlendirildi. Mars'ın yüzey ortamı şimdi yaşanabilir değildir (Clark, 1998). Eski zamanlarda güneşin daha az parlak olmasından dolayı Mars'ın erken yüzey ortamının şimdikinden daha soğuk olduğu düşünülebilir. Fakat, Mars yüzeyinde gözlenen erozyon oranları, nehirler olduğu düşünülen oluşumlar gibi kanıtlar Mars'ın erken zamanlarda daha ıslak ve daha ılık olduğunu gösterir (Carr,1996; Haberle, 1998) (Şekil 8.6). Eğer Mars'ın erken tarihinde termal aşamalar CO₂'i şimdikinden daha hızlı şekilde yüzey ortamına kazandırdıysa yukarıdaki iddia olasıdır.

Yaşamın ortaya çıkabilmesi için başlıca dört habitat vardır - gezegensel cismin yüzeyi, yüzey altı ve atmosferi. Dünyasal yaşam şaşırtıcı bir farklılıkta ve çeşitli mikrohabitatlar içerisinde, derin mağaralardan (Hose, et al., 2000; Melim, et al., 2001) hidrotermal akışlara, çeşitli kimyalardaki sıcak kaynaklara (Rzonca and Schulze-Makuch, 2002) ve Antarktika'nın donmuş çöllerine (McKay and Friedmann, 1988) kadar geniş alana yayılmıştır.



Şekil 8.5. Venüs'ün görüntüleri. Solda; Venüs'ün yüzeyi. Sağda; Venüs'ün sülfürik asit ve diğer toksik kimyasalları içeren kalın atmosfer görüntüsü (Magellan Spacecraft, 1992)



Şekil 8.6. Mars üzerinde kanal oluşumları. Solda; Mars üzerinde krater duvarı, buz-mantosü türevli su oyukların örnekleri, mantonun bir kısmı halen yerindedir (okla gösterilen), Mars Orbiter Camera, 1996 (NASA/JPL/Malin Space Systems). Sağda; Mars üzerinde Iani Chaos'taki sızıntı kanalları. Geniş çaptaki erozyon ve akış özellikleri hızlı su salınımını göstermektedir (Mars Express HRSC image ESA/DLR/FUB, G. Neukum).

8.4.3.1. Yüzeyde yaşam

Öncelikle, yüzeydeki yaşam sıcaklık, rüzgar, radyasyon ve nemlilik gibi çevresel ekstremelere daha çok maruz kalır. Örneğin yüzey-altında gelişen yaşam kalın toprak ve kaya tabakalarıyla korunmaktadır. Yüzeyinde dünyasal yaşam barındıran bir gezegen veya uydunun, yüzeyindeki sıvıların uzay boşluğuna buharlaşmasını önlemek, yüzeydeki yaşamı zararlı kozmik ve UV radyasyondan korumak (korumanın derecesi atmosferin kalınlığına ve bileşimine bağlıdır) ve yüzeyi potansiyel olarak tahrip edici bazı meteor çarpmalarından korumak için atmosfere ihtiyacı vardır (Schulze-Makuch and Irwin, 2008). Daha küçük meteoritler atmosferde yanarlar ve daha büyük olanlarının etkileri azaltılmış olur. Fakat, meteoritler halen herhangi bir gezegenin yüzeyini tehdit eden en ciddi faktördür. Örneğin, erken Dünya tarihinde Dünya'nın yüzeyi birkaç defa sterilize edilmiş olabilir (Sleep and Zahnle, 1999). Bu durumda dünyasal yaşam sadece kabuğun derinlerinde devamlılığını sağlayabilir ve sonra zaman içerisinde meteoritlerin çarpışma etkileri azaldığında yüzeye tekrar yerleşebilir. Yüzeydeki yaşam aynı zamanda uzun-zamanlı iklimsel değişimlere oldukça duyarlıdır.

Dünya birkaç dönem kısmi olarak veya belki de bütünüyle donarak küresel soğuma (Kartopu Dünya) olayları geçirmiştir (Hoffman, et al., 1998; Kirschvink, et al., 2000).

8.4.3.2. Yüzey altında yaşam

Bakteriler, mantarlar ve mikro-hayvanların, sudan karaya doğru ilk yayılmalarına kadar toprağın daha üst tabakalarında yaşadıkları varsayılmaktaydı. Yakın zamanlı kayıtlar, mikrobiyal yaşamın daha derinlere, hem kara hem de okyanus yüzeyinin altına, doğru nüfuz ettiğini önermektedir (Mason, et al., 2010; Johnson, 2003).

Mikrobiyal yaşamın, okyanus kabuğu, kıtasal tortul ve volkanik kayalar gibi çeşitli tipteki yüzey altı habitatlarda yerleştiği görülmektedir. Organizmaların toplam sayısı genellikle derinlikle birlikte azalış gösterir ama yine de toplam yüzey altı biyokütlesi muazzamdır (Gold, 1992).

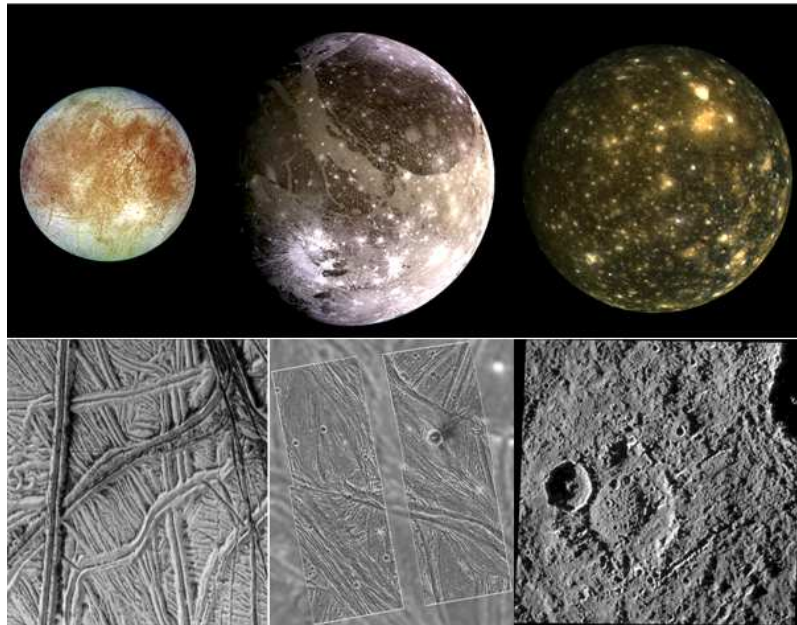
Yüzey altındaki dünyasal yaşamın bazı belirgin avantajları kolaylıkla fark edilebilir. Sıcaklıklar ve buhar basınçları sabittir, radyasyonun zarar verici etkilerinden korunmak olasıdır. Fakat, enerji kaynağı olarak güneş ışığının kullanılamaması, burada mikroorganizmaların çeşitliliğini sınırlandırabilir. Kabuksal kayalara özgü mikroorganizmalar kıtasal tortul kayalardan 2800 m derinlikten (Onstott, et al., 1999), okyanus tabanının 1391 m altından (Mason, et al., 2010) ve volkanik kayalardan 5300 km derinlikten izole edilmiştir (Pedersen, 2000). Bu bölgelerde genellikle derinlikle birlikte sıcaklık artar ve sıcaklık üzerinde ve sıvı durumlarda suyun yapmış olduğu basınç koşullarında mutlak sınırlar uygulamaya koyulur.

Bütün dünyasal gezegenler ve bütün daha büyük uydular üzerinde termal kararlılığın ve bazı çözücü sıvı formlarının bulunabildiği yüzey altı katmanlar büyük olasılıkla mevcuttur. Gelgit esnemesi veya diğer enerjik düzensizliğin varlığına dair kanıtlar barındıran Enceladus, Iapetus ve Triton'un (Şekil 8.7.), büyük buzlu uydular Europa, Ganymede, Callisto'nun (Şekil 8.8.) buzlu kabuklarının altında sıvı su buldukları varsayılmıştır (Carr, 1986; Chyba, 1997; Coustenis and Lorenz, 1999; McKinnon and Kirk, 1999) (Şekil 8.9.).

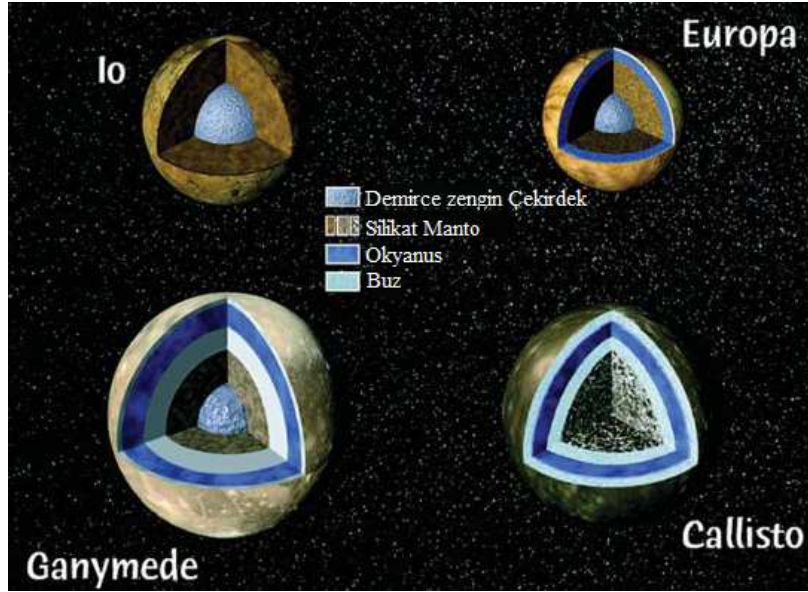
Mars'ın üst kabuğundaki mevcut yer altı suyu için kanıt şimdilerde ilgi uyandıran bir konudur. Bu nedenle, Dünya üzerinde bildiğimiz akuatik yaşamın bu ortamlarda da mevcut olabileceği varsayılmıştır (Carr, 1996).



Şekil 8.7. Sırasıyla; Satürn'ün uyduları Enceladus ve Iapetus, Neptün'ün uydusu Triton (NASA/Galileo görevi, JPL).



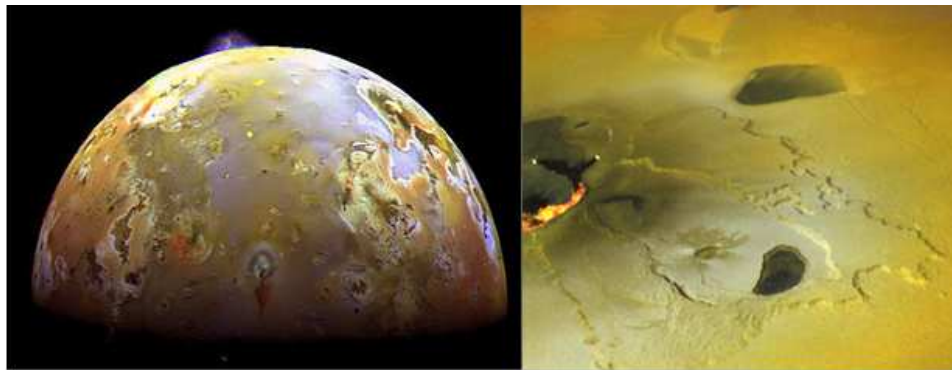
Şekil 8.8. Jüpiter'in uyduları ve yüzey fotoğrafları; sırasıyla Europa, Ganymede ve Callisto Sırasıyla Europa, Ganymede ve Callisto (NASA/Galileo, JPL).



Şekil 8.9. Dört Galilean uydusunun olası iç yapıları (NASA/JPL).

Io'nun yüzeyi donmuş haldedir. Periyodik lav akışlarının yüzeyi üstten, gelgit esnemesinin ise bu kayalık gezegenimsiyi alttan ısıttığı düşünülmektedir (Şekil.8.10.).

Titan halen çok soğuktur fakat Titan, yüzeyinden ayrı olarak yer altında, radyojenik ısınma etkisiyle sıvılaştırılmış bir amonyak, su ve organik bileşiklerin karışımına sahip olabilir (Coustenis and Lorenz, 1999). Merkür ve Ay'ın kutupsal buza sahip olduklarına dair kanıtlar gösterilmiştir (Showstack, 1998; Slade, et al., 1992). Venüs'te sıvı silikatların veya suyun yüzey altında var olabileceği belirtilmiştir (Schulze-Makuch, et al., 2002b).

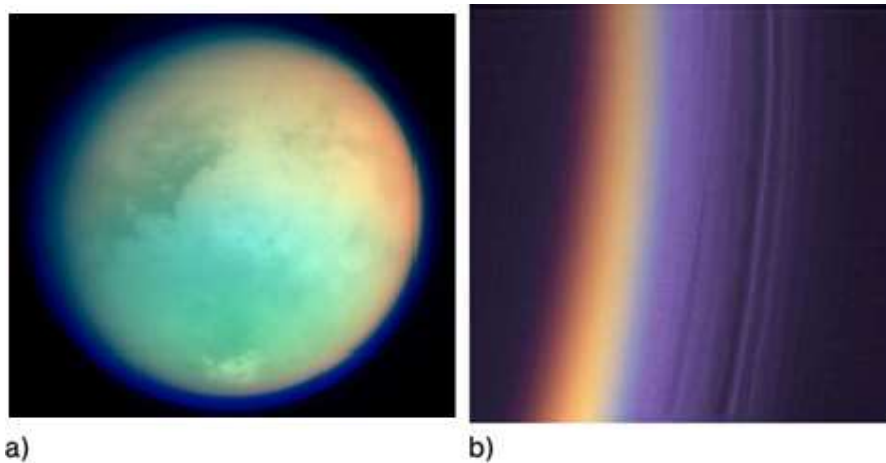


Şekil 8.10. Jüpiter'in uydusu Io: Güneş Sistemi'nin gelgit ısınmasından dolayı en aktif volkanizme sahip cismi (NASA/Galileo görevi, JPL).

8.4.3.3. Atmosferde yaşam

Dünya atmosferi genellikle yaşamsal bir habitat olarak nitelendirilmemiştir. Şimdiye kadar atmosferde yaşam döngüsünü tamamlayan bir organizma kayda geçirilememiştir (Schulze-Makuch and Irwin, 2008). En küçük organizmanın bile havadan daha yüksek bir yoğunluğa sahip olmasına rağmen, bakterilerin Dünya üzerindeki bulut aerosollerinde bazı zamanlarını geçirdiklerinin (Gislén, 1948) ve besinlerce zenginleştirilmiş yağmur ve sis suyunun mikroorganizmalar için iyi bir altkatman sağlayabileceği (Fuzzi, 2002; Herlihy, et al., 1987) önerildi. Dimmick ve ark. (1979) hava-kaynaklı partiküllerin üzerinde bakterilerin bölündüğünü rapor etti. Sattler ve ark. (2001) Avusturya'daki Sonnblick Gözlemevi'nde 3106 m yükseklikteki yoğunlaşan bulutları analiz etti ve mikroorganizmaların süper-soğutulmuş bulut damlacıklarında büyüyüp ve bölünebildiklerini önerdi.

Dünya'nın kararsız ve ince atmosferinin yerine, Venüs, Titan ve gaz devlerinin daha yoğun atmosferlerinde yaşamın oluşabileceği varsayıldı (Bkz. Bölüm 5). Güneş ışığı, özellikle ultraviyole frekansları, gezegenlerin atmosferdeki basit organik molekülleri yıkar ve enerji-zengini bileşiklere birleştirir. Örneğin organikçe zengin Titan atmosferinin, Dünya'dan %50 daha yoğun olmasıyla birlikte, benzer yönden yaşamı destekleyebileceği varsayıldı (Sagan and Salpeter, 1976) (Şekil 8.11).



Şekil 8.11. Cassini uzay aracından alınan Titan resimleri. a) UÜ dar-açılı kamera (yakın-kızılaltı ve görünür resimler birleştirilerek) ile yaklaşık 170000 km uzaklıktan çekilmiştir, 2005. b) Dar-açılı kamera ile çekilen Titan'ın dairesel dış kenarındaki ince sis tabakaları göstermektedir (NASA/JPL/Space Science Institute).

