

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**DÜNYA DIŞI ORTAMLARIN MİKROBİYAL YAŞANABİLİRLİK AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Betül BULUÇ¹, Mustafa YAMAÇ¹, Metin ALTAN²

ÖZ

Bu makalede, Dünyasal mikrobiyolojik yaşamın uzay ortamında oluşarak evrimleşebileceği öngörülen bölgeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri ekseninde incelenmiştir. Ayrıca, yıldızlararası ortamda ve diğer gezegenlerde, Dünyasal mikrobiyolojik bir oluşumun meydana gelebilme koşulları incelenmiş ve Dünyasal mikroorganizmaların uzay ortamında yaşayabilirlikleri sorgulanmıştır. Sonuç olarak, Dünyasal mikrobiyal yaşamın nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda, bu organizmalar için, uzay ortamının veya diğer gezegenlerin habitat olamayacağı öngörüsüne ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Gezegenel organikler, Yaşanabilir bölge, Ekstremofiller.

**EVALUATION OF MICROBIAL SURVIVAL IN EXTRATERRESTRIAL
ENVIRONMENTS**

ABSTRACT

In this paper, the space environments where microbial terrestrial life could form and evolve in, were evaluated with the base of the physical and chemical properties. In addition, Earthial microbial life formation conditions in the interstellar medium and the other planets are investigated and the survival of microorganisms in the space environments are questioned. As a result, considering the aspects of terrestrial microbial life, we suggest that the space environment and other planets could not be a habitat for Earthial microorganisms.

Keywords: Planetary organics, Habitable zone, Extremophiles.

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Meşelik Kampüsü, Eskişehir.

²Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Yunussemre Kampüsü, Eskişehir.

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki yaşamın kökeni ile ilgili en geçerli görüş, evrenin kökeni ve evrimi ile ilişkilidir. Yaşama öncülük eden kimyasal reaksiyonların aşamalarının tutarlı bir açıklamasını yapabilmek için, evrenin ilk zamanlarındaki ilk nesil yıldızların ve bunların meydana getirdiği sonraki nesil yıldızların evriminin anlaşılması gerekir. Özellikle, yıldız içlerindeki kütle kayıpları ve patlamalar sırasındaki ilk biyojenik elementlerin oluşumunu tanımlayabilmek önemlidir.

Yapılan kuramsal ve gözlemsel analizler ışığında oluşturulan bir çok modele göre, yıldızlararası ortamda ve yıldızların çevrelerinde, ağır elementler karışmakta, karmaşık moleküller ve toz oluşmaktadır. Bu moleküller ve toz, içerisinde buldukları kimyasal ve fiziksel şartlara bağlı olarak, sürekli değişim geçirmektedir. Evriminin ilk aşamalarında bulunan Dünya üzerindeki yaşamın ilk yapıtaşlarını üreten organik madde, atmosferde veya yüzeyde, hem dış, hem de iç kaynaklı etkileşimler sonucu üretilmesi varsayımı diğer gezegenler için de söz konusudur. Bu aşamada, söz konusu cisimlerin atmosferindeki ve yüzeyindeki kimyasal bileşimin bilinmesi anlamlı ve gereklidir. Yaşamı barındıran bir gezegen olarak "Dünya" model alındığında, Dünya'nın ve dolayısıyla Güneş Sistemi'nin, galakside bulunduğu konum da önemlidir. Yaşanabilir bölge tanımlamasına şablon oluşturabilecek tüm bu özellikler, Dünyasal yaşamın bulunabileceği, uygun kuramsal ve fiziksel özelliklere sahip bölgelerin aranmasında, incelenmesi gereken neredeyse sonsuz büyüklükteki hacmi, önemli ölçüde daraltmaktadır.

Bu aşamada göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta, erken Dünya ve şimdiki Dünya üzerinde, uzay ortamı ile ilişkilendirilebilecek ve değişime neden olabilecek ekolojik etkilerin 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 benimsemiş ekstremofillerin olduğu, bir çok bilimsel çalışmanın sonuçları ile kanıtlanmıştır. Bu sonuçlara paralel olarak, evrenin olasılık dahilindeki uygun koşulları sağlayan diğer bölge

ve gezegenlerinde bu canlıların yaşayabilme olasılığının mümkün olabileceği öngörülmektedir. Ancak, mikroorganizmaların uzay koşullarında yaşayabilirlikleri üzerine yapılan çalışmalar, incelenen mikroorganizmaların Dünya'daki ekstremofillerin adaptasyonlarına benzer şekilde morfolojik ve fizyolojik açıdan farklılaşarak uzay ortamına sadece kısa süreli uyum sağladığı ve sınırlı sürelerde yaşamlarını sürdürebildikleri keşfedilmiştir.

Evrenin oluşumunun ilk saniyelerinden, ilk yıldız oluşumlarına ve gezegensel organik moleküllerden, Dünya üzerindeki yaşam izlerine kadar, Dünyasal yaşamın niteliğinin geniş çaplı irdelenmesi, Dünyasal mikrobiyal yaşamın, Dünya-dışında da var olup olamayacağı sorusuna cevap aranması, bu çalışmanın hedefleri arasındadır.

2. ELEMENTLERİN SENTEZLENMESİ VE YILDIZLARIN OLUŞUMU

Hidrojen, karbon, oksijen, azot, kükürt ve fosfor gibi elementlerin ortamda bulunması gerekliliği, Dünyasal yaşamın oluşmasının ön koşulları arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bu elementlerden hidrojen dışında kalanlar evrenin evriminin ilk zamanlarında henüz var olmamıştır. Erken evrenin sıcak kimyası, Büyük Patlama nükleosentezi de denilen, çoğunlukla hidrojen, helyum, döteryum, trityum, lityum ve berilyum gibi çok hafif elementleri üretmiştir. Dünyasal biyokimyayı ilgilendiren diğer bütün kimyasal elementler, yıldızların evrim sürecinde nükleosentez yoluyla şekillenmiştir. Genel anlamda, ortamdaki elementsel bileşimin, en erken yıldızlardaki ve galaksilerdeki yoğunlaştırılmış ilkin hidrojen ve helyum elementlerinden türediği kabul edilmektedir (Schramm, 1998).

Kütlelerine dayanarak, bazı ilk nesil yıldızlar (popülasyon III yıldızları) yaşamlarının son zamanında çok büyük kütleli karadelikler olarak içlerine çökerler. Bu gibi yıldızlar, metal zenginliklerini etraflarındaki gaz ortamına yaymazlar. Bu yüzden, başlangıçtaki kozmik metal zenginliğinin, ağır-element bakımından verimli olan çift-kararsız süpernovalara (SN) dayandığı düşünülmektedir. SN patlaması dalgalarının or-

tamdaki ağır elementleri oluşturduğu önerilmektedir (Madau vd, 2001).