BÖLÜM 9

SONUÇLAR

Uzay ortamı mikrobiyolojik açıdan iki şekilde değerlendirilebilir. Birincisi, bir mikroorganizmanın uzay koşullarında meydana gelip gelmeyeceği sorusu ile ilgilidir. Bu sorunun yanıtı, Dünya'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile evrendeki yerinin, uzaydaki diğer bölgelerle karşılaştırılmasına dayanır. İkinci bakış açısı ise, Dünya'daki ekstrem habitatlar bir model alındığında, bu çevrelerde yaşayan mikroorganizmaların uzay ortamlarında da yaşamlarını sürdürebilme ihtimalini kapsar. Yani "Dünyasal ekstremofil organizmaların uzaysal ortamlarda yaşamaları mümkün müdür?" sorusunu sorgulamak gerekir. Mikrobiyolojik anlamda uzaydaki yaşam olasılığını değerlendirmek için, bu iki bakış açısını ortak bir sonuca bağlamanın gerekli olduğu fikrindeyiz.

Uzay ortamını mikrobiyal açıdan değerlendirmenin ilk bakış açısı ile ilgili olarak, yıldızsal ortamların fiziksel ve kimyasal koşulları ile mikrobiyal oluşum süreci ilişkilendirilmelidir. Başlangıçta, ilk nesil yıldızları, yıldızsal döngülerinin sonunda sentezledikleri ilkin elementleri uzaysal ortama yaymışlardır. Bu elementleri içeren moleküler bulutlardan sonraki nesil yıldızlar oluşmaya başlamıştır. Bu yıldızlar, halen devam eden yaşamsal döngüleri sonunda sentezledikleri karbon, oksijen, azot gibi elementleri yıldızsal ortama yayarlar ve böylelikle yıldızlararası ortamlar, özellikle karanlık bulutlar, organik moleküllerle zenginleşir. Önceden söz edildiği gibi, yıldızlararası ortamlarda yüzlerce organik molekül saptanmıştır. Fakat daha karmaşık, biyolojik organik moleküller ve biyolojik bir oluşum saptanamamıştır (Bkz. Bölüm 3). Bu aşamada mikrobiyal bir yaşam formunun varlığı da sorgulanabilir. Uzayda mikrobiyal bir yaşam formunun belirlenememesini iki faktöre dayandırabiliriz. Bu faktörlerden ilki, elimizdeki teknolojik olanakların daha karmaşık molekülleri ve olası bir yaşam formunu belirlemeye yetmemesidir. İkincisi ise uzaysal ortamda mikrobiyal yaşamı baskılayacak çeşitli etmenlerin olmasıdır. Uzaysal ortamda mikrobiyal yaşamın baskılanma sebepleri arasında yıldızlararası ortamın yıldızlar tarafından devamlı yüksek radyasyona maruz kalması, moleküler bulutların organik moleküllerinin birbirleriyle reaksiyona girmesine imkan vermeyecek oranda çok geniş alana yayılmış olması ve ortamın çok soğuk olmasından dolayı organik moleküllerin çoğunlukla buzların

içerisinde hapsedilmiş olması gibi etmenler sayabiliriz. Üstelik, mikroorganizmaların oluşumu için fizyolojik ve morfolojik yapıları açısından çok daha karmaşık organik moleküllerin düzenli bir sistem oluşturması gerekmektedir. Bu nedenle, her ne kadar panspermia hipotezine ters düşse de, Dünyasal yaşamın yıldızlararası ortamlarda oluşmasının mümkün olmadığını düşünüyoruz.

Diğer taraftan, yıldızlararası malzemeleri de içeren moleküler bulutlarda ilkel gezegen oluşum diskleri saptanmıştır. Bu disklerde oluşacak gezegensel cisimlere, bu organik moleküllerin taşınması söz konusudur. Bu gibi ortamlarda yoğunlaşmanın fazla olması, sıcaklığın da kimyasal reaksiyonların oluşmasına imkan verecek düzeyde olması sebebiyle, daha karmaşık organik makromoleküller gezegen oluşumu evresinde sentezlenebilir. Kuyruklyıldızlarda saptanan aminoasitler, heterosiklik, hidrokarbonik asitler gibi bileşikler bu konuda ispat olarak gösterilebilir. Böylelikle yaşamsal öneme sahip elementler ve organik moleküller, oluşan gezegensel cisimlerde de bulunabilmektedir. Ancak yaşamsal öneme sahip elementler ve organik moleküllerin varlığının yaşamın varlığını zorunlu kılmayacağını düşünüyoruz. Nitekim, şimdiye kadar incelenen asteroidal veya kuyruklyıldızsal meteoritlerde çeşitli organik moleküllerin yanı sıra fazla miktar su ve azot bulunmasına rağmen, hiçbir biyolojik yapıya rastlanmamıştır. Bu durum da bizim görüşümüzü doğrulamaktadır.

Yine de “Eğer uzayda yaşam var ise nerede ve hangi gezegendedir?” sorusu üzerinde düşünmeye değer bir sorudur. Gezegensel yaşam oluşumundan söz etmeden önce, her oluşan gezegensel sistemin ve gezegenlerinin, Dünyasal bir yaşamı barındıramayacağı vurgulanmalıdır. Dünya’da var olan mikrobiyolojik yaşamın niteliği göz önünde bulundurulduğunda, Dünya’nın Güneş Sistemi’ndeki ve dolayısıyla galaksideki yeri önemlidir. Dünyasal mikrobiyolojik yaşamı uzayda aramak için bu özellikler çerçevesinde incelenecek gezegenler belirlenmelidir (Bkz. Bölüm 8). Bu konuda en başta gelen özelliğin, gezegen ve yıldızının arasındaki ilişki olduğunu düşünüyoruz. Yapılan hesaplamalara göre, bir yıldızın kütlesi arttıkça, yıldızın yaşam süresi azalmaktadır. Bu bağlamda M, K ve G sınıfı yıldızlar, basit yaşamsal oluşum ve mikrobiyolojik evrim için yeterli zamana sahip görünmektedir. Bir yıldız ile bu yıldızın yaşanabilir bölgesi arasındaki uzaklık, yıldızsal büyüklük ve parlaklıkla artar. Bu uzaklık yaklaşık olarak 0,3 - 2,5 AB’dir. Ayrıca, yaşam barındırmaya aday bir gezegensel sistem, bulunduğu galaksinin merkezine ve galaksinin dış koluna yakın

olmamalıdır. Bu yüzden Dünyasal yaşam formu içermeye aday bir gezegensel sistemin galaksideki yeri, galaksinin merkezinden 7 - 9 pc uzaklıkta bulunmalıdır. Bunlara ek olarak yıldızsal yaşanabilir bölgeyi yıldızların metalliği ($Fe/H = + 0,5 - (-0,5)$), gezegensel sistemde Jüpiter kütlelerinde bir gezegenin bulunması, gezegensel sistemin süpernovalara yakınlığı gibi etmenler de sınırlamaktadır. Nitekim, günümüze dek, gezegen ve yıldız ilişkisi açısından, Dünya'nın içinde bulunduğu konuma benzer bir gezegene sahip olan gezegensel sistem bulunamamıştır. Tanımlanan gezegenlerin neredeyse tümü ise yıldızına çok yakın dolanan Jüpiter-kütlesinde gezegenlerdir. Bu gezegenler, Dünyasal mikrobiyolojik yaşamın kimyasına ve dolayısıyla yaşamın oluşup evrilmesine uygun değildir. Çok az sayıda Jüpiter-benzeri olmayan, yaşanabilir bölge tanımlamasına girebilen gezegen saptanmıştır. Bu gezegenlerin de atmosferik veya yüzeysel spektrumlarından elde edilen verilerden yola çıkılarak bu gezegenlerde mikrobiyal bir yaşamın varlığını öngörmüyoruz. Sonuç olarak, yukarıda sayılan etmenler göz önünde bulundurulduğunda Dünya-benzeri bir gezegen, üzerinde bir yaşam aktivitesi ile bulmanın oldukça zor olduğu ve eğer evrende varsa bile bu sistemin oldukça ender olduğu fikrindeyiz.

En başta öngördüğümüz gibi, Dünyasal mikrobiyal bir organizma yıldızlararası ortamda oluşamayacak ise, yaşamsal kökenin, Dünya-benzeri bir gezegenin yüzeyinde veya yüzeyinin altında başlangıç gösterebileceği düşünülmelidir. Ancak, erken Dünya ortamı (erken Dünya okyanusu, atmosferi) ve yaşamın kökeni hakkındaki yetersiz veriler, bu konuda gerçeğin ortaya konmasını zorlaştırmaktadır. Araştırmalardan elde edilen bilgilere dayanılarak günümüzde, yaşamın erken Dünya'da, okyanus derinliklerindeki sıcak hidrotermal bacaların çevresinde köken aldığı kabul edilmektedir (Bkz. Bölüm 6). Filogenetik ağaç incelendiğinde de ortak ataya en yakın olan türlerin yine sıcak-seven türler olduğu görülmektedir. Bu durumun aynı şekilde sıcak köken kavramını desteklediği düşünülebilir. Bu bağlamda Dünyasal mikrobiyal yaşamın diğer gezegenlerde de bu şekilde ortaya çıkması beklenebilir. Fakat Güneş Sistemi'ndeki diğer gezegenlerin fiziksel özellikleri ve içerdikleri kimyasal moleküller dikkate alındığında, yukarıda söz edilen şekilde bir başlangıcın meydana gelmesi mümkün değildir. Diğer taraftan, Dünya üzerindeki 3,5 - 3,8 milyar yıllık en eski kayalardan elde edilen mikroorganizma fosillerinden (bu organizmaların oldukça evrimleşmiş modern prokaryotlara benzediği de keşfedilmiştir) yola çıkılarak Dünya üzerinde

yaşamın 200 - 500 milyon yıllık çok kısa bir sürede oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu sebeple, diğer gezegenlerin de oluşumları ve yaşam süreleri dikkate alındığında, bu süre içerisinde, mikrobiyolojik bir yaşamın yüzeyde veya yüzey altında oluşması ve yüzeye çıkacak şekilde veya yüzey altında koloniler meydana getirecek şekilde evrim geçirmesi gerektiği kanısındayız. Fakat bu gezegenlerden elde edilen atmosferik ve yüzeysel spektrum değerlerinde herhangi bir dengesizliğin bulunmamasının (Örneğin, Dünyasal atmosferik spektrumun kararsız değerlere sahip olmasının üzerindeki organizmaların varlığından kaynaklanmakta olduğu Bölüm 5’de belirtilmişti) bu yerlerde mikrobiyolojik bir aktivitenin var olmadığı ve olamayacağı anlamına geldiğini düşünüyoruz. Nitekim, örnek olarak Güneş Sistemi’ni ele aldığımızda, Güneş’in yaşanabilir bölgesi dışında bulunan gezegenlerin de aynı şekilde mikrobiyal bir yaşama dair verilere sahip olmaması bu görüşümüze kanıt olarak gösterilebilir.

Uzay ortamını mikrobiyal açıdan değerlendirmenin diğer bakış açısı ise Dünyasal ekstremofil organizmaların uzay koşullarında yaşamlarının mümkün olup olmadığını sorgulamaktır. Günümüzde Dünya’nın çok farklı ekstrem çevrelerine dağılmış ekstremofilik türler bulunmaktadır (Bkz. Bölüm 7). Bu organizmaların çoğu, örneğin hipertermofilik Archaea, yüksek düzeyde özelleşmiş metabolik ve fizyolojik özelliklere sahiptir. Başka bir deyişle, bu organizmalar, buldukları ortama uyum sağlamak için fizyolojik değişim geçirmişler ve ayrı bir filogenetik hat oluşturmuşlardır. Bu organizmaların yaşadıkları çevrelerin karakteristik özelliklerine bakarak, diğer gezegenlerin benzer özelliklere sahip bölgelerinde bu organizmaların yaşayabilirliklerini sürdürebilecekleri normal olarak düşünülebilir. Fakat burada, bu organizmaların bu yerlerde nasıl ortaya çıkabileceğini sorgulamanın önemli olduğunu düşünüyoruz. Erken Dünya üzerinde yaşamın oluşumu senaryosu göz önünde bulundurulduğunda, diğer gezegenlerin de benzer şekilde yaşamı oluşturması ve devam ettirmesi (yaşamın evrilmesi) gerektiği düşünülebilir. Mikrobiyal yaşama sahip olacak gezegenin, içerisinde bulunduğu galaktik bölgenin gezegene yansıttığı özelliklerine uyum gösterebilecek bir Dünyasal yaşama sahip olması (ekstremofiller gibi), bulunduğu habitata uyum gösterenlerin doğal seçimde baskın olması ve yaşamın bu yönde evrilmesi gerektiği fikrindeyiz. Fakat önceden de öngördüğümüz gibi, en başta Güneş Sistemi içerisinde, diğer gezegenlerde mikrobiyal bir yaşam belirlenememiştir. Bu bağlamda, Dünya’da farklı çevrelerde yaşamlarını sürdürebilen organizmaların,

kökensel olarak yaşadığı çevreye uyum gösterecek şekilde oluşması ve ilişkili olarak Dünyasal filogenetik ağacın yeniden düzenlenmesi gerektiği gibi çıkarımlar getirebiliriz.

Bu düşünceye dair bir diğer kanıt ise uzay çalışmaları verilerinden elde edilebilir (Bkz. Bölüm 8). Çeşitli mikroorganizmaları uzay ortamına maruz bırakma deneylerinin sonuçlarına göre, mikroorganizmalar, korunmasız olarak (kil, toprak, meteorit tozu gibi malzemelerin içerisine gömülmüş halde değilken) uzay koşullarına maruz bırakıldığında, uzay ortamındaki radyasyonun etkisiyle yaşamlarını sürdüremedikleri bulunmuştur. Çalışmalarda, koruyucu bir destek içerisinde maruz bırakılmış organizmaların, ancak sınırlı süre aralığında yaşamlarını sürdürebildikleri bulunmuştur (en uzun maruz bırakılma süresi 6 yıl). Uzaya maruz kalma ve Mars benzetimi deneylerinde kullanılan mikroorganizmalar çoğunlukla, konunun fiziksel koşullarına uygunluğuna bakılmaksızın, Dünyasal olağan organizmalardan seçilmiştir. Çalışmaların sonucu olarak, bu organizmaların atasal özelliklerinden çok farklı olarak ortama uyum gösterdikleri keşfedilmiştir. Örneğin, *D. radiodurans* radyasyona dirençli bir ekstremofildir ve uzay çalışmaları sonucuna dayanarak, yaşayabilirliğini uzayda devam ettirebildiği (belirli bir süre için, korunmalı olarak) bulunmuştur. Fakat organizmanın bu ortamda normal olarak yaşamını sürdürebilmesi varsayılmasına rağmen, uzay ortamında organizmanın morfolojik ve genetik değişiklik geçirdiğinin farkına varılmıştır. *B. subtilis* yaygın bir toprak bakterisidir ve aynı çalışmalarda uzaydaki fiziksel koşullara dirençlilik gösterebilmesi açısından kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre organizmanın radyasyona uyum gösterecek şekilde atasından farklı olarak DNA onarım mekanizmasını geliştirdiği ve hücresel tabakalarını arttırdığı keşfedilmiştir. Aynı şekilde bazı fungusların, Dünya üzerinde, radyasyona ve soğuğa maruz kalmanın etkisiyle pigment sayılarını arttırdıkları ve uzay çalışmalarında da benzer fizyolojik değişmeyi gösterdikleri bulunmuştur. Aynı değişiklikler, Mir Uzay İstasyonu'nun Dünya'ya geri döndüğünde, aracın dış tabakalarından izole edilen mikroorganizmalarda da saptanmıştır. Bu araştırmalarda, organizmaların, pigmentleri aracılığıyla radyasyon enerjisini metabolik enerji olarak kullanmaları üzerine geliştirilen hipotez oldukça ilgi çekicidir. Benzer şekilde, son zamanlarda yapılan bir araştırmada ise, arsenik bakımından zengin bir gölde, bir mikroorganizma türünün arseniği hücresel yapıtaşısı olarak kullandığı, kesin olarak ispatlanmamış olsa da, tahmin edilmektedir.