Sonraki nesil yıldızlar oluştuktan sonra evrimleşip ana kolda yaşamlarının sonlarına ulaştıkları zaman, yıldızsal kütlelerinden ($M < 10M_{\odot}$, M_{\odot} ; Güneş kütlesi) yıldızlararası ortam içerisine önemli ölçüde rüzgarlar oluştururlar veya diğer bazı yıldızlar ($M > 10M_{\odot}$) yaşamlarını şiddetli süpernova patlamalarıyla sona erdirirler. Bu dışarıya atılan madde, helyumdan daha ağır elementleri içermekte olup ve çevresel yıldızlararası gaz bileşimini zenginleştirmektedir. Bu metallerin bir kısmı toz zerrecikleri olarak birleşirler. Geriye kalan ağır metaller ise, yıldızsal rüzgarların etkisiyle moleküller oluşturmaktadır. Ortam yakınlarında süpernova patlaması meydana geldiğinde, patlamanın dalgaları yayılır ve ortamdaki molekülleri sıkıştırarak yıldız ve gezegen oluşumu alanlarına dönüştür. Yıldızların evrimsel döngüsü bu şekilde "galaksiler" içerisinde "devam" etmektedir (Dorbus ve Hawley, 1991).

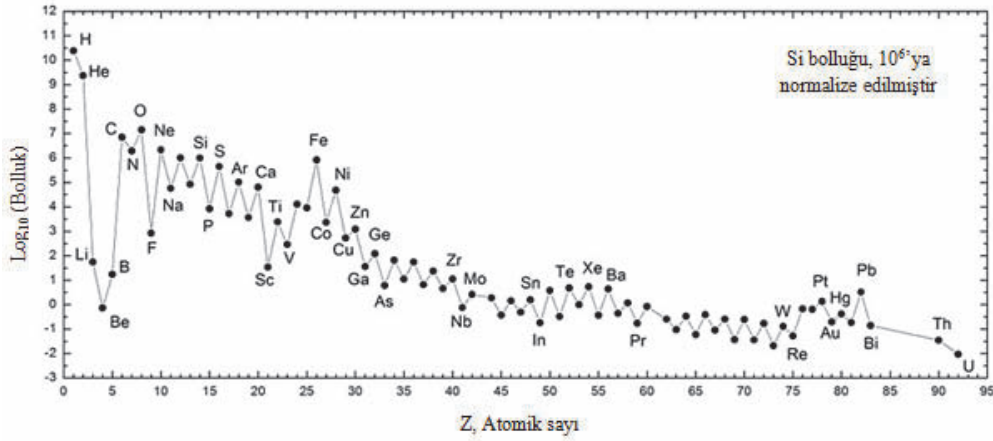
Dünyasal biyolojide rol oynayan metaller ve diğer iz elementler, evrimleşmiş yıldızların çekirdeklerindeki veya yıldızsal patlamalardaki nükleosentez aşamalarında üretilmektedir (Matteucci, 1991). Samanyolu ve diğer gökadalardan elementlerinin spektrumları incelendiğinde hidrojen ve helyumun en bol bulunduğu gözlenmiştir. Dağılımın bundan sonraki genel özelliği atom numarası arttıkça elementlerin bolluk oranlarının azalmasıdır. Örneğin, biyolojik açıdan önemli olan kalsiyum, molibden, magnezyum, iyot gibi elementler daha az bulunur ve oluşmaları için özel yıldızsal koşullar gereklidir. Karbon elementi, bazı diğer elementler gibi, yıldızların yaşam döngülerinin sonunda üretilip sonra yıldızlararası ortama aktarılır. Yıldızsal nükleosentezlerde önemli bir rol oynayan karbon, yıldızlararası ortamda en bol olan dördüncü elementtir (Şekil 1). Karbon zengin bir kimyaya sahiptir. Çok sayıda molekül ve makromolekül oluşturabilir. Ancak, biyogenik makromoleküllerin zenginliği, organik kimya ile yıldızlararası ortamda eser miktarlarda bulunan inorganik kimyanın zenginliğine ve etkileşimine bağlıdır.

3. YILDIZLARARASI ORTAMDAKİ ORGANİK MOLEKÜLLER

Günümüze dek, yıldızlararası ve yıldızların çevresindeki bölgelerde 100'den fazla molekül belirlenmiştir. Yıldızlararası moleküllerin listesi, iyi bilinen organik moleküllerden olan aseton, dimetil eter, glikolaldehit (CH_2CHOH), etilen glikol ($HOCH_2CH_2OH$) ve en basit aminoasitlerden glisini içermektedir (Millar, 2004; Tablo 1). Primidin, aziridin ve azulen gibi diğer biyolojik moleküllerin varlığını belirlemeye yönelik araştırmalar başarısız olmuştur. Dünya'da "bulunan "ortak organik gruplara ek olarak, yıldızlararası ortamda ilk kez olarak belirlenen daha egzotik gruplar da uzayda saptanmıştır. Bunlar, karbon-zinciri molekülleri, siyanopolienleri ($HC_{2n+1}N$, $n=1-5$) ve kumulenleri (H_2C_{2n} , $n=2,3$) içerir. Tablo 1'de özetlenen tanımlamalar, moleküllerin tamamlanmış envanteri değildir. Yıldızlararası bulutlar kimyasal kompozisyonlarına ve fiziksel özelliklerine göre ayrılmaktadır. Bu ortamlar başlıca dağılık bulutlar, karanlık bulutlar, sıcak moleküler çekirdekler ve yıldızsal zarflardır.

Dağılık bulutlar optik ışığa karşı geçirimsizdirler. Bu nedenle, yıldızlararası UV radyasyon bu alanlara nüfuz eder. Bu ortamlarda radyasyon molekülleri oldukça hızlı bir zaman diliminde (tipik olarak 10,000 yıldan az bir sürede) fotonizasyona uğratabilir. Bu tip bulutlar baskın olarak atomiktir. CH ve CN gibi basit diatomiklerin, toplam hidrojenle ilişkili olarak varlıklarının gözlenmesine rağmen, triatomik moleküllerin saptanması daha zor olmuştur ve C_3 miktarı da bulutlarda az sayıda gözlenmiştir (Maier vd., 2001). Bulutun sütun yoğunluğu arttığında, toz zerrecikleri UV yoğunluğunu azaltır. Böylece daha karmaşık moleküller sentezlenebilir ve varlığını sürdürebilir. Bunun gibi yarı saydam bulutlarda, C_2H ve HCN gibi basit moleküller saptanmıştır ve moleküler çizgi absorpsiyonu üzerine yapılan interferometrik çalışmalar sonucunda kısıtlı miktarda daha karmaşık moleküller belirlenmiştir (Lucas ve Liszt, 2002).

Karanlık bulutlar, çok yoğun, sıcaklığı ~ 10 K (bölgesel olarak 200 K'e kadar da çıkabilir) olan ve yıldızlararası UV fotonlarını etkin bir biçimde yansıtan, daha geniş çeşitlilikte, gaz-fazında organik molekülleri içeren bulutlardır.



Şekil 1. Elementlerin kozmik bollukları (Cameron, 1973'den)

Tablo 1. Yıldızlararası çevrelerde gözlenen moleküller (Millar, 2004'den).

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 ₈ 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

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. Bu alanlarda organiklerin bütün envanterini görebilmek mümkün olmamakla birlikte, CO hariç, toplam gaz-fazındaki karbonun sadece %1'i kullanılabilir.

Sıcak moleküler çekirdekler (SMÇ), ~ 0.1 pc çapındaki alanı kaplayan, yoğun ve sıcak (T~100-300 K) olup, büyük kütleli yıldız oluşum bölgelerindeki gaz yığınlarıdır. Yıldız oluşum süreçlerinin ilk zamanlarının açıklanabilmesi açısından önemli olan bu yapılar, büyük kütleli ilkel-yıldızları veya yıldız

oluşumu fosillerini içermektedir. Çok zengin moleküllere sahiptirler ve karanlık bulutlardan farklı olarak, baskın biçimde doymuş moleküller içerirler. Örneğin, SMÇ'lerde saptanan tek siyanopolien HC₃N'dir. H₂O, NH₃, CH₃OH ve H₂S gibi doymuş moleküllerin miktarları, soğuk bulutlardan 10³-10⁵ kat daha fazladır.

Yapılan bir çok çalışma kapsamında, geç-tip yıldızların çevrelerindeki zarflarda, organik moleküllerin olduğu belirlenmiştir. Karbon-zengini (C/O oranları diğerlerinden daha fazla) nesnelere dikkat çekici zengin bir kimyaya sahiptir. C-zengini ADK (Asimptotik Dev Kolu) yıldızı IRC+10216'da 50 molekülden fazlası belirlenmiştir. MgNC, MgCN, NaCN, C₈H 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 ip uçları elde edilmiştir. ADK yıldızları, ayrıca, karbonlu toz partiküllerinin olduğu ve daha sonra yıldızlararası ortama enjekte edildiği nesnelere (Millar, 2004). 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, C_2H_2 , CS ve HCN gibi kararlı molekülleri oluşturur. ADK yıldızlarının titreşmesi nedeni ile, fotosferdeki gaz, düzenli ısı ve basınç oluşturan şoklara maruz kalır. Gazın, yıldızın kütleçekimsel etkisinden kurtulması için, bu şok yeterli değildir ve madde yıldızın yüzeyine geri döner. Bu değişimin oluşturduğu koşullar, şok kimyasının geliştirebilir. Asetilenin, benzen ve benzerleri gibi halkalı moleküllere dönüşümü mümkün olup ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) partiküllerinin oluşmasına önderlik eden organik kimyanın gelişebileceği varsayılmaktadır (Cau, 2002).

3.1 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 ve bu süreç, tipik olarak bulutun yaşam zamanından daha kısadır. Yoğun karanlık bulutlarda UV fotonları etkin olarak toz zerrecikleri tarafından soğurulur ve ikili reaksiyonlar daha önemli hale gelmeye başlar. İç yıldız çevresi zarfta üretilen kısa zincirli moleküller eğer dış zarfa enjekte edilirse, hızla foto-ayırma maruz kalabilirler. Peeters ve arkadaşları (2003), N-substituentli zincirler olan adenin ve urasilinin, büyük foto-ayırma sahip olduklarını ve sadece birkaç 100 yıl dağınık yıldızlararası ortamda yaşamlarını sürdürebileceklerini göstermiştir. Yıldız çevresi zarfının içerisindeki koşullar, bunun gibi büyük moleküllerden çok, daha kısa zincirli moleküllerin üretilmesine izin verir (Cau, 2002). Eğer bu büyük PAH molekülleri, gaz fazında ışık etkisiyle değişmezse veya katı karbonlu partiküllerle birleşirse, yıldızlararası ortamda organik molekülleri oluşturabilir. Yoğun yıldızlararası ortamda organik moleküller nadir bulunur. Işık etkisi ile değişmeyen gaz-fazındaki

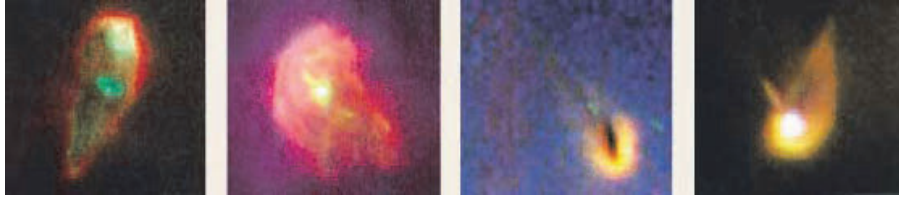
yapılarda veya karbonlu zerreciklerde tutulanmış olan bu moleküller, oluştukları karbon-zengini yıldızların çevrelerindeki zarflardan, moleküler bulutlara olan yolculuklarında varlıklarını sürdürebilirler.

3.2 İlkel Gezegen Oluşum Diski Kimyası

İlkel gezegen oluşum disklerinde meydana gelen kimyasal devinim, Güneş Sistemi cisimlerinin organik envanterine katkı sağlayacak nitelik taşımaktadır. Günümüzde ilkel gezegen oluşum disklerinin kimyasal bileşimini gözlemek kısmen mümkündür (Şekil 2). Yaşam arayışını hedefleyen çalışmalar yaşamı başlatan çoğu biyomolekülü içerdiği varsayıldığı için, ilkel gezegen oluşum disklerine yönelmektedir.

Yoğun moleküler bulutlar, daha dağınık yıldızlararası maddeden, belirli aşamalarda yıldızlararası türbülansın bulutları dağıtmasıyla şekillenmiştir. Bunların içerisinde, toz zerreciklerinin yüzeylerindeki etkin kataliz nedeni ile neredeyse tüm hidrojen, moleküler yapıdadır. Moleküler bulutlar çok soğuktur. Kozmik ışınların neden olduğu ısınma ve moleküler döngüsel emisyonun neden olduğu soğuma, bunların sıcaklığının 10 K civarında kalmasını sağlar (Goldsmith ve Langer, 1978).

Bazı T Tauri yıldızlarının etrafındaki disklerde bulunan moleküllerin gözlem verilerinin değerlendirmeleri ile, ilkel gezegen oluşum yığılma disklerinin kimyası açıklanabilmiştir. Yıldızlararası ortamda ve kuyruklu yıldızlarda da bulunan, bazı basit organik moleküller, bu disklerde de belirlenmiştir. DM Tau, GG Tau ve T Tauri yıldızları çevrelerindeki disklerin moleküler içerikleri belirlenmiş ve bütün disklerde CO, HCN, CN, CS, H_2CO ve HCO^+ geçişlerini saptanmıştır (Dutrey vd., 2000). Elde edilen miktarlar, yoğun yıldızlararası bulutlarda bulunanlardan daha az sayıdadır. İyonların ve radikallerin varlığı, dış tabakalarda, UV fotonları veya X-ışınlarının iyonize edici bir kaynak olarak kimyayı geliştirdiğini doğrulamaktadır.



Şekil 2. Orion Bulutsusu içindeki ilkel gezegen oluşum diskleri. (Hubble Uzay Teleskobu WFPC2, Bally, Throop, ve O'Dell, NASA, 1995).