Özetle, Dünya’da yaşamlarını sürdüren (Dünya’ya özgü) organizmaların, potansiyelleri dahilinde, Dünya’nın sahip olduğu farklı ortamlara uyum sağladıkları ve bu yönde sadece Dünya üzerinde Dünyasal mikrobiyal türleri oluşturabileceği kanısındayız. Bu verilerden yola çıkarak, öncelikle Dünyasal ekstremofiller için uzay ortamının ve diğer gezegenlerin habitat olamayacağını savunmaktayız. Nitekim, uzay ortamına uyum sağladığı düşünülen organizmaların ciddi anlamda atasal özelliklerinden farklılaştığı, Dünyasal türlere benzemeyen nesiller oluşturdukları keşfedilmiştir. Özellikle, uzay koşullarına fizyolojileri gereği uyum sağlayabileceği düşünülen ekstremofiller, sadece belli süre için uzay koşullarında yaşamlarını sürdürdükleri bulunmuştur. Mikrobiyal organizmaların Dünya üzerinde gösterdikleri bu muazzam uyum aktivitesine rağmen, diğer gezegenlerde bulunamayışları şaşırtıcı olmakla birlikte, önceden vurguladığımız sebeplerden (bu ortamlara özgün bir mikrobiyal yaşamın oluşup evrimleşmemesi ve diğer gezegenlerin sahip oldukları fiziksel ve kimyasal koşulların Dünyasal mikrobiyal yaşamı desteklememesi) dolayı beklenebilir bir durumdur ve çıkarımlarımızı desteklemektedir.

Sonuç olarak,

1. Yapısal karmaşık sistemi itibariyle mikroorganizmaların yıldızlararası ortamda oluşamayacağını,
2. Dünyasal mikrobiyal yaşama benzer bir yaşam şeklinin, Dünya-benzeri bir gezegen ile birlikte evrende ender olduğunun varsayılması gerektiğini,
3. Diğer gezegenlerin de oluşumları ve yaşam süreleri dikkate alındığında, bu süre içerisinde, mikrobiyolojik bir yaşamın oluşması ve evrim geçirmesi gerektiği,
4. Dünyasal ekstremofillerin uzay ortamında yaşamlarını sürdüremeyeceklerini,
5. Diğer gezegenlerde ve yıldızlararası ortamdaki, Dünyasal organizmaların metabolizmalarında kullandıkları organik moleküllerden farklı organik veya inorganik molekülleri metabolizmasında kullanabilen Dünyasal mikrobiyal yaşamdan farklı organizmaların keşfedilmesinin beklenebileceğini,
6. Farklı kimyalara ve farklı fizyolojilere sahip organizmaların varlığı söz konusu olduğunda, Dünyasal mikrobiyolojik yaşam için sınırlandırılan yaşanabilir bölge tanımlamasının önemszenmeyebileceğini,
7. Evrende Dünya’nın, üzerinde gelişen yaşamı ile birlikte özel ve özgün olduğunu,

düşünüyoruz. Bu gerekçeler ile uzaysal ortamlarda Dünyasal bir yaşam formunun olmadığı/olamayacağını savunuyoruz. Öngörümüzün teknolojik kısıtların olmadığı gelecekteki çalışmalar ile destekleneceğini umuyoruz.

Bu görüşe dayanarak, şu çıkarımları getirebiliriz:

- a. Uzayda yaşam arayışlarını daha geniş bakış açısıyla, Dünyasal kimya ve Dünya-benzeri gezegenler ile sınırlamayı keşfetmek,
- b. İlk madde ile ilgili olarak, yaşam arayışı teknolojilerini, Dünyasal yaşam aramanın yanı sıra, farklı yaşam biçimleri araştırmaya yöneltmek,
- c. Erken Dünya'da yaşamın başlangıcı araştırmalarını, uzay ortamındaki mikrobiyal yaşamın yanıtı ile ilişkilendirmek ve değerlendirmek,
- d. Diğer gezegenlerdeki yaşam oluşumu araştırmalarının sonuçlarından yola çıkılarak, Erken Dünya'da yaşamın kökeni tahminlerini ve dolayısıyla Dünyasal filogenetik ağacı yeniden düzenlemek,
- e. Dünya'daki yaşamın Dünya'ya özgü olduğunu düşündüğümüzde, erken Dünya'nın, yaşamın oluşmasını sağlayacak, diğer gezegenlerden farklı olarak hangi özelliklere sahip olduğunu ve hangi aşamalardan geçtiğini bu çerçevede dahilinde yeniden keşfetmek,