4. GEZEGENSEL ORGANİK MOLEKÜLLER

4.1 Güneş Sistemi Gezegenlerinin Atmosferlerindeki Organik Moleküller

Güneş Sistemi'nde üç tip atmosferik ortam bulunabilir. Tablo 2'de Güneş Sistemi'nde bulunan gezegen atmosferleri içerdikleri oksijen miktarlarına göre üç grupta sınıflandırılmıştır. Birinci grup kayasal gezegenleri içerir ki bunların atmosferleri karbondioksit veya moleküler oksijen bakımından baskın ve yüksek derecede oksijenlenmiş atmosferlerdir. İkinci grup, yüksek "miktar"da CO/CH₄ oranıyla "beraber" olan, Plüton ve Triton'u içerir ve düşük derecede indirgenmiş atmosferlerdir. Üçüncü grup ise dev gezegenlerdir ki buralarda CO/CH₄ oranı düşük seviyededir ve yüksek derecede indirgenmiş atmosferlerdir. Dünya boyutlarında veya daha az boyutlarda olan iç gezegenlerin atmosferleri, hidrojenin kaçması ve Güneş Sistemi'nin içlerindeki yüksek sıcaklıklardan dolayı suyun buharlaşması sonucu oksijenlenmiş bir hale gelmiştir. Metan, kayasal olmayan gezegenlerin atmosferlerinde çok miktarda bulunmaktadır. Karbonun çoğunluğunu içinde barındıran bu atmosferlerde diğer organikler, genellikle metanın etkin olarak katıldığı fotokimyasal süreçlerle oluşmaktadır. Ayrıca Tablo 2'de gezegenlerin atmosferlerinde en bol bulunan üç grup listelenmiştir. Bileşimleri açısından, hiç bir bilinen atmosfer, yıldızlararası ortama veya kuyruklu yıldızlara benzememektedir. Atmosferlerin bileşimleri ve evrimi hakkında önemli bir gözlem ise, bunların gezegenlerin çekimleriyle yakından ilişkili olduğudur. En büyük kütleli gezegenlerin atmosferleri başlangıçtaki bileşimlerini korumuşlardır. Daha küçük gezegenlerin atmosferleri, örneğin kayasal gezegenlere ek olarak Titan, Plüton ve Triton, hafif gazlarının bir kısmını kaybetmiştir.

Uranüs ve Neptün gibi, daha küçük devler, en yüksek metan bolluğuna sahiptir. Ağır elementlerin bolluğu ayrıca Jüpiter ve Satürn'den daha yüksektir. Hidrokarbon partikülünden 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 düşünülmekte olup sadece amonyum buzu saptanabilmiştir (Atreya vd., 2003).

Venus Güneş Sistemi'nde Güneş'ten uzaklığına göre ikinci gezegendir. Çok kalın ve küresel çapta bulutlarla çevrili bir atmosfere sahiptir ki sera etkisi sonucu bu durumu almıştır. Bulutların içinde karmaşık, halen az bilinen ve su, SO₃, CO₂, vb. bileşikler içeren bir kimyasal döngü yer alır. Yüzeyinin basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 90 bar ve 730 K kadardır. Venus'ün atmosferi hiç bir organik molekül barındırabilecek gibi görünmemektedir. Karbon içeren üç molekül saptanmıştır: OCS, CO ve atmosferde baskın olan CO₂ (Bézar vd., 1990).

Güneş Sistemi'nde Dünya'nın atmosferi eşsiz biçimde farklıdır. Dünya, yüzeyinde sıvı su olduğu bilinen tek gezegendir. Okyanusların ve atmosferin arasındaki etkileşim, atmosferin bileşimini önemli şekilde etkilemektedir. Sagan ve arkadaşları (1993) Galileo uzay mekiğinin gerçekleştirdiği gözlemleri analiz etmişlerdir. Stratosferde büyük miktarlarda (tahmin edildiğinden yaklaşık 20 kat fazla) ozon gözlenmiştir. Bu durum, atmosferde önemli miktarda moleküler oksijenin var olduğu anlamına da gelmekteydi. Oksijen, hidrojen atomunun uzaya kaçmasıyla birlikte, stratosferik suyun fotolizinden oluşabilir. Volkanik etki, indüklenmiş fotoliz üretiminden 60 kat daha yüksek olabilir (Schindler ve Kasting, 2000).

Tablo 2. Gezegenlerin atmosferlerinde en bol bulunan üç grup (Roos-Serote, 2004'den)

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.

Bu yüzden, yalnızca fotoliz, atmosferdeki büyük miktardaki oksijeni sağlayamaz. Sagan ve arkadaşları (1993) stratosferdeki önemli seviyedeki ozonun yeryüzünü yüksek UV ışımından koruyacağına dikkat çekmiştir. Bu demektir ki, organik kimya için önemli olan moleküler bağlar foto-yıkımdan az zarar görmektedir. Aynı zamanda, denge hesaplamalarından beklenenden 140 kat fazla miktarda metan gözlenmiştir. Gezegende bir kaynak olmadıkça, metanın oksijen-baskın atmosferde bulunması mümkün değildir. Bu durumda olası kaynaklar biyolojik kaynaklardır. Abiyotik kaynakların (farklı aşamalar yüzünden yüzeyden gelen gazlar) katkısı ihmal edilebilir. Ek olarak, nitroz oksit yaklaşık 1 ppm seviyesinde bulunmuştur. Denge için tahmin edildiğinden yaklaşık 15 kat daha fazla bir orandır.

Mars, Güneş Sistemin'nde en ilgi çeken gezegenlerin başında yer almaktadır. Çok ince (yüzeyde yaklaşık 6 mbar basınç) ve solar radyasyonu geçiren bir atmosfere sahiptir. Bu zamana kadar Mars'ın atmosferinde her hangi bir organik gruba dair bir saptama yoktur. Hidrojen atomlarının ve bir fotokimyasal kaynağın eksikliğinden dolayı Mars atmosferinde çok büyük miktarlarda metanın varlığı beklenmemektedir. Eğer metan atmosferde bulunuyorsa iç taraflardan kaynaklanan bir gaz sızıntısından kaynaklandığı ya da biyolojik kökenli olduğu düşünülmektedir. Metanın en yüksek seviyesi 20 ppb olarak saptanmıştır (Maguire, 1977). Mars üzerinde meydana gelen bölgesel gaz sızıntısı fikri, Mars Küresel Araştırma Uzay aracı resimlerinde

görülen yüzey şekillerini açıklamak için önerilmiştir.

Titan, Güneş Sistemi'nde atmosferinde organik moleküller barındıran, en uzak ve en ilginç cisimdir. Titan'ın atmosferi Dünya'nınki ile bazı benzerlikler gösterir: her iki atmosferin toplam kütlesi (~ 5 × 10¹⁸ 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 (³⁶Ar, ³⁸Ar) oluşur. Titan'ın şimdiki atmosferinin bileşiminin, Dünya'nın yaşam başlamadan önce sahip olduğu atmosfere benzediği düşünülebilir. 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. Bu nedenle, Titan'ın atmosferi gezegene daha az bağlı olup atom ve moleküllerin kaçışı daha kolay olur. Atmosfer, UV güneş ışığına maruz kalmaktadır 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 (Coustenis ve Taylor, 1999; Tablo 3). Metan, reaksiyon zincirinin en üstünde parçalanmış halde olup bu aşama metanı atmosferden etkin olarak eler. Metan kaynağının tanımlanması, yüzeyde çözülmesi gereken "ana" problemlerden "birisidir. "Metan, Vktan için sera" etkili" önemli 'bir 'gazdır 've g 't'kaynakları durursa, atmosfer çökebilir.