gerektiği inancındayız.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abel, T.R., Bryan, G. and Norman, M.L., 2000, The Formation and fragmentation of Primordial Molecular Clouds, *The Astrophysical Journal*, 540, 39-44.
- Aikawa, Y., Momose, M., Thi W., van Zadelho, V.G., Qi, C., Blake, G., van Dishoeck, E.F., 2003, Interferometric observations of formaldehyde in the protoplanetary disk around LkCa15, *PASJ*, (in press).
- Allen, M.B., 1959, Studies with *Cyanidium caldarium*, an anomalously pigmented chlorophyte, *Arch. f. Mikrobiol.*, 32, 270-277.
- Alekhova, T.A., Aleksandrova, A.A., Novozhilova, T. D., Lysak, L.V., Zagustina, N.A., Bezborodov, A.M., 2005, Monitoring of microbial degraders in manned space stations, *Prikl Biokhim Mikrobiol*, 41, 435-443.
- Anders, E., 1989, Pre-biotic organic matter from comets and asteroids, *Nature*, 342, 255-257.
- Armitage, P. J., Clarke, C. J., and Palla, F., 2003, Dispersion in the lifetime and accretion rate of T Tauri discs, *MNRAS*, 342, 1139-1146.
- Arndt, N.T., 1994, Archean komatiites, Archean crustal evolution, K.C. Condie (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 11- 44.
- Atreya, S.K., 1986, *Atmospheres and Ionospheres of the Outer Planets and Their Satellites*, Springer, Berlin, 30 p.
- Atreya, S.K., MahaVy, P.R., Niemann, H.B., Wong, M.H. and Owen, T.C., 2003, Composition and origin of the atmosphere of jupiter-an update, and implications for the extrasolar giant planets, *Plan. Space Sci.*, 21, 105–112.
- Bada, J.L., Glavin, D.P., McDonald, G., and Becker, L., 1998, Search for endogenous aminoacids in Martian Meteorite ALH84001, *Science*, 279, 362-365.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baglioni, P., von Heise-Rotenburg, R., 2004, EXPOSE-the ESA exposure facility on the ISS-exobiology research activity in support to the future missions to Mars, Proceedings of the III European Workshop on Exo-Astrobiology, 111–118.
- Baines, K.H., Carlson, R.W., and Kamp, L.W., 2002, Fresh ammonia ice clouds in Jupiter: Spectroscopic identification, spatial distribution and dynamical implications, *Icarus*, 159, 74–94.
- Balázs, B., 1988, *Bioastronomy: The Next Steps*, G. Marx (Eds.), London, Kluwer, 61 p.
- Balbus, S.A., and Hawley, J.F. 1991, A powerful local shear instability in weakly magnetized disks. I-Linear analysis, II-Nonlinear evolution, *The Astrophysical Journal*, 376, 214-233.
- Baraffe, I., Heger, A. and Woosley, M, 2001, On the stability of very massive primordial stars, *The Astrophysical Journal*, 550, 890-896.
- Baross, J.A., Benner, S.A., Cody, G.D., Copley, S.D., Pace, N.R., et al., 2007, *The limits of organic life in planetary systems*, National Academies Press, Washington, D.C.
- Barrow, J.D., Tipler, F.J., 1986, *The Anthropic Cosmological Principle*, Chapter 4, Oxford University Press Inc., New York, 219-258.
- Bartlett, D.H., 2002, Pressure effects on in vivo microbial processes, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, 1595, 367-381.
- Battista, J.R., 1997, Against all odds: the survival strategies of *Deinococcus radiodurans*, *Annu. Rev. Microbiol.*, 51, 203-224.
- Bauer, J.M., Roush, T.L., 2002, The near infrared spectrum of Miranda: Evidence for crystalline water ice, *Icarus*, 158, 178-190.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Beegle, L.W., Wilson, M.G., Abilleira, F., Jordan, J.F., Wilson, G.R., 2007, A concept for NASA's Mars 2016 astrobiology field laboratory, *Astrobiology* 7, 545–577.
- Bertalan, I., Esposito, D., Torzillo, G., Faraloni, C., Johanningmeier, U., Giardi, M.T., 2007, Photosystem II stress tolerance in the unicellular green alga *Chlamydomonas reinhardtii* under space condition, *Microgravity Sci. Technol.*, 19, 122–127.
- Berzelius, J.J., 1834, Uber Meteorstein, 4. Meteorstein von Alais. *Ann. Phys. Chem.*, 33, 113–123.
- Bettens, R.P.A., Herbst, E., 1996, The abundance of very large hydrocarbons and carbon clusters in the Diffuse Interstellar Medium, *The Astrophysical Journal*, 468, 686 p.
- Bevan, A.W.R., Bland, P.A., Jull, A.J.T., 1998, Meteorite flux on the Nullarbor region", *Australia, Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 140, 59-73.
- Byerly G. R., Walsh, M.M., Lowe, D.L., 1986, Stromatolites from the 3300-3500 Myr Swaziland Supergroup, Barberton Mountain Land, South Africa. *Nature*, 319, 489-491.
- Bézar, B., de Bergh, C., Crisp, D., Maillard, J.P., 1990, The deep atmosphere of Venus revealed by High-Resolution Nightside Spectra, *Nature*, 345, 7, 508–511.
- Bland, P.A., 2001, Quantification of meteorite infall rates from accumulations in deserts, and meteorite accumulation on Mars, *Accretion of Extraterrestrial Matter Throughout Earth's History*, B. Peucker-Ehrenbrink, B. Schmitz (Eds.), Kluwer Academics, New York, 267-303.
- Blöchl, E., Rachel, R., Burgraff, S., Hafenbradl, D., Jannasch, H. W. and Stetter, K. O., 1997, *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for life to 113°C, *Extremophiles*, 1, 14–21.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Botta, O., and Bada, J.L., 2002, Extraterrestrial organic compounds in meteorites, *Surv. Geophys.*, 23, 411–467.
- Brack, A., Baglioni, P., Borruat, G., Brandstatter, F., Demets, R., Edwards, H.G.M., et al., 2002, Do meteoroids of sedimentary origin survive terrestrial atmospheric entry?, The ESA artificial meteorite experiment STONE, *Planet. Space Sci.*, 50, 763–77.
- Bragger, J.M., R.V. Dunn and R.M. Daniel., 2000, Enzyme activity down to -100°C, *Biochim. Biophys. Acta*, 1480, 278–282.
- Brandstatter, F., Brack, A., Baglioni, P., Cockell, C.S., Demets, R., Edwards, H.G.M., Kurat, G., Osinski, G.R., Pillinger, J.M., Roten, C.A., Sancisi-Frey, S., 2008, Mineralogical alteration of artificial meteorites during atmospheric entry, The STONE-5 experiment, *Planet. Space Sci.*, 56, 976–984.
- Brasier, M.D., Green, O.R., Jephcoat, A.P., Kleppe, A.K., van Kranendonk, M., Lindsay, J.F., Steele, A., Grassineau, N., 2002, Questioning the evidence for Earth's oldest fossils, *Nature*, 416, 76-81.
- Brasier, M., Green, O., Lindsay, J., and Steele, A., 2004, Earth's oldest (3.5 Ga) fossils and the 'Early Eden Hypothesis', *Questioning the Evidence, Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 34, 257-269.
- Bridgewater, D., Allaart, J.H., Schopf, J.W., Kelin, C., Walter, E.S., Strother, A.H., Gorman, B.E., 1981, Microfossil-like objects from the Archaean of Greenland: a cautionary note, *Nature*, 289, 51-53.
- Briggs, R., Ertem, G., Ferris, J.P., Greenberg, J.M., McCain, P.J., Mendoza-Gomez, C.X., Schutte, W., 1992, Comet Halley as an aggregate of interstellar dust and further evidence for the photochemical formation of organics in the interstellar medium, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 22, 287-307.
- Brinton, K.L.F., Engrand, C., Glavin, D.P., et al., 1998, A search for extraterrestrial amino acids in carbonaceous antarctic micrometeorites, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 28, 413–424.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Brock, T. D. and Freeze, H., 1969, *Thermus aquaticus* gen. n. and sp. n., a nonsporulating extreme thermophile, J. Bacteriol., 98, 289–297.
- Brown, M.E., and Calvin, W.M., 2000, Evidence for crystalline water and ammonia ices on Pluto's satellite Charon, Science, 287, 107-109.
- Bruston, P., Khlifi, M., Benilan, Y., and Raulin F., 1994, Laboratory studies of organic chemistry in planetary atmospheres: From simulation experiments to spectroscopic determinations, J. Geophys. Res., 99, 19047-19061.
- Buchalo, A. S., Nevo, E., Wasser, S. P., Oren, A. and Molitoris, H. P., 1998, Fungal life in the extremely hypersaline water of the Dead Sea: first records, Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci., 265, 1461–1465.
- Bucker, H., Horneck, G., Facius, R., Reitz, G., et al., 1984, Radiobiological advanced Biostack experiment, Science, 225, 222–224.
- Buie, M.W., Cruikshank, D.P., Lebofsky, L.A., 1987, Water frost on Charon, Nature, 329, 522-523.
- Burchell, M.J., Cole, M.J., McDonnell, J.A.M., Zarnecki, J.C., 1999, Hypervelocity impact studies using the 2MV Van de Graaff accelerator and two-stage light gas gun of the University of Kent at Canterbury, Meas. Sci. Technol., 10, 41–50.
- Burchell, M.J., Mann, J., Bunch, A.W., Brandao, P.F.B., 2001, Survivability of bacteria in hypervelocity impact, Icarus, 154, 545–547.
- Burggraf, S., Stetter, K. O., Rouviere, P. and Woese, C. R., 1991, *Methanopyrus kandleri*: an archaeal methanogen unrelated to all other known methanogens, Syst. Appl. Microbiol., 14, 346–351.
- Buseck PR., Hua, X., 1993, Matrices of carbonaceous chondrite meteorites, Annu Rev. Earth Planet Sci., 21, 255-305.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cameron, A.G.W., 1973, Abundances of the elements in the Solar System, *Space Sci. Rev.*, 15, 121.
- Cameron, A.G.W., 1995, The Wrst ten million years in the solar nebula, *Meteoritics* 30, 133–161.
- Campins, H., and Swindle, T.D., 1998, Expected characterisitcs of cometary meteorites, *Meteoritics Planet. Scie.*, 33, 1201–1211.
- Carlson, R., et al. 1996, Near-infrared spectroscopy and spectral mapping of Jupiter and the Galilean satellites: Results from Galileo's initial orbit, *Science*, 274, 385-388.
- Carr, M.H., 1986, Mars: A water rich planet, *Icarus*, 56, 187–216.
- Carr, M.H., 1996, Water erosion on Mars and its biologic implications, *Endeavour*, 20, 56–60.
- Cataldo, F., Keheyan, Y., 2003a, An essay on asymmetric polymerization and the origin of chirality in the biologically active macromolecules, *International Perspectives on Chemistry and Biochemistry Research*, Chapter 3, G.E. Zaikov, V.M.M. Lobo and Guarrotxena (Eds.), Nova Science Publishers, New York.
- Cau, P., 2002, Formation of carbon grains in the atmosphere of IRC+10216, The role of periodic shocks in the formation of PAHs and their dimers, *Astronomy and Astrophysics*, 392, 203.
- Cazaux, S. and Spaans, M., *The Astrophysical Journal*, 2004, Molecular hydrogen formation on dust grains in the high-redshift Universe, 611, 40-51.
- Cepplecha, Z., 1977, Meteoroid populations and orbits, *Comets, asteroids, meteorites*, A.H. Delsemme (eds), University of Toledo, Ohio, 143-152.
- Chambers, J. E. and Wetherill, G. W., 1998, Making the terrestrial planets: N-Body integrations of planetary embryos in Three Dimensions, *Icarus*, 136, 304-327.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chapelle, F. H., Bradley, K., Methe, P., Ciuffo, B. A., and Lovley, D. R., 2002, A hydrogen-based subsurface microbial community dominated by methanogens, *Nature*, 415, 312–315.
- Charlier, D. and Droogmans, L., 2005. Microbial life at high temperatures, the challenges, the strategies, *Cell. Mol. Life Sci.*, 62, 2974–2984.
- Charnley, S.B., 2001, Interstellar organic chemistry, *The Bridge Between the Big Bang and Biology*, F. Giovannelli (Eds.), Consiglio Nazionale delle Ricerche President Bureau, special Volume, Italy, 139–149.
- Charnley, S.B., Ehrenfreund, P., Kuan, Y.J., 2001, Spectroscopic diagnostics of organic chemistry in the protostellar environment, *Spectrochimica Acta*, 57, 685 p.
- Christlieb, N., Bessell, M.S., Beers, T.C., Gustafsson, B., Korn, A., Barklem, P.S., Karlson, T., Mizuno-Wieder and Rossi, S.A., 2002, A stellar relic from the early Milky Way, *Nature*, 419, 904 p.
- Chyba, C. F., 1987, The cometary contribution to the oceans of primitive Earth, *Nat*, 330, 632–635.
- Chyba, C.F., 1997, Life on other moons, *Nature*, 385, 201 p.
- Chyba, C.F., Sagan, C., 1992, Endogenous production, exogenous delivery and impact-shock synthesis of organic molecules: an inventory for the origin of life, *Nature* 355, 125–132.
- Clark, B., 1998, Surviving the limits of life at the surface of Mars, *J. Geophys. Res.*, 103, 545–55
- Clark, D.H., McCrea, W.H., Stephenson, F.R., 1977, Frequency of nearby supernovae and climatic and biological catastrophes, *Nature*, 265, 318–19.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Clemett, S.J., Maechling, C.R., Zare, R.N., Swan, P.D., and Walker, R. M., 1993, Identification of complex aromatic molecules in individual interplanetary dust particles, *Science*, 262, 721–725.
- Cockell, C.S., 2001, A photobiological history of Earth, *Ecosystems, Evolution and Ultraviolet Radiation*, C.S. Cockell and A.R. Blaustein (Eds.), Springer, Berlin, 1-35.
- Cockell, C.S., Schuerger, A.C., Billi, D., Friedmann, E.I., Panitz, C., 2005, Effects of a simulated Martian UV flux on the cyanobacterium, *Chroococcidiopsis sp.* *Astrobiology*, 5, 127–140.
- Cockell, C.S., 2008, The interplanetary exchange of photosynthesis, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 38, 87–104.
- Cody, G. D., O'D. Alexander, C. M., and Tera, F., 2002a, Solid-state (^1H and ^{13}C) nuclear magnetic resonance spectroscopy of insoluble organic residue in the Murchison meteorite: A self-consistent quantitative analysis, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 1851-1865.
- Colgate, S., 1968, Prompt gamma rays and X-rays from supernovae, *Can. J. Phys.*, 46, 5476 p.
- Cooper, G.W., Onwo, W.M., and Cronin, J.R., 1992, Alkyl phosphonic acids and sulfonic acids in the Murchison Meteorite, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 4109–4115.
- Cooper, G.W., Thiemens, M.H., Jackson, T., and Chang, S., 1997, Sulfur and hydrogen isotope anomalies in meteorite sulfonic acids, *Science*, 277, 1072-1074.
- Cooper, J. F., Johnson, R. E., et al., 2001, Energetic ion and electron irradiation of the icy Galilean satellites, *Icarus*, 149, 133-159.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cottin, H., Gazeau, M. C., Raulin, F., 1999, Cometary organic chemistry: a review from observations, numerical and experimental simulations, *Planetary Space Science* 47, 1141-1162.
- Coustenis, A, and Taylor, F., 1999, Titan-the Earth like Moon. Series on Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, vol.1, World Scientific.
- Coustenis, A. and Bézard, B., 1995, Titan's Atmosphere from Voyager Infrared Observations: IV. Latitudinal Variations of Temperature and Composition. *Icarus*, 115, 126-140.
- Coustenis, A. and Lorenz, R.D., 1999, Titan, *Encyclopedia of the Solar System*, P.R.Weissman, L.McFadden and T.V. Johnson, (Eds.), Academic Press, New York, 377-404.
- Cox, J. P., Giuli, R. T., 1968, Principles of stellar structure, Volume II: Applications to Stars, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc., New York.
- Crawford, R.L., 2005, Microbial diversity and its relationship to planetary protection, *Appl. Environ. Microbiol.*, 71, 4163-4168.
- Cronin, J.R, Pizzarello, S., Cruikshank, D.P., 1988, Organic matter in carbonaceous chondrites, planetary satellites, asteroids and comets, *Meteorites and the early solar system*, Kerridge JF, Matthews MS (Eds.), The University of Arizona Press, Tucson, AZ, 819-857.
- Cronin, J.R., Chang, S., 1993, Organic matter in meteorites: molecular and isotopic analyses of the Murchison meteorite. The chemistry of life's origins, Greenberg JM (Eds.), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 209-258.
- Cronin, J. R., Pizzarello, S., 1997, Enantiomeric excesses in meteoritic amino acids, *Science*, 275, 951-955.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Crovisier, J., 1996, Observational constraints on the composition and nature of comet D/Shoemaker-Levy 9, *The Collision of Comet Shoemaker-Levy 9 and Jupiter*, K. Noll, H. Weaver and P. Feldman (eds.), Cambridge University Press, 31– 54.
- Crovisier, J., Leech, K., Bockelée-Morvan, D., Brooke, T.Y., Hanner, M.S., Altieri, B., Keller, H.U., Lellouch, E., 1997, The spectrum of comet Hale-Bopp (C/1995 01) observed with the infrared space observatory at 2.9 astronomical units from the Sun, *Science*, 275, 1904 -1907.
- Crovisier, J., 2004, The molecular complexity of comets, *Astrobiology; Future Perspectives*, P. Ehrenfreund et al., (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 179-203.
- Crowe, J. H., Hoekstra, F. A., and Crowe, L. M., 1992, Anhydrobiosis, *Annu. Rev. Physiol.*, 54, 579–599.
- Crowley, T. J., 1983, The geologic record of climatic change, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 21, 828-877.
- Cruikshank, D.P., and Apt, J., 1984, Methane on Triton-Physical state and distribution. *Icarus*, 58, 306–311.
- Cruikshank, D.P., Brown, R., Clark, R., 1987, Nitrogen on Triton. *Icarus*, 58, 293-305.
- Cruikshank, D.P., Brown, R.H., Calvin, W.M., 1998c, Ices on the satellites of Jupiter, Saturn, and Uranus, *Solar System Ices*, B. Schmitt C. deBergh, and M. Festou (Eds.), Kluwer Acad. Sci., Norwell, Mass., 579-606
- Cruikshank, D.P., Schmitt, B., Roush, T.L., 2000, Water ice on Triton, *Icarus*, 147, 309-316.
- Cuzzi, J.N., and Estrada, P.R., 1998, Compositional evolution of Saturn's rings due to micrometeoroid bombardment, *Icarus*, 132, 1-35.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dauphas, N., 2003, The dual origin of the terrestrial atmosphere, *Icarus*, 165, 326-339.
- Davies, J.K., Roush, T.L., Cruikshank, C.P., Bartholomew, M.J., Geballe, T.R., Owen, T., Bergh, CD., 1997, The detection of water ice in comet Hale-Bopp. *Icarus* 127, 238-245.
- Davis, I., Fulton, J.D., 1959, Microbiologic studies on ecologic considerations of the Martian environment, *Aeromed. Rev.*, 2–60.
- De la Torre, R., Sancho, L.G., Pintado, A., Rettberg, P., Rabbow, E., Panitz, C., Deutschmann, U., Reina, M., Hornek, G., 2007, BIOPAN experiment LICHENS on the Foton M2 mission pre-flight verification tests of the *Rhizocarpon geographicum* granite ecosystem, *Adv. Space Res.*, 40, 1665–1671.
- De la Torre, R., Horneck, G., Sancho, L.G., Pintado, A., Scherer, K., Facius, R., Deutschmann, M., Baglioni, P., Demets, R., 2004, Studies of LICHENS from high mountain regions in outer space: the BIOPAN experiment. *Proceedings of the III European Workshop on Exo-Astrobiology*, vol. 545, 193–194.
- de Ronde, C.E.J., Ebbesen, T.W., 1996, 3.2 billion years of organic compound formation near sea-floor hot springs, *Geology*, 24, 791-794.
- Delitsky, M.L., and Lane, A.L., 1998, Ice chemistry on the Galilean satellites, *J. Geophys. Res.*, 103, 31,391-31,403.