Tablo 3. Titan'ın atmosferinin bileşimi (Coustenis ve Taylor, 1999'dan).

Bileşen	Mol Kesri (atm. seviyesi)	Bileşen	Mol Kesri (atm. seviyesi)	Bileşen	Mol Kesri (atm. seviyesi)
N ₂	0.98 - 0.85	Ar	<7 x 10 ⁻² (yüzey)	CH ₄	4.5 - 8.5 x 10 ⁻²
H ₂	1.1 x 10 ⁻³	Ne	<x 10 ⁻²	C ₂ H ₆	1.3 x 10 ⁻⁵ (130 km)
C ₃ H ₈	5 x 10 ⁻⁷ (110 km)	C ₂ H ₂	3 x 10 ⁻⁷ (130 km)	C ₂ H ₄	1.5 x 10 ⁻⁷ (185 km)
CH ₃ C ₂ H	5 x 10 ⁻⁹ (80 km)	C ₄ H ₂	1.4 x 10 ⁻⁹ (100 km)	C ₂ H ₂	5.5 x 10 ⁻⁹ (170 km)
H ₂ CN	1.7 x 10 ⁻⁷ (110 km) 4 x 10 ⁻⁹ (170 km)	HC ₃ N	< 1.5 x 10 ⁻⁹ (110 km) 8.4 x 10 ⁻⁹ (170 km)	CH ₃ CN	1 x 10 ⁻⁸ (320 km) 1.5 x 10 ⁻⁹ (180 km)
H ₂ O	8 x 10 ⁻⁹ (400 km)	CO	5 x 10 ⁻⁶ - 5 x 10 ⁻⁵	CO ₂	1.4 x 10 ⁻⁸ (110 km)

Titan'ın atmosferi alt stratosferde yerleştiği düşünülen küresel sis tabakasına sahiptir (Şekil 3). Sis partikülleri tam bileşimi bilinmeyen organik moleküllerden oluşmuştur. Khare ve arkadaşları (1984) tarafından yapılan ilk ünlü laboratuvar deneyinde partiküller, tolin olarak adlandırılan, Titan-benzeri gaz karışımının UV ışınlanması ve elektrik boşalmaları ile üretilmiştir. Bunların optik özellikleri, Titan sistinin optik özelliklerine benzetilmiştir. Tolinlerin 75'den fazla bileşik (hidrokarbonlar ve nitriller) ve C-H-N polimerlerini içerdiğini bulunmuştur (Khare vd., 1984).

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 bulunmuştur (Stoker vd., 1999). Bu yüzden tolinlerin, ototrofi evrilmeden önce heterotrofik mikroorganizmalar için ilk mikrobiyal kaynak olduğu düşünülmüştür. Fakat tolinlerin Titan yüzeyinde olduğuna dair şimdiye kadar açık bir kanıt bulunamamıştır.

4.2 Gezegenel Yüzeylerde Saptanan Organik Moleküller

Teleskopik gözlemlerin yorumları, Güneş Sistemi dışındaki çoğu yüzeyde H₂O buzunun bulunabildiğini göstermiştir. Ek olarak, karbon-bağlayan moleküler maddenin, dış Güneş Sistemi'nde ana bileşenler olarak bulunduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 4). Kuyruklu yıldızlar ve çoğu gezegenel uydu üzerinde H₂O buzları ve Triton ve Plüton üzerinde daha uçucu N₂ buzı görün-

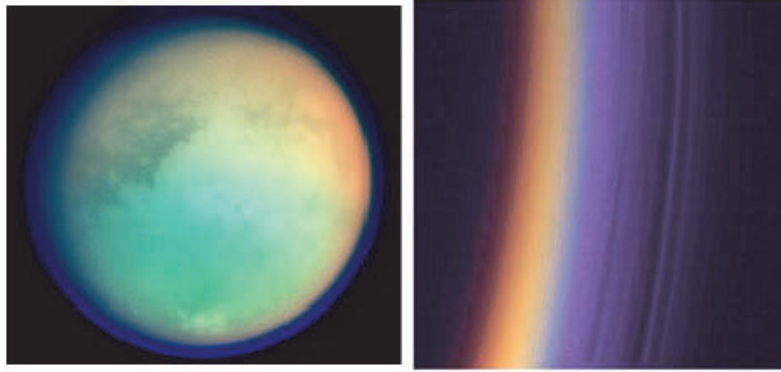
mesi, bu durum için açık birer delildir (Cruikshank ve Roush, 2004).

Güneş Sistemi cisimlerinin yüzeylerindeki maddeler, Güneş'ten gelen UV fotonlarına, kozmik ışınlara ve 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 bu radyasyon çeşitli yollarla minerallerin, buzun ve organik materyallerin kimyasal yapısını uyarır. Titan'ın atmosferinde ve diğer bütün gaz devri gezegenlerde fotokimyasal reaksiyonlar, gezegen atmosferlerinin önemli özelliklerini oluşturan, organik molekülleri ve katı aerosol partikülleri üretir. İnce atmosferler yüzeye çöker ve organikler doğrudan yüzey buzlarında oluşabilirler (Krasnopolsky ve Cruikshank, 1999).

Enerjice zengin Jüpiter radyasyon kuşağına yerleşen Jüpiter'in buzlu uyduları, yerli maddelerin veya meteoritlerin içerdiği maddelerin birbirleriyle etkileşiminde organik maddenin sentezlendiği potansiyel kaynaklardır. Europa, Ganymede ve Callisto üzerinde H₂O buzunun bulunduğu ilişkin spektral veri doğrulanmıştır. O₂ ve O₃ Ganymede üzerinde saptanmıştır (Noll vd., 1996).

Ganymede ve Callisto'da CO₂ dağılımının Jüpiter ile birlikte dönen manyetik alanın etkisiyle birlikte tutarlılık gösterdiği önerilmiştir (Hibbitts vd., 2000). Fakat SO₂ dağılımı konusunda yeterli açıklama yapılmamıştır.

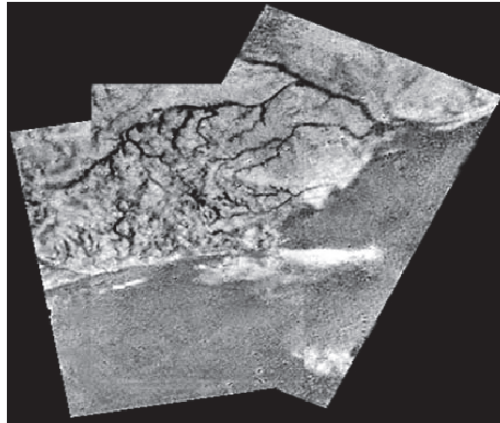
Huygens üzerindeki DISR aracı, Titan'ın yüzeyinde oldukça yeni araziler içinde nehir ağlarına benzeyen dentritik yapıları ve Titan yüzeyinde yeni sıvı akışlarını gösteren resimler elde etmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Cassini uzay aracından alınan Titan resimleri (NASA/JPL/Space Science Institute).