- Dello Russo, N.D., Mumma, M.J., DiSanti, M.A., Magee-Sauer, K., Novak, R., Rettig, T.W., 1998, Direct detection of water in comets C/1996 B2 Hyakutake and C/1995 01 Hale-Bopp. *DPS Meeting Nos 30*, 29.
- Delsemme, A., 1984, The cometary connection with prebiotic chemistry, *Origins Life* 14, 51-60.
- Delsemme, A. H., 2000, 1999 Kuiper Prize Lecture: Cometary origin of the biosphere. *Icarus*, 146, 313-325.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demets, R., Shulte, W., Baglioni, P., 2005, The past, present and future of BIOPAN, *Adv. Space Res.*, 36, 311–316.
- Despois, D., and H. Cottin, 2005, Comets: potential sources of prebiotic molecules for the early Earth, *Lectures in Astrobiology I*, chap. 8, M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin and J. Reisse (Eds.), Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- de Vera, J.P., Rettberg, P., Ott, S., 2008, Life at the limits: capacities of isolated and cultured lichen symbionts to resist extreme environmental stresses, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 38, 457–468.
- Diaz, B. and D. Schulze-Makuch., 2006, Microbial survival rates of *E. coli* and *D. radiodurans* under single and combined stresses of temperature, pressure, and UV radiation, and its relevance to Martian environmental conditions, *Astrobiology*, 6, 332–347.
- Dickens, J., et al., 2000, Study of the Physics and Chemistry of L134N, *The Astrophysical Journal*, 542, 870.
- Dimmick, R.L., Wolochow, H., and Chatigny, M.A., 1979, Evidence for more than one division of bacteria within airborne particles, *Appl. Environ. Microbiol.*, 38, 642-643.
- Dose, K., Biegerdose, A., Dillmann, R., Gill, M., Kerz, O., Klein, A., Meinert, H., Nawroth, T., Risi, S., Stridde, C., 1995, ERA-experiment space biochemistry. *Adv. Space Res.*, 16, 119–129.
- Douté, S., Schmitt, B., Lopes-Gautier, R., and Galileo NIMS Team, 2001, Mapping SO₂ frost on Io by modeling of NIMS hyperspectral images, *Icarus*, 149, 107-132.
- Dublin, M., Volz, P.A., 1973, Space-related research in mycology concurrent with first decade of manned space exploration, *Space Life Sci.* 7 4, 223–230.
- Duckworth, A., Grant, W., Jones, B. and van Steenberg, R., 1996, Phylogenetic diversity of soda lake alkaliphiles, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 19, 181–191.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dumas, C., Terrile, R.J., Brown, R.H., 2001, Hubble space telescope NICMOS spectroscopy of Charon's leading and trailing hemispheres, *Astron. J.*, 121, 1163-1170.
- Dunlop, J.S.R., Muir, M.D., Milne, V.A., Groves, D.I., 1978, A new microfossil assemblage from the archaean of Western Australia, *Nature*, 274, 676-678.
- Duquennoy, A., Mayor, M., 1991, Multiplicity among solar-type stars in the solar neighborhood. II. Distribution of the orbital elements in an unbiased sample, *Astron. Astrophys.* 248, 485-524.
- Dutrey, A., Guilloteau, S., Guelin, M., 2000, Observations of the chemistry in Circumstellar Disks, *Astrochemistry: From Molecular Clouds to Planetary Systems*, Astronomical Society of the Pacific, Sogwipo, 415–423.
- Edwards, K. J., Bond, P. L., Gihring, T. M., and Banfield, J. F., 2000, An Archaeal iron-oxidizing extreme acidophile important in acid mine drainage, *Science*, 287, 1796–1799.
- Ehrenfreund, P., Charnley, S.B., 2000, Organic molecules in the interstellar medium, comets, and meteorites: A Voyage from dark clouds to the Early Earth, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 38, 427–483.
- Ehrenfreund, P., Glavin, D.P., Botta, O., Cooper, G., Bada, J.L., 2001, Extraterrestrial amino acids in Orgueil and Ivuna: tracing the parent body of CI type carbonaceous chondrites, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 98, 2138–214.
- Ehrenfreund, P., Irvine, W.M., Becker, L., Blank, J., Brucato, J.R., et al., 2002, Astrophysical and astrochemical insights into the origin of life, *Rep. Prog. Phys.* 65, 1427–1487.
- Ellison, S.L., Songaila, A., Schaye, J. & Pettini, M. 2000, The Enrichment history of the intergalactic medium-measuring the C IV/H I Ratio in the Ly α Forest, *The Astrophysical Journal*, 120, 1175-1191.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Facius, R., Bucker, H., Hildebrand, D., Horneck, G., Holtz, G., Reitz, G., Schafer, M., 1978, Radiobiological results from the *Bacillus subtilis* Biostack experiments within the Apollo and the ASTP space flights, *Life Sci. Space Res.*, 16, 151-156.
- Facius, R., Bucker, H., Horneck, G., Reitz, G., 1979, Dosimetric and biological results from the *Bacillus subtilis* Biostack experiment with the Apollo-Soyuz test Project, *Life Sci. Space Res.*, 17, 23-28.
- Fajardo-Cavazos, P., Link, L., Melosh, H.J., Nicholson, W.L., 2005a, *Bacillus subtilis* spores on artificial meteorites survive hypervelocity atmospheric entry: implications for lithopanspermia, *Astrobiology*, 5, 726-736.
- Farlow, W. G., 1880, On the nature of the peculiar reddening of salted codfish during the summer season, U.S. Commission of Fish and Fisheries, 969-974.
- Fedo, C.M., Whitehouse, M.J., 2002, Metasomatic origin of quartz-pyroxene rock, Akilia, Greenland, and implications for Earth's earliest life, *Science*, 296, 1448-1452.
- Fernandez-Remolar, D., Rodriguez, N. and Gomez, F., 2003, Geological record of an acidic environment driven by iron hydrochemistry: The Tinto River system. *J. Geophys. Res.*, 108, 5080 p.
- Ferrara, A., 2003, *Astrophysics and Space Science*, 284, 415 p.
- Fink, U., and Sill, G.T., 1983, The infrared spectral properties of frozen volatiles, *Comets*, L.L. Wilkening (Eds.), Univ. of Ariz. Press, Tucson, 164-202.
- Fink, U., Smith, B.A., Benner, D.C., Johnson, J.R., and Reitsema, H.J., 1980, Detection of a CH₄ atmosphere on Pluto, *Icarus*, 44, 62-71.
- Finocchi, F., Gail, H.P., 1997, Chemical reactions in protoplanetary accretion disks. III. The role of ionisation processes, *Astronomy and Astrophysics*, 327, 825-844.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fischer, D.A., Valenti, J., Marcy, G., 2004, Stars as Suns: Activity, evolution and planets, A.K. Dupree, A.O. Benz (Eds.), Dordrecht, Kluwer, 1–12.
- Fish, S. A., Shepherd, T. J., McGenity, T. J. and Grant, W. D., 2002, Recovery of 16S ribosomal RNA gene fragments from ancient halite, *Nature*, 417, 432–436.
- Florensky, C.P., Volkov, V.P., and Nikolaeva, O.V., 1978, A Geochemical model of the Venus Troposphere, *Icarus*, 33, 537–553.
- Formisano, V., Atreya, S., Encrenaz, T., Ignatiev, N., Giuranna, M., 2004, Detection of methane in the atmosphere of Mars, *Science*, 306, 1758–1761.
- Forterre, P., 1996a, A la recherche de LUCA, *Compte rendu du colloque de la fondation des Treilles*, <http://www-archbac.u-psud.fr/Meetings/LesTreilles/Treillesfrm.html>
- Forterre, P., Confalonieri, F., Charbonnier, F., Duguet, M., 1995, Speculations on the origins of life and thermophily: review of available information on reverse gyrase suggests that hyperthermophilic procaryotes are not so primitive, *Origins Life Evol. Biosphere*, 25, 235- 249.
- Fortes, A.D., 2000, Exobiological Implications of a possible ammonia-water ocean inside Titan, *Icarus*, 146, 444–452.
- Friedmann, E.I., Koriem, A.M., 1989, Life on Mars: how it disappeared (if it was ever there), *Adv. Space Res.*, 9, 167–172.
- Friedmann, E.I. and H.J. Sun., 2005, Communities adjust their temperature optima by shifting producer-to-consumer ratio, shown in lichens as models: 1. Hypothesis, *Microb. Ecol.*, 49, 523–527.
- Fuhrmann, K., 2000, Abundances and Kinematics of Field Halo and Disk Stars. I. Observational Data and Abundance Analysis, *The Astronomical Journal*, 4, 1841-1852.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fulton, J.D., 1958, Survival of terrestrial microorganisms under simulated Martian conditions, *Physics and Medicine of the Atmosphere and Space*, Benson, O.O., Strughold, H. (Eds.), Wiley and Sons, 606–613.
- Fuzzi, S., 2002, Organic component of aerosols and clouds, EUROTRAC-2 Symposium 2002: Transformation and Chemical Transformation in the Troposphere, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
- Gaffey, M.J., Burbine, T.H., Binzel, R.P., 1993, Asteroid spectroscopy: Progress and perspectives, *Meteoritics*, 2, 161-187.
- Gaidos, E.J., Nealson, K.H. and Kirschvink, J.L., 1999, Life in ice-covered oceans, *Science*, 284, 1631-1633.
- Galli, D., Shu, F.H., 1993a, Collapse of Magnetized Molecular Cloud Cores. I. Semianalytical Solution, *The Astrophysical Journal*, 417, 220 p.
- García-Pichel, F., Mechling, M., Castenholz, R., 1994, Diel migrations of microorganisms within a benthic, hypersaline mat community, *Appl. Environ. Microbiol.* 60, 1500-1511.
- Gislén, T., 1948, Aerial plankton and its condition of life, *Biol. Rev.*, 23, 109–126.
- Glavin, D. P., Bada, J. L., Brinton, K. L. F., McDonald, G. D., 1999. Amino acids in the Martian meteorite Nakhla. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 8835-8838.
- Gold, T., 1992, The deep, hot biosphere, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 89, 6045–6049.
- Goldsmith, P.F., Langer, W.D., 1978, Molecular cooling and thermal balance of dense interstellar clouds, *The Astrophysical Journal*, 222, 881–895.
- Gonzalez, G., 2005, Habitable zones in the Universe, *Origins Life Evol. Biospheres*, 33, 555-606.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gonzalez, G., Brownlee, D., Ward, P., 2001, The galactic habitable zone: galactic chemical evolution, *Icarus*, 152, 185–200.
- Grant, W. D., Gemmill, R. T. and McGenity, T. J., 1998, Halobacteria: the evidence for longevity, *Extremophiles*, 2, 279–287.
- Grant, W.D., 2004, Life at lower water activity, *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond. Biol.*, 359, 1249-1267.
- Green, R.H., Taylor, D.M., Gustan, E.A., Fraser, S.J., Olson, R.L., 1971, Survival of microorganisms in a simulated Martian environment, *Space Life Sci.*, 3, 12–24.
- Gribaldo, S. and Forterre, P., 2005, Looking for the most ‘primitive’ life forms: Pitfalls and progresses, *Lectures in Astrobiology*, Vol I, M. Gargaud et al., (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 595-615.
- Gribbin, J., Gribbin, M., 1996, *Companion to the cosmos*, The Orion Publishing House, London.
- Grigoryev, Y.G., Benevolensky, V.P., Druzhinin, Y.P., Shidarov, Y.I., Korogodin, V.I., Nevzgodina, K.L.V., Miller, A.T., Tsarapkin, L.S., 1972, Influence of Cosmos 368 space flight conditions on radiation effects in yeasts, hydrogen bacteria and seeds of lettuce and pea, *Life Sci. Space Res.*, 10, 113–118.
- Grißmeier, J.M., Stadelmann, A., Motchmann, U., et al., 2005, Cosmic ray impact on extrasolar earth-like planets in close-in habitable zones, *Astrobiology*, 5, 587-602.
- Griffith, C.A., Owen, T., Miller, G.A., and Geballe, T., 1998, Transient clouds in Titan’s lower atmosphere, *Nature*, 395, 575–578.
- Grotzinger, J.P., Kasting, J.F., 1993, New constraints on Precambrian ocean composition. *J. Geol.*, 101, 235-243.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Grundy, W.M. and Buie, M.W., 2001, Distribution and evolution of CH₄, N₂, and CO ices on Pluto's surface: 1995 to 1998, *Icarus*, 153, 248-263.
- Grundy, W. M., Young, L. A., Spencer, J. R., et al., 2006, Distributions of H₂O and CO₂ ices on Ariel, Umbriel, Titania and Oberon from UIRTF/Spex observations, *Icarus* 184, 543-555.
- Gudipati, M.S., Dworkin, J.P., Chillier, X.D.F., 2003, Luminescence from vacuum-ultraviolet-irradiated cosmic ice analogs and residues, *Astrophys. J.*, 583, 514-523.
- Haberle, M., 1998, Early Mars climate models, *J. Geophys. Res.*, 103, 28467-28480.
- Hagen, C.A., Hawrylew, E.j., Ehrlich, R., 1967, Survival of microorganisms in a simulated Martian environment. II Moisture and oxygen requirements for germination of *Bacillus cereus* and *Bacillus subtilis* var niger spores, *Appl. Microbiol.*, 15, 285–291.
- Hagen, C.A., Hawrylewicz, E., Andersen, B.T., Cephus, M.L., 1970, Effect of ultraviolet on the survival of bacteria airborne in simulated Martian dust clouds, *Life Sci. Space Res.*, 8, 53–58.
- Haiman, Z., Thoul, A.A. and Loeb, A., 1996, Cosmological Formation of Low-Mass Objects, *The Astrophysical Journal*, 464, 523 p.
- Haldane, J.B.S., 1929, The origin of life, *Origins of life: the central concepts*, D.W., Deamer, G.R. Fleischaker (Eds.), Boston, MA, 73-81.
- Hansen, A., 2007, Mars simulations-past studies on the biological response to simulated Martian conditions, *ROME: Response of Organisms to the Martian Environment*, C. Cockell, G. Horneck, (Eds.), ESA communications, 1–18.
- Hanslmeier, A., 2009, Habitable zones, Habitability and Cosmic Catastrophes, *Advances in Astrobiology and Biogeophysics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1-28.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hart, M.H., 1975, A Possible atmosphere for Pluto, *Icarus*, vol. 21, 242–247.
- Hawrylewicz, E., Hagen, C.A., Tolkacz, V., Anderson, B.T., Ewing, M., 1968, Probability of growth (pG) of viable microorganisms in Martian environments, *Adv. Sci. Space Res.*, 6, 146–156.
- Hayes, M., Kaplan, R., Wedeking K., 1983, Precambrian organic chemistry, preservation of the record, Earth's earliest biosphere, J. Schopf (eds.), Princeton Univ. Press. 93-134.
- Heger, A. and Woosley, S.E., 2002, The Nucleosynthetic signature of Population III, *The Astrophysical Journal*, 567, 532.
- Heger, A., Woosley, S.E., BaraVe, I. and Abel, T., 2002, Conf. on Luminous celestial objects, proceedings of MPA/ESO, 369 p.
- Henley, R. W., 1996, Chemical and physical context for life in terrestrial hydrothermal systems: chemical reactors for the early development of life and hydrothermal ecosystems, *Ciba Found. Symp.*, 202, 61–76.
- Herbert, F. and Sandel, B.R., 1991, CH₄ and haze in Triton's lower atmosphere, *J. Geoph. Res.*, 96, 19,241–19,252.
- Herbst, E., 1995, Chemistry in the interstellar medium, *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 46, 27–53.
- Herlihy, L.J., Galloway, J.N. and Mills. A.L., 1987, Bacterial utilization of formic and acetic acid in rainwater, *Atmos. Environ.*, 21, 2397–2402.
- Hibbitts, C.A., McCord, T.B., and Hansen, G.B., 2000, Distributions of CO₂ and SO₂ on the surface of Callisto, *J. Geophys. Res.* 105, 22541-22557.
- Hibbitts, C. A., Pappalardo, R. T., Hansen, G. B., 2003, Carbon dioxide on Ganymede, *J. Geophys. Res.* 108 (E5), 2-1 to 2-22 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hoffman, P.F., A.J. Kaufman, G.P. Halverson, P. Galen and D.P. Schrag., 1998, A neoproterozoic snowball Earth, *Science*, 281, 1342–1346.
- Holland, H. D., 1984, *The chemical evolution of the atmosphere and oceans*, Princeton Univ. Press, Princeton.
- Hollenbach, D., Salpeter, E.E., 1971, Surface recombination of hydrogen molecules, *The Astrophysical Journal*, 163, 155–164.
- Hollis, J.M., Lovas, F.J., and Jewell, P.R., 2000, Interstellar glycoaldehyde: The first sugar, *Astrophys. J.* 540, L107–L110.
- Horneck, G., Eschweiler, U., Reitz, G., Wehner, J., Willimek, R., Strauch, K., 1995, Biological responses to space-results of the experiment “Exobiological Unit” of ERA on EURECA I, *Adv. Space Sci.*, 16, 105–118.
- Horneck, G., Rettberg, P., Rabbow, E., Strauch, W., Seckmeyer, G., Facius, R., Reitz, G., Strauch, K., 1996, Biological dosimetry of solar radiation for different simulated ozone column thicknesses, *J. Photochem. Photobiol.*, 32, 189–196.
- Horneck, G., Rettberg, P., Reitz, G., Wehner, J., Eschweiler, U., Strauch, K., Starke, V., Baumstark-Khan, C., 2001a, Protection of bacterial spores in space, contribution to the discussion on Panspermia, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 31, 527-547.
- Horneck, G., Rettberg, P., 2007, *Complete Course in Astrobiology*, Wiley-VCH, Verlag, Weinheim, 155- 295.
- Horneck, G., Stoffler, D., Ott, S., Hornemann, U., Cockell, C.S., Moeller, R., Meyer, C., de Vera, J.P., Fritz, J., Schade, S., Artemieva, N.A., 2008, Microbial rock inhabitants survive hypervelocity impacts on Mars-like host planets: first phase of lithopanspermia experimentally tested, *Astrobiology*, 8, 17–44.
- Hose, L.D., A Palmer, N., Palmer, M.V., Northup, D.E., Boston, P.J., et al., 2000, Microbiology and geochemistry in a hydrogen-sulphide-rich karst environment, *Chem. Geol.* 169, 399–423.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hotchin, J., 1968, The microbiology of space, J. Br. Interplanet. Soc., 1, 22–130.
- Huber, C. and G.Wächtershäuser., 1998, Peptides by activation of amino acids with CO on (NiFe)S surfaces, Science, 281, 670–672.
- Imshenetskii, A.A., Murzakov, B.G., Evdokimova, M.D., Dorofeeva, I.K., 1984, Growth of soil bacteria in presence of Martian soil analogs, carbon-dioxide, and hydrogenperoxide, Microbiology, 53, 491–493.
- Irwin, P., 2003, Giant Planets of Our Solar System, Springer-PRAXIS. in terrestrial materials: Implications for extraterrestrial samples, J. Geophys. Res. Planets., 105, 24,511- 24,527.
- Johnson, H.P., 2003, Probing for life in the ocean crust with the LEXEN program EOS Trans, A.G.U., 84, 109 - 112.
- Jolivet, E., Corre, E., L'Haridon, S., Forterre, P. and Prieur, D., 2004, *Thermococcus marinus* sp. nov. and *Thermococcus radiotolerans* sp. nov., two hyperthermophilic archaea from deep-sea hydrothermal vents that resist ionizing radiation, Extremophiles, 8, 219–227.
- Jones, T.D., Lebofsky, L.A., Lewis, J.S., and Marley, M.S., 1990, The composition and origin of the C, P, and D asteroids: Water as a tracer of thermal evolution of the outer Solar System, Icarus, 88, 172-192.
- Jungclauss, G., Yuen, G.U., Moore, C.B., and Lawless, J.G., 1976b, Evidence for the presence of low molecular weight alcohols and carbonyl compounds in the Murchison Meteorite, Meteoritics, 11, 231–237.
- Junge, K., H. Eicken, B.D. Swanson, and J.W. Deming., 2006, Bacterial incorporation of leucine into protein down to –20°C with evidence for potential activity in subeutectic saline ice formations, Cryobiology, 52, 417–429.
- Kant, I., 1755, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels. Johann Friederich Petersen, Königsberg und Leipzig. English translation: W. Hastie,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