Tablo 4. Dış Güneş Sistemi'nde gözlenen yüzey bileşikleri (Cruikshank ve Roush, 2004'den).

Jovian Uyduları	Io: SO_2 , SO_3 , $\text{H}_2\text{S}?$, $\text{H}_2\text{O}?$
	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
Satürn'ün Uyduları	Mimas, Enceladus, Tethys, Hyperion, Phoebe: H_2O
	Dione: H_2O , C , HC , O_3
	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	
Uranüs'ün Uyduları	Ariel: H_2O , CO_2 , $\text{OH}?$
	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



Şekil 4. 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, 2005).

Titan'ın sahip olduğu düşük sıcaklığa rağmen, 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 sağlamaktadır. 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 dönüşmesi için en etkin yolu sağlamaktadır. Fakat bu tür oluşumlar gözlenmemiştir.

Evriminin ilk zamanlarında Dünya'daki kimyasal koşulları değerlendirebilmek için, kuyruklu yıldızların organik molekülleri belki de prebiyotikleri Dünya'ya nasıl yerleştirdiğini anlamak gerekmektedir (Oró, 1961). Dünya üzerinde yaşamın başlaması için ilk olarak basit organik moleküllerin "ilkel çorbası" ünlü Miller deneyi ile tanımlanmıştır (Miller, 1953). Yeterli yüksek enerjiyle birlikte, hidrojen siyanit ve aldehitleri üretmiş olan indirgenmiş atmosferde, sonradan aminoasitlerin üretimi ile sonuçlanan Strecker reaksiyonları oluşabileceği önerilmiştir. Kuyruklu yıldızlar ve ilkel meteoritler, su ve organik molekül içermektedir. Bir şeker (dihidroksiaseton), şeker alkoller (eritritol, ribitol) ve şeker asitleri (ribonik asit, glukonik asit) Murchison meteoritinde saptanmıştır, fakat riboz saptanamamıştır. Ayrıca içerisinde 70'i aşkın aminoasit bulunmuştur. Murchison meteoritinde protein olmayan bazı aminoasitlerin %9'unun L-enantiomerlerini saptanmıştır. Bu meteoritlerde L-enantiomerlerin fazla bulunması, meteorit içinde korunmuş olan asimetric aminoasitlerin, dünya-dışı asimetric aşamalarına uğradıklarını işaret etmektedir (Pizzarello ve Cronin, 2000). Llorca, (2004) karbonlu kondritlerde organik bileşiklerini Cronin ve Chang (1993)'den uyarlayarak tabloda belirtmiştir (Tablo 5).

Kuyruklu yıldızlar diğer küçük Güneş Sistemi cisimlerinden daha fazla uçucu madde içermektedir. Bu nedenle genellikle oluşumlarından bu yana, moleküler içeriklerini daha iyi korumaktadırlar. Ana bileşenleri (H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , CH_3OH , H_2CO , NH_3 , H_2S) ve bir miktar iz grupları içeren yaklaşık yirmi

kimyasal grup kuyruklu yıldızlarda bulunmuştur. Fakat kuyruklu yıldızların çekirdeğinin moleküler bileşimine dair doğrudan bilgiye ulaşılamamıştır. Tanımlanmış moleküller arasında birkaç "yapı taşı" sayılan prebiyotik molekül grupları da saptanmıştır. Örneğin, bunlar kendiliğinden sıvı su içerisinde aminoasit veya nükleik asit benzeri moleküller oluşturabilirler. Bunlar H_2CO , HCN , HC_3N , CH_3CN gibi bileşenlerdir. Kuyruklu yıldız Halley'in tozunda adeninin varlığı şüphelidir (Kissel ve Krueger, 1987). Yapılan çalışmalar sonucunda, su Wilson kuyruklu yıldızı gibi bazı kuyruklu yıldızların komalarında doğrudan saptanabilmiştir (Larson vd., 1989). 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 belirlenebilmiştir (Davies vd., 1997).

5. EVRİMİNİN İLK AŞAMALARINDA DÜNYA'DAKİ YAŞAM

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. Dünya'nın oluşumunun sonu (4,45 GY önce) ve Ay'ın oluşumuna kadar (4,0-3,8 GY önce) geçen süre içindeki Dünya'nın evrimsel tarihi tartışmalı bir konudur.

Evrimin ilk zamanlarındaki atmosferin birleşiminin, H_2O buharı, N_2 ve CH_4 gibi gazları içermesine rağmen, büyük olasılıkla CO_2 bakımından baskın olduğu ve Güneş'ten gelen radyasyon muhtemelen şimdikinden %30 kadar fazla olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden, gezegeni ılık tutmak ve okyanusları da sıvı halde sabitlemek için, ya atmosferik CO_2 'in kısmi basıncının çok yüksek olması (10 bardan yukarı), ya da örneğin CH_4 gibi, diğer sera gazlarının atmosferde bulunması gerekmektedir (Kasting vd., 1993).

Evrimin ilk zamanlarında atmosferdeki oksijen miktarı ve Dünya'nın tarihindeki serbest oksijen (O_2 gazı) miktarının yükselmesine ilişkin konular halen tartışmalıdır. Evrimin ilk zamanlarındaki Arkeyan'da jasperitlerin ve şeritli demir oluşumlarının belli miktarlarda O_2 'e ihtiyacı vardır.

Tablo 5. Karbonlu kondritlerde organik bileşikler (Llorca, 2004'den).

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-bileşikler	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		

Bu kimyasal çöküntüleri üretecek gerekli oksijen, atmosferde ve okyanusların üst tabakalarında bulunan H₂O buharının az miktarlardaki fotolizi ile türetilmiş olabilir. Fakat bu, şimdiki atmosferik seviyelerinin %1'den de aşağıdaki derişimleri temsil etmektedir. Dünya'nın ilk zamanlarındaki yaşamın anaerobik olduğu ve koruyucu bir ozon tabakasının da var olmadığı gibi, O₂'nin düşük miktarları ilk zamanlardaki yaşam için önemlidir. Bu, suların en üst tabakaları ve kara yüzeyleri gibi maruz kalan ortamlardaki habitatlara, zararlı UV radyasyonun ulaşması demektir. Diğer taraftan, gezegene çarpan kütlelerin ve volkanik aktivitelerin çok olmasından kaynaklanan toz ve aerosoller yüzünden, ilk zamanlardaki atmosferin çok kalın olduğu da önerilmektedir (Kasting vd., 1993).