‘‘Universal Natural History and Theories of the Heavens’’, Kant’s Cosmology, Greenwood Publishing, New York 1968.

Kashefi, K. and Lovley, D. R., 2003, Extending the upper temperature limit for life, *Science*, 301, 934 p.

Kasting, J., Ackerman, T.P., 1986, Climatic consequences of very high carbon dioxide levels in the Earth’s early atmosphere, *Science*, 234, 1383-1385.

Kasting, J.F., Pollack, J.B., Ackerman, T.P., 1984, Response of Earth’s atmosphere to increases in solar flux and implications for loss of water from Venus, *Icarus*, 57, 335-355.

Kasting, J.F., Whitmire, D.P., Reynolds, R.T., 1993, Habitable zones around main sequence stars, *Icarus*, 101, 108-28.

Kastner, J.H., Zuckerman, B., Weintraub, D.A., Forveille, T., 1997, X-ray and molecular emission from the nearest region of recent star formation, *Science*, 277, 67–71.

Kato, C., Li, L., Nogi, Y., Nakamura, Y., Tamaoka, J., et al., 1998, Extremely barophilic bacteria isolated from the Mariana Trench, Challenger Deep, at a depth of 11,000 meters, *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 1510–1513.

Kempe, S. Degens, E.T., 1985, An early soda ocean? *Chem. Geol.*, 5, 95-108.

Kennedy, M.J., Volz, P.A., 1983, The effect of space-flight irradiation on *Saccharomyces cerevisiae* growth and respiration, *FEMS Microbiol. Lett.*, 19, 125–128.

Khare, B.N., Sagan, C., Arakawa, E.T., Suits, F., Callott T.A., and Williams, M.W., 1984, Optical constants of organic tholins produced in a simulated Titanian atmosphere: From Soft X-Rays to Microwave Frequencies, *Icarus*, 60, 127–137.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Khare, B. N., Thompson, W. R., Cheng, L., Chyba, C., Sagan, C., Arakawa, E. T., Meisse, C., and Tuminello, P., 1993, Production and optical constants of ice tholin from charged particle irradiation of (1:6) C₂H₆/H₂O at 77K, *Icarus*, 103, 290-300.
- Kirschvink, J., Gaidos, E., Bertani, L., Beukes, N., Gutzmer, J., 2000, Paleoproterozoic snowball Earth; extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 97, 1400-1405.
- Kis-Papo, T., Oren, A., Wasser S.P. and Nevo, E., 2003, Survival of filamentous fungi in hypersaline Dead Sea water, *Microb. Ecol.*, 45, 183-190.
- Kissel, J., Krueger, F.R., 1987, The organic component in dust from comet Halley as measured by the PUMA mass spectrometer on board Vega 1, *Nature*, 326, 755-760.
- Knauth, L. P. and Lowe, D. R., 1978, Oxygen isotope geochemistry of cherts from the Onverwacht Group (3.4 billion years), Transvaal Group, South Africa, with implications for secular variations in the isotopic composition of cherts, *J. Geol.*, 41, 209-222.
- Knauth, L.P., Lowe, D.R., 2003, High Archean climatic temperature inferred from oxygen isotope geochemistry of cherts in the 3.5 Ga Swaziland Supergroup, South Africa. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 115, 566-580.
- Kobayashi, K., Kasamatsu, T., Kaneko, T., Koike, J., Oshima, T., Saito, T., Yamamoto, T., Yanagawa, H., 1995, Formation of amino acid precursors in cometary ice environments by cosmic radiation, *Advances in Space Research*, 16, 21-26.
- Kochkina, G. A., Ivanushkina, N. E., Karasev, S. G., Gavrish, E., Gurina, L. V., Evtushenko, L. I., Spirina, E. V., Vorobéva, E. A., Gilichinskii, D. A. and Ozerskaia, S. M., 2001, Micromycetes and actinobacteria under conditions of many years of natural cryopreservation, *Mikrobiologiya*, 70, 412-420.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Koike, J., Hori, T., Katahira, Y., Koike, K.A., Tanaka, K., Kobayashi, K., Kawasaki, Y., 1996, Fundamental studies concerning planetary quarantine in space. *Adv. Space Res.* 18, 339–344.
- Korablev, O.I., Ackerman, M., Krasnopolsky, V.A., Moroz, V.I., Muller, C., Rodin, A.V., and Atreya, S.K., 1993, Tentative identification of formaldehyde in the Martian atmosphere, *Planet, Space Sci.*, 41, 441–451.
- Kossacki, K.J., and Lorenz, R.D., 1996, Hiding Titan's ocean: Densification and hydrocarbon storage in an icy regolith, *Planet. Space Sci.*, 44, 1029–1037.
- Kouchi, A., Kudo, T., Nakano, H., Arakawa, M., Watanabe, N., Sirono, S., Higa, M., and Maeno, N., 2002, Rapid growth of asteroids owing to very sticky interstellar organic grains, *The Astrophysical Journal Lett.*, 566, L121-L124.
- Köhler, M., Mann, I., and Li, A., 2008, Complex organic materials in the HR 4796A Disk?, *The Astrophysical Journal Letters*, 686, 2 p.
- Krasnopolsky, V.A. and Parshev, V.A., 1979, On the chemical composition of the troposphere and cloud layer of Venus based on the Venera 11 and 12 and Pioneer Venus measurements, *Cosmic. Res.*, 17, 763–770.
- Krasnopolsky, V.A., and Cruikshank, D.P., 1995, Photochemistry of Triton's atmosphere and ionosphere, *J. Geoph. Res.*, 100, 21271–21286.
- Krasnopolsky, V.A., and Cruikshank, D.P., 1999, Photochemistry of Pluto's atmosphere and ionosphere near perihelion, *J. Geoph. Res.* 104, 21979–21996.
- Krasnopolsky, V.A., and Pollack, J.B., 1994, H₂-H₂SO₄ Systems in Venus' clouds and OCS, CO and H₂SO₄ profiles in Venus' Troposphere, *Icarus*, 109, 58–78.
- Krasnopolsky, V.A., Bjoraker, G.L., Mumma, M.J., and Jennings, D.E., 1997, High-Resolution Spectroscopy of Mars at 3.7 and 8 mm: a sensitive search for H₂O, H₂CO, HCl, and CH₄, and detection of HDO., *J. Geoph. Res.*, 102, 6526–6534.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuan, Y.J., Charnley, S.B., Huang, H-C., Tseng, W.L., Kisiel, Z., 2003a, Interstellar glycine, *The Astrophysical Journal*, 593, 848 p.
- Kurr, M., Huber, R., König, H., Jannasch, H.W., Fricke, H., Trincone, A., Krstjansson, J.K. and Stetter, K.O., 1991, *Methanopyrus kandleri*, gen. and sp. nov. represents a novel group of hyperthermophilic methanogens, growing at 110°C. *Arch. Microbiol.*, 156, 239-247.
- Kvenvolden, K., Lawless, J., Pering, K., Peterson, E., Flores, J., Ponnampereuma, C., Kaplan, I. R., Moore, C., 1970, Evidence for extraterrestrial aminoacids and hydrocarbons in the Murchison Meteorite, *Nature*, 228, 923-926.
- Kyte, F.T., Shukolyukov, A., Lugmaor, G.W., Lowe, D.R., Byerly, G.R., 2003, Early Archean spherule beds: Chromium isotopes confirm origin through multiple impacts of projectiles of carbonaceous chondrite type, *Geology*, 31, 283-286.
- Lane, A.L., Nelson, R.M., and Matson D., 1981, Evidence for sulphur implantation in Europa's UV absorption band, *Nature*, 292, 38-39.
- Lanoil, B. D., Sassen, R., La Duc, M. T., Sweet, S. T. and Neelson, K. H., 2001, Bacteria and archaea physically associated with gulf of Mexico gas hydrates, *Appl. Environ. Microbiol.*, 67, 5143-5153.
- Laplace, P.S., 1796, *Exposition du Systeme`me du Monde*, Circle-Sociale, Paris. English translation, Pond, J., *The System of the World*, 1809, Richard Phillips, London.
- Larson, H.P., Weaver, H.A., Mumma, M.J., Drapatz, S., 1989, Airborne infrared spectroscopy of comet Wilson (1986/1) and comparisons with comet Halley, *Astrophysical Journal* 338, 1106-1114.
- Lebreton, J.P., Witasse,O., Sollazzo,C., et al., 2005, Huygens descent and landing on Titan: Mission overview and science highlights, *Nature*, 438, 758 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lellouch, E., 1996, Chemistry induced by the impacts: Observations, The collision of Comet Shoemaker-Levy 9 and Jupiter, K.S. Noll, H.A. Weaver and P.D. Feldman (Eds.), Cambridge University Press, 213–242.
- Lin, D.N.C., Bodenheimer, P., Richardson, D.C., 1996, Orbital migration of the planetary companion of 51 Pegasi to its present location, *Nature*, 380, 606-607.
- Lin, D.N., Papaloizou J., Terquem, C., Bryden, G. and Ida, S., 2000, Protostars and Planets IV, V. Mannings, A.P. Boss and S.S. Russell (Eds.), Tucson, University of Arizona Press, 1111 p.
- Lineweaver, C.H., Fenner, Y., Gibson, B.K., 2004, The Galactic Habitable Zone and the age distribution of complex life in the Milky Way, *Science*, 303, 59–62.
- Lissauer, J.J., 1993, Planet formation, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 31, 129 p.
- Liu, Y.C., Whitman, W.B., 2008, Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1125, 171–189.
- Llorca, J., 2004, Organic molecules in meteorites, *Int. Microbiol.*, 7, 239-248.
- Lopez-Garcia, P., Extremophiles, Lectures in Astrobiology Vol. I, M. Gargaud et al. (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 657-679.
- Lopez-Archilla, A., Marin, I. and Amils, R., 2001, Microbial community composition and ecology of an acidic aquatic environment: the Tinto river, Spain, *Microb. Ecol.* 41, 20-35.
- Lorenz, P.R., Orlob, G.B., Hemenway, C.L., 1969, Survival of micro-organisms in Space, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 1, 491–500.
- Lorenz, R.D., Lunine, J.I., Withers, P.G., and McKay, C.P., 1997, Photochemically driven collapse of Titan's atmosphere, *Science*, 275, 642–644.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Loveday, J.S., Nelmes, R.J., Guthrie, M., Belmonte, S.A., Allan, D.R., Klug, D.D., Tse, J.S., and Handa, Y.P., 2001, Stable methane hydrate above 2 GPa and the source of Titan's atmospheric methane, *Nature*, 410, 661–663.
- Lovelock, J.E., 1965, A physical basis for life detection experiments, *Nature*, 207, 568-570.
- Lowe, D. R., 1994. Abiological origin of described stromatolites older than 3.2 Ga. *Geology*, 22, 287-390.
- Lowe, D.R., 1983, Restricted shallow water sedimentation of zearly Archean stromatolitic and evaporitic strata of the Strelley Pool Chert, Pilbara Block, Western Australi, *Precambrian Res.*, 19, 239-283.
- Lowe, D.R., Byerly, G.R., 1986, Early Archean silicate spherules of probable impact origin, South Africa and Western Australia, *Geology*, 14, 83-86.
- Lucas, R., Liszt, H. S., 2002, Comparative chemistry of diffuse clouds, *Astronomy and Astrophysics*, 384, 1054 p.
- Lunine, J.I., 1993, Does Titan have an ocean? A review of current understanding of Titan's surface, *Rev. Geophys.*, 31, 133 p.
- Lunine, J.I., Engel S., Rizk B., Horanyi M., 1991, Sublimation and reformation of icy grains in the primitive solar nebula, *Icarus*, 94, 333–344.
- Lyo, A. R., Lawson, W. A., Mamajek, E. E., Feigelson, E. D., Sung, E., and Crause, L. A., 2003, Infrared study of the ? Chamaeleontis cluster and the longevity of circumstellar discs, *MNRAS*, 338,616-622.
- MacLow, M. M., Klessen, R.S., 2003, Control of star formation by supersonic turbulence, *Rev. Mod. Phys.*, *Reviews of Modern Physics*, vol. 76, Issue 1, 125-194.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Madau, P., Ferrara, A. and Rees, M.J., 2001, Early Metal enrichment of the intergalactic medium by pregalactic outflows, *The Astrophysical Journal*, 555, 92 p.
- Madigan, M. T. ve Martinko, J.M., 2010, Moleküler Oksijen: Şerit halindeki demir oluşumları, *Brock Mikroorganizmaların Biyolojisi*, Palme Yayıncılık, s. 305.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. and Parker, J., 2002, *Brock Biology of Microorganisms*, 10th edn. New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- Maguire, W., 1977, Martian isotopic ratios and upper limits for possible minor constituents as derived from Mariner 9 infrared spectrometer data, *Icarus*, 32, 85-97.
- Maher, K.A., Stevenson, D., 1988, Impact frustration of the origin of life, *Nature*, 331, 612-614.
- Maier, J.P., Lakin, N.M., Walker, G.A.H., Bohlender, D.A., 2001, Detection of C₃ in Diffuse Interstellar Clouds, *The Astrophysical Journal*, 553, 267 p.
- Makino, J., Fukushige, T., Funato, Y., and Kokubo, E., 1998, On the mass distribution of planetesimals in the early runaway stage, *New Astronomy*, 3, 411-416.
- Malin, M.C. and Edgett, K.S., 2000, Evidence for recent groundwater seepage and surface RunoV on Mars, *Science*, 288, 2330–2335.
- Mal'tsev, V.N., Saadavi, A., Aiad, A., El'gauri, O., Shlip, M., 1996, Microecology of nuclear reactor pool water, *Radiats Biol Radioecol*, 36,52-57.
- Mancinelli, R.L., White, M.R., Rothschild, L.J., 1998, Biopan-survival I: exposure of the osmophiles *Synechococcus sp.* (Nageli) and *Haloarcela sp.* to the space environment, *Adv. Space Res.*, 22, 327–334.
- Mancinelli, R.L., Klovstad, M., 2000, Martian soil and UV radiation: microbial viability assessment on spacecraft surfaces. *Planet, Space Sci.*, 48, 1093–1097.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mannings, V., Boss, A.P., and Russell, S.S. (eds.), 2000, *Protostars and Planets IV* Tucson, University of Arizona Press.
- Marcy, G.W., Butler, R.P., 1996, A Planetary companion to 70 Virginis, *Astrophys. J.*, 464, L147-151.
- Marion, G. and Schulze-Makuch, D., 2006, Astrobiology and the search for life in the universe, *Physiology and Biochemistry of Extremophiles*, C. Gerday and N. Glansdorff (Eds.), Ch. 26. ASM Press., 351–358.
- Marion, G.M., Fritsen, C.H., Eicken, H., et al., 2003, The search for life on Europa: Limiting environmental factors, potential habitats, and Earth analogues, *Astrobiology*, 3, 785–811.
- Markwick, A. and Charnley, S., 2004, *Astrobiology: Future Perspectives*, Ehrenfreund, et al. (eds), ISSI Workshop, Bern, 33-67.
- Martins, R. F., Davids, W., Al-Sond, W. A., et al., 2001, Starch-hydrolyzing bacteria from Ethiopian soda lakes, *Extremophiles*, 5, 135–144.
- Mason, O.U., Nakagawa, T., Rosner, M., Van Nostrand, J.D., Zhou, J., Maruyama, A., Fisk, M.R., Giovannoni, S.J., 2010, First investigation of the microbiology of the deepest layer of ocean crust, *PLoS ONE* 5, 11, e15399.
- Mastrapa, R.M.E., Glanzberg, H., Head, J.N., Melosh, H.J., Nicholson, W.L., 2001, Survival of bacteria exposed to extreme acceleration: implications for panspermia, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 189, 1–8.
- Matteucci, F., 1991, *Chemistry in Space*, J. M. Greenberg and V. Pirronello (eds.), Kluwer Academic Publishers, 1–41.
- Maurette, M. 2006, *Micrometeorites and the Mysteries of our Origins*, Springer-Verlag.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maurette, M., 1998, Carbonaceous micrometeorites and the origin of life, origins of life and evolution of the biosphere, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 28, 385-412.
- McDonald, G.D., Thompson, W.R., Heinrich, M., Khare, B.N. and Sagan, C., 1994, Chemical investigation of Titan and Triton Tholins, *Icarus*, 108, 137-145.
- McDonald, G.D. and Bada, J.L., 1995, A Search for Endogenous Amino Acids in the Martian Meteorite EETA79001, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 1179–1184.
- McKay, C. P. and Friedmann, E., 1988, The cryptoendolithic microbial environment in the Antarctic cold desert: temperature variations in nature, *Polar Biol.*, 4, 19–25.
- McKay, C.P., Pollack, J.B., Lunine, J.I., and Courtin, R., 1993, Coupled Atmosphere-Ocean Models of Titan's Past, *Icarus*, 102, 88–98.
- McKay, C.P., Stoker, C.R., 1989, The early environment and its evolution on Mars: implications for life, *Rev. Geophys.*, 27, 189–214.
- McKinnon, W. and Kirk, R.L., 1999, Triton, P.R. Weissman and T.V. Johnson, (Eds.) *Encyclopedia of the Solar System*, Academic Press, New York, 405-434.
- McLennan, S. M., Bell, J. F., Calvin, W. M., et al., 2005, Provenance and diagenesis of the evaporite-bearing Burns formation, Meridiani Planum, Mars. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 240, 95121.
- Meierhenrich, U.J., Caro, G.M.M., Bredehöft, J.H., Thiemann, E.K., et al, 2004, Identification of diamino acids in the Murchison meteorite, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 9182–9186.
- Melim, L.A., Shinglman, K.M., Boston, P.J., Northup, D.E., Spilde, M.N., et al., 2001, Evidence for microbial involvement in pool finger precipitation, Hidden Cave, New Mexico., *Geomicrobiol. J.*, 18, 311–329.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Miley, G.K., Overzier, R.A., Tsvetanov, Z.I., Bouwers, R.J., Benítez, N., et al., 2004, A large population of 'Lyman-break' galaxies in a protocluster at redshift $z \sim 4.1$, *Nature*, 427, 47 p.
- Millar, T.J., 2004, Organic molecules in the interstellar medium, *Astrobiology: Future Perspectives*, Ehrenfreund, et al., (eds.), Kluwer Academic Publishers, 17-31.
- Millar, T.J., Herbst, E., Bettens, R.P.A., 2000, Large molecules in the envelope surrounding IRC+10216, *MNRAS*, 316, 195 p.
- Millar, T.J., Macdonald, G.H., Gibb, A.G., 1997, 330-360GHz spectral lines of G 34.3+0.15. II. *Astronomy and Astrophysics*, 325, 1163 p.
- Miller, S., 1953, A production of amino acids under possible primitive Earth conditions, *Science*, 117, 528–529.
- Moll, D.M., Vestal, J.R., 1992, Survival of microorganisms in smectite clays-implications for Martian exobiology, *Icarus*, 98, 233–239.
- Morbidelli, A., Chambers, J., Lunine, J. I., Petit, J. M., Robert, F., Valsecchi, G. B., and Cyr, K. E., 2000, Source regions and time scales for the delivery of water to Earth, *Meteoritics and Planetary Science*, 35, 1309-1320.
- Morbidelli, A. and Petit, J., 2001, The Primordial excitation and clearing of the Asteroid Belt, *Icarus*, 153, 338–347.
- Morbidelli, A. and Petit, J., 2005, Chronology of Solar System formation Chapter 2, *Lectures in Astrobiology, Vol. I*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 61-82.
- Morozova, D., Mohlmann, D., Wagner, D., 2007, Survival of methanogenic archaea from Siberian permafrost under simulated Martian thermal conditions, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 37, 189–200.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Muliukin, A. L., Sorokin, V. V., Vorob'eva E. A., Suzina, N. E., Duda, V. I., Gal'chenko, V. F. and El'-Registan, G. I., 2002, Detection of microorganisms in the environment and the preliminary appraisal of their physiological state by X-ray microanalysis, *Mikrobiologiya*, 71, 836–848.
- Myers, J.S., 2003, Isua enigmas: illusive tectonic, sedimentary, volcanic, and organic features of the >3.8 - >3.7 Ga Isua greenstone belt, Southwest Greenland, *Geophys. Res. Abstracts*, 5, 13823 p.
- Napier, W. M., 2004, A mechanism for interstellar panspermia, *MNRAS*, 348, 46-51.
- Naraoka, H., Shimoyama, A., Komiya, M., Yamamoto, H., and Harada, K., 1988, Hydrocarbons in the Yamato-791198 Carbonaceous Chondrite from Antarctica, *Chem. Lett.*, 831–834.
- Nash, D.B., and Betts B.H., 1998, Ices on Io - Composition and texture, *Solar System ices*, B. Schmitt, C. de Bergh, and M. Festou (Eds.), Kluwer Acad. Sci., Norwell, Mass, 607-637.
- Nature, 2005, The Huygens probe on Titan, 8 *News & Views, Articles and Letters*, 438, 756-802.
- Nealson, K.H., 2001, Searching for life in the universe: Lessons from the Earth, *Ann. New York Acad. Sci.*, 950, 241-258.
- Neufeld, D., Hollenbach, D.J., 1994, Dense molecular shocks and accretion onto protostellar disks, *The Astrophysical Journal*, 428, 170 p.
- Newcomb, T.G. and L.A. Loeb., 1998, Oxidative DNA damage and mutagenesis, *DNA Repair in Prokaryotes and Lower Eukaryotes*, J.A. Nickoloff and M.F. Hoekstra (Eds.), Humana, Totowa, NJ., 65–68.
- Newsom, H., Taylor, S.R., 1989, Geochemical implications of the formation of the Moon by a single giant impact, *Nature*, 338, 29-34.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Newsom, H. E., Hagerty, J. J. and Thorsos, I. E., 2001, Location and sampling of aqueous and hydrothermal deposits in Martian impact craters, *Astrobiology*, 1, 71–88.
- Nicholson, W.L., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H.J., Setlow, P., 2000, Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments, *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 64, 548–572.
- Niemann, H.B., Atreya, S.K., Bauer, S.J., 2005, The abundances of constituents of Titan's atmosphere from the GCMS instrument on the Huygens probe, *Nature*, 438, 779 p.
- Noll, K.S., Johnson, R.E., Lane, A.L., Dominque, D., 1996, Detection of ozone on Ganymede, *Science*, 273, 341-343.
- Novotoskaya-Vlassova, K.A., Abramov, A.A., Soina, V.S., Kholodov, A.L., 2002, Permafrost and its habitants: probable model of Mars ecosystem and connection with permafrost experiment in BIOPAN Project, *Proceedings of the Second European Workshop on Exo-Astrobiology*, vol. 518, 299–302.
- Novikova, N., De Boever, P., Poddubko, S., Deshevaya, E., Polikarpov, N., Rakova, N., Coninx, I., Mergeay, M., 2006, Survey of environmental biocontamination on board the International Space Station, *Res Microbiol*, 157, 5-12.
- Nutman, A.P., 1986, The early Archaean to Proterozoic history of the Isukasia area, southern West Greenland, *Greenland Geol. Surv. Bull.*, Copenhagen, 154 p.
- Obe, G., Johannes, C. and Schulte-Frohlinde, D., 2001, DNA double-strand breaks induced by sparsely ionizing radiation and endonucleases as critical lesions for cell death, chromosomal aberrations, mutations and oncogenic transformation, *Mutagenesis*, 7, 3-12.
- Ohmoto, H., 1997, Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota, *Geology*, 24, 1135-1138.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ohta, K., Yamada, T., Nakanishi, K., Kohno, K., Akiyama, M. and Kawabe, R., 1996, Detection of molecular gas in the quasar BR1202 - 0725 at redshift $z = 4.69$, *Nature* 382, 426 p.
- Olsson-Francis, K., de la Torre, R., Towner, M.C., Cockell, C.S., 2009, Survival of akinetes (Resting-State cells of Cyanobacteria) in Low Earth Orbit and simulated extraterrestrial conditions, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 39, 565–579.
- Olsson-Francis, K., Cockell, C.S., 2010, Experimental methods for studying microbial survival in extraterrestrial environments, *Journal of Microbiological Methods*, 80, 1-13.
- Onofri, S., Barreca, D., Selbmann, L., Isola, D., Rabbow, E., Horneck, G., de Vera, J.P.P., Hatton, J., Zucconi, L., 2008, Resistance of Antarctic black fungi and cryptoendolithic communities to simulated space and Martian conditions, *Stud. Mycol.*, 99–109.
- Onstott, T.C., Phelps, T.J., Colwell, F.S., Ringelberg, D., et al., 1999, Observations pertaining to the origin and ecology of microorganisms recovered from the deep subsurface of Taylorsville Basin, Virginia, *Geomicrobiol. J.*, 14, 353–383.
- Oparin, AI., 1924, *Proiskhodenie Zhizny. Moscovky Rabotchii, Mockba*. English translation in Deameru, DW., Fleischaker, GR., 1994, *Origins of life: the central concepts*, Jones and Barlett, Boston, MA, 31-71.
- Oren, A., 1994, The ecology of extremely halophilic archaea, *FEMS Microbiol. Rev.*, 13, 415–440.
- Oró, J., 1961, Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth, *Nature*, 190, 389–390.
- Oró, J., Cosmovici, C.B., 1997, Comets and life on the primitive Earth. *Astronomical and biochemical origins and the search for life in the Universe*, Cosmovici, C.B., Bowyer, S., Werthimer, D. (Eds.), 97-120.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Owen, T.C., Cruikshank, D.P., 2001, Decoding the domino: The dark side of Iapetus, *Icarus*, 149, 160-172.
- Owen, T.C., Roush, T.L., Cruikshank, D.P., Elliot, J.L., Young, L.A., de Bergh, C., Schmitt, B., Geballe, T.R., Brown, R.H., and Bartholomew, M.J., 1993, Surface ices and the atmospheric composition of Pluto, *Science* 261, 745–748.
- Pace, N. R., 1991, Origin of life–facing up to the physical setting, *Cell* 65, 531–533.
- Packer, E., Scher, S., Sagan, C., 1963, Biological contamination of Mars II. Cold and aridity as constraints on the survival of terrestrial microorganisms in simulated Martian environments, *Icarus*, 2, 293–316.
- Paerl, H. W., Pinckney, J. L. and Steppe, T. F., 2000, Cyanobacterial-bacterial mat consortia: examining the functional unit of microbial survival and growth in extreme environments, *Environ. Microbiol.*, 2, 11–26.
- Palla, F., Salpeter, E.E. and Stahler, S.W. 1983, Primordial star formation - The role of molecular hydrogen, *The Astrophysical Journal* 271, 632 p.
- Parefenov, G.P., Lukin, A.A., 1973, Results and prospects of microbiological studies in outer space, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 4, 160–179.
- Pavlov, A. A., Kasting, J. F., Brown, L. L., Rages, K. A., and Freedman, R., 2000, Greenhouse warming by CH₄ in the atmosphere of early Earth, *J. Geophys. Res.*, 105, 11981-11990.
- Pedersen, K., 2000, Exploration of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives, *FEMS Microbiol. Lett.*, 185, 9–16.
- Pedersen, K., Nilsson, E., Arlinger, J., Hallbeck, L., and O'Neill, A., 2004, Distribution, diversity and activity of microorganisms in the hyper-alkaline spring waters of Maqarin in Jordan. *Extremophiles*, 8, 151–164.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Peeters, Z., Botta, O., Charnley, S.B., Ruitkamp, R., 2003, The astrobiology of nucleobases, *The Astrophysical Journal*, 593, L129.
- Peltzer, E.T., Bada, J.L., Schlesinger, G., and Miller, S.L., 1984, The Chemical Conditions on the Parent Body of the Murchison Meteorite: Some Conclusions Based on Amino, Hydroxy, and Dicarboxylic Acids, *Adv. Space Sci.*, 4, 69–74.
- Pflug, H.D., 2001, Earliest organic evolution, Essay to the memory of Bartholomew Nagy. *Precamb. Res.*, 106,79-92.
- Pflug, H.D., Jaeschke-Boyer, H., 1979, Combined structural and chemical analysis of 3,800- Myr-old microfossils, *Nature*, 280, 483-486.
- Pick, U., 1999, *Dunaliella acidophila* - a most extreme acidophilic alga, *Enigmatic Microorganisms and Life in Extreme Environments*, J. Seckbach, (Eds.). Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 467–478.
- Pinti, D. L., Hashizume, K., and Matsuda, J., 2001, Nitrogen and argon signatures in 3.8 to 2.8 Ga metasediments: clues on the chemical state of the archean ocean and the deep biosphere, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65, 2301-2315.
- Pinto, G., Albertano, P. and Pollio, A., 2004, Italy's contribution to the systematics of *Cyanidium caldarium* "sensu lato", *Evolutionary Pathways and Enigmatic Algae: Cyanidium caldarium* (Rhodophyta) and Related Cells, J. Seckbach (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 157-166.
- Pizzarello, S., Cronin, J.R., 2000, Non-racemic amino-acids in the Murray and Murchison meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 329–338.
- Pledger, R.J., Crump, B.C. and Baross., J.A., 1994, A barophilic response by two hyperthermophilic, hydrothermal vent Archaea: an upward shift in the optimal temperature and acceleration of growth rate at supra-optimal temperatures by elevated pressure, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 14, 233–242.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pogoda de la Vega, U., Rettberga, P., Reitz, G., 2006, Simulation of the environmental climate conditions on Martian surface and its effect on *Deinococcus radiodurans*, *Adv. Space Res.*, 40, 1672–1677.
- Pollack, J.B., Dalton, J.B., Grinspoon, D., Wattson, R.B., Freedman, R., Crisp, D., Allen, D.A., Bézard, B., de Bergh, C., Giver, L.P., Ma, Q., and Tipping, R., 1993, Near Infrared light from Venus' nightside: A spectroscopic analysis, *Icarus*, 103, 1–42.
- Proctor, R., 1870, *Other Worlds Than Ours*, New York, Longmans.
- Qi C., 2001, PhD Thesis, California Institute of Science and Technology, California.
- Quirico, E., Schmitt, B., Bini, R., and Salvi, P.R., 1996, Spectroscopy of some ices of astrophysical interest: SO₂, N₂, and N₂:CH₄ mixtures, *Planet. Space Sci.*, 44, 973-986.
- Quirico, E., Douté, S., Schmitt, B., 1999, composition, physical state, and distribution of ices at the surface of Triton, *Icarus*, 139, 159-178.
- Raulin, F., 2008, Astrobiology and habitability of Titan, *Space Science Review*, 135, 37–48.
- Raulin, F., Bruston, P., Paillous, P., 1995, The low temperature organic chemistry of Titan's geofluid, *Adv. Space Res.*, 15, 321 p.
- Rees, H. C., Grant, W. D., Jones, B. E., and Heaphy, S., 2004, Diversity of Kenyan soda lake alkaliphiles assessed by molecular methods, *Extremophiles*, 8, 63–71.
- Rekola, Rami T.F., 2009, Life and habitable zones in the Universe, *Planetary and Space Science*, 57, 430–433.
- Rettberg, P., Eschweiler, U., Strauch, K., Reitz, G., Horneck, G., Wänke, H., Brack, A., Barbier, B., 2002, Survival of microorganisms in space protected by meteorite