5.1 Dünya'da Yaşamın İlk Zamanları

Yaşam için ilk fosil kanıt, 3,5 milyar yıl öncesine, yani Dünya'nın oluşumundan bir milyar yıl sonrasına dayanır. Dünya üzerinde yaşamın ne zaman oluştuğunu belirlemek için, 4,3-4,4 GY yaşındaki en erken kanıtlarını incelemek gerekir. Bu dönemde, yaşamın sıvı

suya ihtiyaç duyduğu prensibi önemli bir varsayımdır. Bu kanıt, daha genç kayalarda hapsolmuş birçok zirkon kristallerinin bulunmasına dayanmaktadır. Zirkonlardan elde edilen δ¹⁸O₂ izotop değerleri, düşük sıcaklıklı hidrotermal akıntılarla değiştirilmiş kabuk kaynağı ile tutarlıdır (Wilde vd., 2001). Suzengini akıntılar, Hadean Eon'daki (4,56-4,0 GY) bu erken dönemde yaşamın kökenini destekleyebilir. Diğer taraftan, Ay'ın çarpmasının kayıtlarının analizi, daha içteki gezegenlerin erken tarihlerinde yoğun çarpışma akışıyla karşı karşıya kaldıklarını doğrular ve Dünya'nın ilk zamanlarında, 4-3,85 GY arasında, bombardıman oranı zirveye çıkmış olabilir. Oysa en iyimser hipotezler bile 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 da tabaka tektoniği aşamaları ile yok edilmiş, ya da başkalaşım ile değiştirilmiştir.

Gezegenin ilk zamanlarındaki kıtasal kütleler, volkanlar veya okyanus yükseltilerinin-

den oluşmuş volkanik kayaları ve hatta kalınlaşmış okyanus kabuğu bölümlerini temsil eder. Buralar, hidrotermal bacalarıyla beraber derin-deniz ortamından subaerial çevrelere kadar, erken yaşam için çeşitli potansiyel habitatlardır. İlk zamanlarda yaşamın biyokütlesi, kaya tabakaları tarafından sağlanan güneşe maruz kalan ortamlarda 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. Yaşamın yüzeye-bağlı olduğu ve ilk organizmaların büyümeleri için yüzeyin altında bulunmaları gerektiği varsayıldığından, ilk zamanlarda Dünya'daki kayaların birleşimi önemlidir. İlk zamanlardaki yaşam şekillerinin, yaşam ağacına göre, büyük ihtimalle kemoototrofik metabolizma kullandıkları düşünülmektedir. Volkanik kayaların yüzeyleri kimyasal kemoototrofik organizmalar için ideal substrat sağlanabilir. Dünyanın ilk zamanlarındaki sıcaklıklar, hem mantoda hem de yüzeyde, büyük olasılıkla şimdiden daha yüksekti. Daha yüksek manto sıcaklıkları, daha hızlı tektonik geri dönüşümü ve daha büyük volkanik ve hidrotermal aktiviteyi sağlar. Bu sıcaklıktaki olası bir erken yaşam türünün termofilik olması gerektiği ve hipertermofilik olması hakkında kesinlik taşımayacağı önerilmiştir (Knauth ve Lowe, 2003).

5.2 İlk Zamanlardaki Arkeyan Yaşama Dair Sonuçlar

Erken Arkeyan'daki mikrofosillerin morfolojik, kolonisel ve yığın-oluşturma karakteristikleri, modern prokaryotlarınkine dikkat çekecek derecede benzerdir. Belirlenen bu karakteristikler ışığında, mikrofosillerin ve fosil biyofilm/yığınları oluşturan organizmaların tek hücreli prokaryotlar olduğu önerilmektedir. İlk hücreler olduğu düşünülen basit ve küresel hücresel yapılarla karşılaştırıldığında, bu organizmalar, dikkat çekecek derecede evrimleşmiş karakteristikler sergilemektedir (Westall ve Walsh, 2000). Günümüzde sıcak kaynakların çevrelerinde bulunan bazı amorf yapıları, dikdörtgen biçimli veya çok-duvarlı yapıları organizmaların yanı sıra, bazı spiral yapıları modern prokaryotlar, fosiller arasında bulunmamaktadır. Bazı siyanobakterilerdeki hücre farklılaşması veya

diken oluşumuna dair kanıtlar gibi mikroorganizmalara dair morfolojik özellikler (polisakkaritçe zengin kılıfları ve glikokaliks ile örtülmüş kolonileriyle) gözlenememiştir. Bu değerlendirmeler ışığında, erken Arkeyan sırasında siyanobakterilerin büyük olasılıkla var olmadığı sonucuna varılabilmektedir (Westall ve Walsh, 2000). Diğer taraftan, bütün yığınların, çok sığ su çevrelerinde ve hatta litoral çevrelerde bulunması, bu organizmaların UV radyasyona karşı dirençli olmaları gerektiğini kanıtlamaktadır. Bu aşamada, yığınların evaporitik çevrelerde bulunması, bu yığınları oluşturan organizmaların halotolerant olmaları gerektiğini düşündürmektedir.

6. EKSTREMOFİLLERİN DÜNYA-DIŞI YAŞAMLA İLİŞKİSİ

Ekstremofillerin araştırılma nedenleri arasında, ekstremofilleri uzay için kullanmak, yaşam desteği olarak kullanabilmek, onları dünyalaştırmak, ekstrem ortamlarda yaşayabilirliği sağlayan mekanizmaları ile Dünya üzerindeki yaşamın biyoçeşitliliğini kullanarak uzaydaki yaşamın sınırlarını anlayabilmek gibi bir çok hedef sayılabilir (Rothschild, 2007). Popüler bilim yazarı olan Richard Proctor tarafından, ekstremofillerin evrende yaşamın aranması için kullanılması ile ilgili olarak, ilk defa "diğer gezegenlerde yaşam" ve "ekstrem ortamlarda yaşam" arasında bir ilişki kurulmuştur (Proctor, 1870).

Yaşamın kökenine dair en geleneksel yaklaşımlarından biri, günümüze kadar gelen en basit hücresel 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 günümüzde mikoplazmaların antik ve "karmaşık" bakteriler olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan, bazı yazarlar,

LUCA'nın, sıcak Dünya üzerinde ortaya çıktığını ve günümüzdeki hipertermofillerin bunun doğrudan nesilleri olduğunu varsaymaktadır (Wiegel ve Adams, 1998).

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

Bakteriler arasında, çeşitli ekstrem koşullara en iyi şekilde uyum gösteren siyanobakterilerdir. Yellowstone'da yapılan bazı çalışmalarda, ~70°C gibi sıcaklıklarda, bazı yeşil sülfür bakterileriyle, bilinen en termofilik fotosentez yapan organizmalar ile birlikte siyanobakteriler izole edilmiştir (Madigan vd., 2002). Bu canlılar aerobik ve anaerobik koşullarda, hipersalin ve alkalik göllerde yaşayabilirler. Bunlar yüksek metal derişimlerine ve endolitik komüniteler oluşturarak kseroofilik koşullara tolerans gösterebilirler. Fakat, asidik koşullara dirençleri sınırlıdır.