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- material: results of the experiment EXOBILOGIE of the PERSEUS mission, *Adv. Space Res.*, 30, 1539–1545.
- Rettberg, P., Rabbow, E., Panitz, C., Horneck, G., 2004, Biological space experiments for the simulation of Martian conditions: UV radiation and Martian soil analogues, *Adv. Space Res.*, 33, 1294–1301.
- Rivkina, E.M., Friedmann, E.I., McKay, C.P. and Gilichinsky, D.A., 2000, Metabolic activity of permafrost bacteria below the freezing point, *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 3230-3233.
- Robbins, E.I., 1987, *Apellela ferrifera*, a possible new iron-coated microfossil in the Isua Iron-Formation, Southwestern Greenland, *Precambrian Iron Formations*, P.W.U. Appel, G.L. LaBerge (Eds.), Theophrastes, Athens, 141-154.
- Robbins, E.I., Ilerall, A.S., 1991, Mineral remains of early life on Earth? On Mars? *Geomicrobiol. J.*, 9, 51-66.
- Robert, T., 1963, Studies with a simulated Martian environment, *J. Astronaut. Sci.*, 10, 65–74.
- Robinson, C. H., 2001, Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi, *New Phytol*, 51, 341-353.
- Roedder, E., 1981, Are the 3,800-Myr-old Isua objects microfossils, limonite-stained fluid inclusions, or neither? *Nature*, 293, 159-162.
- Rohde, R.A. and Price, P.B., 2007, A new habitat in glacial ice: metabolism by solid-state diffusion to isolated microbes, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 104, 16592–16597.
- Roos-Serote, M., Vasavada, A.R., Kamp, L., Drossart, P., Irwin, P., Nixon, C., and Carlson, R.W., 2000, Proximate humid and dry regions in Jupiter's atmosphere indicate complex local meteorology, *Nature*, 406, 158–160.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Roten, C.A., Gallusser, A., Borruat, G.D., Udry, S.D., Karamata, D., 1998, Impact resistance of bacteria entrapped in small meteorites, *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 86, 1–17.
- Rothschild, L. J. and Mancinelli, R. L., 2001, Life in extreme environments, *Nature*, 409, 1092–1101.
- Rothschild, L. J., 1990, Earth analogs for Martian life, Microbes in evaporites, a new model system for life on Mars, *Icarus*, 88, 246–260.
- Rothschild, L.J., 2007, Extremophiles: defining the envelope for the search for life in the universe, *Planetary Systems and the Origins of Life*, R.E. Pudritz, P. Higgs and J. Stone, (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Roush, T.L., 1994, Charon: More Than Water Ice?, *Icarus*, 108, 243-254.
- Ryder, G., 2002, Mass influx in the ancient Earth-Moon system and benign implications for the origin of life on Earth, *J. Geophys. Res.*, 107.
- Rzonca, B. and Schulze-Makuch, D., 2002, Investigation of hydrothermal sources in the Rio Grande rift region, 53rd Field Conference, Geology of White Sands, New Mexico Geological Society Guidebook, 319–324.
- Safronov, V.S., 1969, Evolution of the Protoplanetary cloud and formation of the Earth and Planets, Nauka Press, Moscow
- Sagan, C. and Salpeter, E.E., 1976, Particles, environments, and possible ecologies in the jovian atmosphere, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 32, 624 p.
- Sagan, C. and Khare, B.N., 1979, Tholins: organic chemistry of interstellar grains and gas, *Nature*, 277, 102-107.
- Sagan, C., Thompson, W.R., Carlson, R., Curnett, D., and Hord, C., 1993, A Search for Life on Earth From the Galileo Spacecraft.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sagan, C., Chyba, C., 1997, The early sun paradox: organic shielding of ultraviolet-labile greenhouse gases, *Science*, 276, 1217-1221.
- Sancho, L.G., de la Torre, R., Horneck, G., Ascaso, C., de Los Rios, A., Pintado, A., Wierzchos, J., Schuster, M., 2007, Lichens survive in space: results from the 2005 LICHENS experiment, *Astrobiology*, 7, 443–454.
- Santos, N.C., Israelian, G., Mayor, M., Rebolo, R., Udry, S., 2003, Statistical properties of exoplanets II, *Astron. Astrophys.*, 398, 363– 76.
- Sattler, B., Puxbaum, H. and Psenner, R., 2001, Bacterial growth in supercooled cloud droplets, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 239–242.
- Scannapieco, E., Schneider, R. and Ferrara, A., 2003, The detectability of the first Stars and their cluster enrichment signatures, *The Astrophysical Journal*, 589, 35 p.
- Schidlowski, M., 2001, Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept, *Precambrian Res.*, 106, 117-134.
- Schindler, T.L. and Kasting, J.F., 2000, Synthetic spectra of simulated terrestrial atmospheres containing possible biomarker gases, *Icarus*, 145, 262–271.
- Schleper, C., Pühler, G., Kühlmorgen, B. and Zillig, W., 1995, Life at extremely low pH, *Nature*, 375, 741–742.
- Schleper, C., Puehler, G., Holz, I., et al., 1995, *Picrophilus gen. nov.*, fam. nov. a novel aerobic, heterotrophic, thermoacidophilic genus and family comprising archaea capable of growth around pH 0, *J. Bacteriol.*, 177, 7050–7059.
- Schneider, R., Ferrara, A., Natarajan, P. and Omukai, K., 2002, First Stars, Very Massive Black Holes, and metals, *The Astrophysical Journal*, 571, 30 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Schopf, J.W., Walter, M.R., 1983, Archean microfossils: new evidence of ancient microbes, Earth's earliest biosphere, J.W. Schopf (Eds.), Princeton Univ. Press, Princeton, 214-239.
- Schrag, D. P., Berner, R. A., Hoffman, P. F., and Halverson, G. P., 2002, On the initiation of a snowball Earth, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 1 p.
- Schramm, D.N., 1998, Big Bang Theory and primordial nuclei, *SSRv*, 84, 167 p.
- Schuerger, A.C., Mancinelli, R.L., Kern, R.G., Rothschild, L.J., McKay, C.P., 2003, Survival of endospores of *Bacillus subtilis* on spacecraft surfaces under simulated Martian environments: implications for the forward contamination of Mars, *Icarus*, 165, 253-276.
- Schulte, W., Hofer, S., Hofmann, P., Thiele, H., von Heise-Rotenburg, R., Toporski, J., Rettberg, P., 2007, Automated payload and instruments for astrobiology research developed and studied by German medium-sized space industry in cooperation with European academia, *Acta Astronaut.*, 60, 966-973.
- Schulte, W., Hofmann, P., König, H., 1998, The space exposure biology assembly (SEBA)-results of the phase A study, *Adv. Space Res.*, 22, 341-346.
- Schulze-Makuch, D. and Irwin, L.N., 2002b, Reassessing the possibility of life on Venus: proposal for an astrobiology mission, *Astrobiology*, 2, 197-202.
- Schulze-Makuch, D. and Irwin L.N., 2008, Habitats of life, *Life in the Universe, Advances in Astrobiology and Biogeophysics*, Springer-Verlag, 133-148.
- Seckbach, J., 1999, The Cyanidiophyceae: Hot spring algae, Enigmatic Microorganisms and Life in Extreme Environments, J. Seckbach (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 425-435.
- Seckbach, J. and Walsh, M.M., 1999, Ubiquity of life as related to certain extremophiles: Mini review on Cyanidia, From Symbiosis to Eukaryotism: Endocytobiology VII, E. Wagner, J. Normann, H. Greppin, J.H.P. Hackstein,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- R.G. Herrmann, K.V. Kowallik, H.E.A. Schenk and J. Seckbach (eds.), University of Geneva, 85-104.
- Seckbach, J. and Oren, A., 2004, Introduction to the extremophiles, *Origins: Genesis, Evolution and Diversity of Life*, J. Seckbach (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 373-393.
- Selsis, F., 2002, Occurrence and detectability of O₂-rich atmosphere in circumstellar "habitable zones", *ASP Conf. Ser. 269: The Evolving Sun and its Influence on Planetary Environments*.
- Selsis, F., Despois, D., and Parisot, J.P., 2002, Signature of life on exoplanets: Can Darwin produce false positive detections?, *Astronomy and Astrophysics*, 388, 985-1003.
- Sephton, M.A., Pillinger, C.T., and Gilmour, I., 2001, Normal alkanes in meteorites: Molecular $\delta^{13}\text{C}$ values indicate an origin by terrestrial contamination, *Precambrian Res.*, 106, 47-58.
- Sharma, A., Scott, J. H., Cody, G. D., et al., 2002, Microbial activity at gigapascal pressures, *Science*, 295, 1514-1516.
- Shi, T., Reeves, R. H., Gilichinsky, D. A. and Friedmann, E. I., 1997, Characterization of viable bacteria from Siberian permafrost by 16S rDNA sequencing, *Microb. Ecol.*, 33, 169-179.
- Shklovskii, I., Sagan, C., 1966, *Intelligent Life in the Universe*, New York, Dell.
- Showstack, R., 1998, Lunar prospector finds signature for water ice on Moon, NASA announces EOS, *Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 138 -144.
- Shu, F. H., 1985, *The Milky Way Galaxy*, D. Reidel (Eds.), Kluwer, Dordrecht, 561 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Siegert, M. J., Ellis-Evans, J.C., Tranter, M., Mayer, C., Petit, J., Salamatin, A., and Priscu, J.C., 2001, Physical, chemical and biological processes in Lake Vostok and other Antarctic subglacial lakes, *Nature*, 414, 603–609.
- Singaravelan, N., Grishkan, I., Beharav, A., Wakamatsu, K., Ito, S., Nevo, E., 2008, Adaptive melanin response of the soil fungus *Aspergillus niger* to UV radiation stress at ‘Evolution Canyon’, Mount Carmel, Israel, *PLoS ONE*, 3, e2993.
- Slade, M.A., Butler, B.J. and Muhleman, D.O., 1992, Mercury radar imaging: Evidence for polar ice, *Science*, 258, 635–640.
- Sleep, N. H. and Zahnle, K., 2001, Carbon dioxide cycling and implications for climate on ancient Earth, *J. Geophys. Res.*, 106, 1373-1400.
- Sleep, N.H. and Zahnle, K., 1999, Vestiges of living at ground zero, *Geolog. Soc. Am.*, 31, 239-240.
- Sleep, N.H., Zahnle, K.J., Kasting, J.F., Morowitz, H.J., 1989, Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on the early Earth, *Nature*, 342, 139-142.
- Sonett, C.P., Kvale, E.P., Zarkharian, A., Chan, M.A., Demko T.M., 1996, Late Proterozoic and Paleozoic tides, retreat of the Moon, and rotation of the Earth *Science* 273, 100-104.
- Songaila, A. and Cowie, L.L., 2001, The Extragalactic Infrared Background and its Cosmological Implications, Proceedings of an IAU Symposium held at Manchester, M. Harwit and M.G. Hauser (Eds.), *Astronomical Society of the PaciWc*.
- Spaans, M. and Silk, J., 2000, The Polytrropic equation of state of interstellar gas clouds, *The Astrophysical Journal*, 538, 115 p.
- Spencer, J.R., Calvin, W.M., and Person, M.J., 1995, Charge-coupled device spectra of the Galilean satellites: Molecular oxygen on Ganymede, *J. Geophys. Res.*, 100, 19,049-19,056.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Spitzer, Ly., 1978, Interstellar Matter-An overview, Physical Processes in the ISM, John Wiley & Sons Inc., 1-15.
- Stan-Lotter, H., Radax, C., Gruber, C., Legat, A., Pfaffenhuemer, M., Wieland, H., Leuko, H., Weider, G., Komle, N., Kargl, G., 2003, Astrobiology with haloarchaea from Permo- Triassic rock salt, *Int. J. Astobiol.*, 1, 271–284.
- Sterflinger, K., 1998, Temperature and NaCl-tolerance of rock-inhabiting meristematic fungi, *Antonie Van Leeuwenhoek*, 74, 271–281.
- Stetter, O., 1996, Hyperthermophilic prokaryotes, *FEMS Microbiol. Rev.*, 18, 149-158.
- Stetter, O., Huber, R., Blöchl, E., Kurr, M., Eden, R. D., Fiedler, M., Cash, H. and Vance, I., 1993, Hyperthermophilic archaea are thriving in deep North Sea and Alaskan oil reservoirs, *Nature*, 365, 743–745.
- Stevens, A., 1936, Mans furthest aloft, *Natl. Geogr. Mag.*, 69, 693–712.
- Stoker, C. R., Boston, P. J., Mancinelli, R. L., Segal, W., Khare, B. N., Sagan, C., 1999, Microbial metabolism of tholin, *Icarus*, 85,1, 241-256.
- Stoks, P. G., Schwartz, A. W., 1981, Nitrogen-heterocyclic compounds in meteorites: Significance and mechanisms of formation, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 563-569.
- Stolz, J.F. and Oremland., R.S., 1999, Bacterial respiration of arsenic and selenium, *FEMS Microbiol. Rev.*, 23, 615–627.
- Takano, T., Neubauer, F.M., and Laube, M., 2001, Three-Dimensional modeling of the tropospheric methane cycle on Titan, *Icarus*, 153, 130–147.
- Taylor, G.R., Bailey, J.V., Benton, E.V., 1975, Physical dosimetric evaluations in the Apollo 16 microbial response experiment, *Life Sci. Space Res.*, 13, 135–141.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taylor, R.J., 1966, The ground state of H_2^- , Rept. Prog. Phys., 29, 489 p.
- Thomas, P.J., Chyba, C.F. and McKay, C.P., 1997, Comets and the origin and evolution of life, Springer, New York, 10 p.
- Thomes, E., Duncan, M., Levison, H., 1999, The formation of Uranus and Neptune in the Jupiter–Saturn region of the Solar System, Nature, 402, 635-638.
- Thomson, W., 1871, Presidential address to the British association for advancement of science, Nature, 4, 262 p.
- Tomasko, M.G., Becker, B. T., et al., 2005, Rain, winds and haze during the Huygens probe's descent to Titan's surface, Nature, 438, 765 p.
- Touret, J., 2003, Remnants of early Archaean hydrothermal methane and brines in pillowbreccia from the Isua Greenstone Belt, West Greenland. Precambrian Res., 126, 219-233.
- Trilling, D., Benz, W., Guillot, T., Lunine, J.I., Hubbard, W.B. and Burrows, A. 1998, Orbital evolution and migration of giant planets: Modeling extrasolar planets, Astrophysical Journal, 500, 428 p.
- Trimble, V., 1995, Galactic chemical evolution; Implications for the existence of habitable planets, Extraterrestrials: Where Are They?, B Zuckerman, MH Hart (Eds.), Cambridge, Cambridge Univ. Press, 239, 184–191.
- Turner, B.E., 2000, A common Gas-Phase chemistry for diffuse, translucent, and dense clouds?, The Astrophysical Journal, 542, 837 p.
- Umeda, H. and Nomoto, K., 2003, First-generation black-hole-forming supernovae and the metal abundance pattern of a very iron-poor star, Nature, 422, 871-873.
- van Dishoeck, E.F., Thi, W., van Zadelhoff, G., 2003, Detection of DCO^+ in a circumstellar disk, Astronomy and Astrophysics, 400, L1–L4.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- van der Velden, W. and Schwartz, A.W., 1977, Search for Purines and Pyrimidines in the Murchison Meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 961–968.
- Wächtershäuser, G., 1988, Pyrite formation, the first energy source for life: a hypothesis, *Syst. Appl. Microbiol.*, 10, 207–210.
- Wackett, L.P., Dodge, A.G. and Ellis, L.B.M., 2004, Microbial genomics and the periodic table, *Appl. Environ. Microbiol.*, 70, 647–655.
- Waite, Jr., J. H., Young, D. T., Cravens, T. E., Coates, A. J., Crary, F., Magee, J. B. and Westlake, J., 2007, The Process of tholin formation in Titan's upper atmosphere, *Science*, 316, 870-875.
- Wakamutsu, H., Yamada, Y., Saito, T., Kumashiro, I., Tdkenishi, T., 1966, Synthesis of adenine by oligomerization of hydrogen cyanide, *Journal of Organic Chemistry*, 3, 2035-2036.
- Walsh, M.M., 1992, Microfossils and possible microfossils from the Early Archean Onverwacht Group, Barberton Mountain Land, South Africa, *Precambrian Res.*, 54, 271-293.
- Walter, M.R., Des Marais D.J., 1993, Preservation of biological information in thermal spring deposits: developing a strategy for the search for fosil life on Mars, *Icarus*, 101, 129-43.
- Wassmann, M., Moeller, R., Reitz, G., and Rettberg, P., 2010, Adaptation of *Bacillus subtilis* cells to Archean-like UV climate: Relevant hints of microbial evolution to remarkably increased radiation resistance, *Astrobiology*, 10:6, 605-615.
- Weidenschilling, S. J. and Cuzzi, J. N., 1993, Formation of planetesimals in the solar nebula, *Protostars and Planets III*, 1031-1060.
- Wells, L., Armstrong, C., and Gonzalez, G., 2003, Reseeding of early earth by impacts of returning ejecta during the late heavy bombardment, *Icarus*, 162, 38-46.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Westall, F., Walsh, M.M., 2000, The diversity of fossil microorganisms in Archaean-age rocks, *Journey to Diverse Microbial Worlds*, J. Seckbach (Eds.), Kluwer, Amsterdam, 15-27.
- Westall, F., Brack, A., Barbier, B., Bertrand, M., Chabin, A., 2002, Early Earth and early life: an extreme environment and extremophiles - application to the search for life on Mars, *Proceedings of the Second European Workshop on Exo/Astrobiology Graz, Austria*, ESA SP-518, 131-136.
- Westall, F., Walsh, M.M., 2003, Fossil biofilms and the search for life on Mars, *Fossil and Recent Biofilms*, W.E. Krumbein, D. Patterson, G. Zavarzin (Eds.), Kluwer, Amsterdam, in press.
- Westall, F., Folk, R.L., 2003, Exogenous carbonaceous microstructures in Early Archaean cherts and BIFs from the Isua greenstone belt: Implications for the search for life in ancient rocks, *Precambrian Res.*, 126, 313-330.
- Wetherill, G.W., 1994, Peovenance of the terrestrial planets, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 4513-4520.
- Wetherill, G.W., 1996, The formation and habitability of extra-solar planets, *Icarus*, 199, 219-238.
- Wiegel, J., Adams, W.W., 1998, Thermophiles, the keys to molecular evolution and the origin of life?, Taylor and Francis (Eds.), London, 339 p.
- Wiklind, T., Combes, F., 1997, Molecular absorption lines at high redshift: PKS 1413+135 ($z=0.247$), *Astronomy and Astrophysics*, 328, 48 p.
- Wilansky, B., 1936, Life in the Dead Sea, *Nature*, 138, 467 p.
- Wilde, S. A., Valley, J. W., Peck, W. H., and Graham, C. M., 2001, Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago, *Nat*, 409, 175-178.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Willacy K., Langer W.D., 2000, The Importance of photoprocessing in protoplanetary disks, *The Astrophysical Journal*, 544, 903–920.
- Willis, M.J., Ahrens, T.J., Bertani, L.E., Nash, C.Z., 2006, Bugbuster-survivability of living bacteria upon shock compression, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 247, 185–196.
- Wolfe-Simon, F., Blum, J.S., Kulp, T.R., Gordon, G.W., Hoefft, S.E., Pett-Ridge, J., Stolz, J.F., Webb, S.M., Weber, P.K., Davies, P.C., Anbar, A.D, and Oremland, R.S., 2010, A bacterium that can grow by using arsenic instead of phosphorus, *Science*, 1197258 p.
- Volz, P.A., Rosenzweig, N., Blackburn, R.B., Wasser, S.P., Nevo, E., 1997, Cobalt 60 radiation and growth of eleven species of microfungi from Evolution Canyon, Lower Nahal Oren, Israel, *Microbios*, 91, 191-201.
- Wong, A.S, Atreya, S.K., and Encrenaz, T., 2003, Chemical markers of possible hot spots on Mars, *J. Geoph. Res.*, 108, 5026–5036.
- Yayanos, A.A., 1995, Microbiology to 10,500 meters in the deep sea, *Annu. Rev. Microbiol.*, 49, 777–805.
- Young, R.S., 1963, Bacteria under simulated Martian conditions, *Life Sci. Space Res.*, 2, 105–111.
- Yuen, G.U., Blair, N., DesMarais, D.J., and Chang, S., 1984, Carbon isotope composition of low molecular weight hydrocarbons and monocarboxylic acids from the Murchison Meteorite, *Nature*, 307, 252–254.
- Yung, Y.L, Allen, M., and Pinto, J.P., 1984, Photochemistry of the atmosphere of Titan: Comparison between model and observations, *Astroph. J.*, 55, 465–506.
- Zahnle, K. and Sleep, N. H., 1997, Impacts and the early evolution of life, *Comets and the origin and evolution of life*, Springer, New York 175-208.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zarnecki, J.C., et al., 2005, A soft solid surface on Titan as revealed by the Huygens Surface Science Package, *Nature*, 438, 792–795.
- Zhukova, A.I., Kondratyev, I.I., 1965, On artificial Martian conditions reproduced for microbiological research, *Life Sci. Space Res.*, 3, 120–126.
- Zimmermann, M.W., Gartenbach, K., Kranz, A.R., 1994, First radiobiological results of LDEF-1 experiment A0015 with *Arabidopsis* seed, *Adv. Space Res.*, 14, 47–51.
- Zinner, E., 1998, Stellar nucleosynthesis and the isotopic composition of presolar grains from primitive meteorites, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 26, 147–188.