Ökaryotlar arasında, funguslar, yalnız veya siyanobakterilerle simbiyoz içerisinde veya alglerle birlikte likenleri oluşturarak çok yönlü ve ekolojik olarak başarılı canlılardır. Hipertermofilik dışında, en çok termofilik ökaryotlar olmalarına karşın, 60-64°C'lerde yaşarlar. Çoğunluğu aerobiktir fakat bazıları anaerobik olabilirler. Bu mantarlar, maden bölgelerindeki asidik ve metal-zengini sularda, alkaline ortamlarda, Ölü Deniz gibi hipersalin bölgelerde, sıcak ve soğuk çöllerde, ~ 11000 m derinliğe sahip Mariana Çukuru gibi derin-denizlerde vb. ortamlarda yaşarlar (Yayanos, 1995).

Archaea, genellikle bakterilerden ve ökaryotlardan daha az çeşitliliğe sahiptir fakat uyum konusunda oldukça yeteneklidirler. Örneğin, *Pyrolobus fumarii* yakın zamana kadar bilinen en hipertermofilik organizma iken (113°C - Blöchl vd., 1997), yapılan araştırmalarda, Pasifik derin-deniz ağzından diğer bir archae izole edilmiştir (121°C - Kashefi ve Lovley, 2003). Benzer olarak bazı archaealar arasından, en halofilik ve alkalifik mikroorganizmalar belirlenebilmiştir. Halofilik archaea'nın spor

oluşturmadığı göz önünde bulundurulduğunda, bu dikkat çekici bir özelliktir. Halofillerden en uzun yaşayan organizma rapor edilmiştir (*Bacillus permians*-250 milyon yıl; Fish vd., 2002). Archaealar arasında yer alan metanojenler dikkat çekicidir. Bu organizmalar, *Methanopyrus kandlerii* gibi ~110°C'den başlayıp 0 - 2°C'ye varan termal aralıkta, soğuk deniz sedimentlerinde yaşayan tam anaeroblardır. Çoğu metanojen ayrıca asidofilik, alkalifik veya halofiliktir (Madigan vd., 2002).

7. UZAYDA YAŞAM

Uzay, aşırı sıcaklık değişimleriyle, filtrelenmemiş solar radyasyonu, solar rüzgarları, galaktik radyasyonu, uzay boşluğu ve ihmal edilebilir kütle çekimiyle, biyolojik sistemler için yaşanamaz bir ortam olarak düşünülmektedir (Tablo 6).

7.1 Uzayda Mikrobiyolojik Deneyler

Uzay ortamına ilişkin ilk mikrobiyolojik deneyler, 1935'de Stratosferik Explorer 2 ile, 25 km yüksekliğe ulaşılarak yapılmıştır (Stevens, 1936). Bu çalışmada fungi sporları, düşük sıcaklık, azalmış atmosferik basınç ve doğrudan solar radyasyona maruz bırakılmıştır. Uzay teknolojisinin gelişmesiyle, mikrobiyolojik örnekler, Dünya yörüngesi uçuşlarında, galaktik radyasyonun, yer çekiminden kurtulma durumu ve diğer uzay uçuşları etkilerinin biyolojik sistemlere olan zararlarını tanımlamak için kullanılmıştır. Bu süreçte virüsler, bakteriler, mantarlar, bitkiler ve hayvanlar dahil olmak üzere çeşitli biyolojik sistemler değerlendirilmiştir (Taylor, 1975). Doğrudan uzaya maruz kalan korunmamış Dünyasal mikroorganizmaların başarılı şekilde geri döndürülmesi ilk kez 1968'de gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde, *Bacillus subtilis* sporları, tip III poliovirüs ve *Escherichia coli* bakteriyofajı T-1, 500 saniye süre ile 155 km yükseklikteki koşullara maruz bırakılmıştır. Bunu, ADY ile ilişkili bir seri deney takip etmiştir.

Mikroorganizmaların uzay koşullarına maruz kalma faaliyetleri üzerine olan ilginin artmasıyla birlikte ESA, kısa-zamanlı maruz kalma deneyi olan BIOPAN ve uzun-zamanlı maruz kalma deneyleri EXPOSE programını geliştirilmiştir. Sekiz uluslararası bilimsel grup, EXPOSE deneyi süresince 1000'den fazla biyolojik ve kimyasal örnek kullanmıştır (Horneck ve Rettberg, 2007).

Tablo 6. Gezegenlerarası uzay ve ADY çevrelerinin karakteristik özellikleri (Horneck ve Rettberg, 2007'den).

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.

7.2 Mikroorganizmaların Yaşaya-bilirliğine Dair Sonuçların Analizi

Yapılan maruz bırakma deneylerinde, mikroorganizmalar hem saf kültür, hem de karışık komüniteler olarak incelenmişlerdir. Saf kültür deneylerinin büyük bir kısmı prokaryotlar üzerine odaklanmış olup bu organizmaları, insan-kaynaklı mikroorganizmalar ve ekstremofiller olarak iki gruba ayırmak mümkündür. İnsan-kaynaklı mikroorganizmaları araştırmak, insan sağlığı ve gelecekteki görevler için önemlidir. Uzayda yaşayabilirliğin fizyolojik ihtiyaçlarını araştırmak için ise ekstremofiller büyük önem taşır.

Ekstremofillerin kullanıldığı çoğu deneyin odak noktası, Mars üzerinde olası mikroorganizma yaşayabilirliğinin, gezegen üzerinde, geçmişte veya şimdi olması ihtimalinin araştırılması hedefidir. Mars kayalarının matriksi (kriptoendolitler), polar buz zirveleri, kutuplardaki sürekli donmuş topraklar, buz-altı hidrotermal bacalar veya evaporitler gibi korunmuş çevrelerde mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri öngörülmektedir. Bu yüzden, Dünya üzerinde bu çevrelerde yaşayan halofil, endoevaporit, kriptoendolit, psikrofil ve UV dirençli ekstremofiller, maruz bırakma deneylerinde kullanılmıştır (Friedmann ve Koriem, 1989). Ek olarak, Mars atmosferinde metanın keşfiyle birlikte sadece metanogenesizin varlığı ile açıklanabilecek bir varsayım ortaya atılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda, Mars koşullarında metanojenlerin etkileri belirlenmiştir. Mars üzerinde metanojenler,

potansiyel olarak yüzey altı ortamlarda, yıkıcı UV radyasyonundan korunmuş şekilde, hidrojenin üretildiği jeotermal bölgelerin yakınlarında bulunması sonucuna varılmıştır (Formisano vd., 2004).

Sıcaklık, UV radyasyon ve düşük basınç gibi ekstrem ortam koşullarına dirençli oldukları bilinenler, endospor-üreten bakteriler, çoğu maruz bırakma deneyleri için model organizmalar olarak kullanılmıştır. En yoğun olarak kullanılan bakteri, yüksek derecede sert koşullara dirençli olduğu için endospor-üreten *Bacillus subtilis*'tir (Horneck ve Rettberg, 2007). Gezegenlerarası ve benzetilmiş Mars yüzeylerindeki Güneş-kaynaklı ultraviyole radyasyon, kullanılan organizmalar üzerine yüksek seviyede letal doz oranları içermektedir. 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-süreli yaşayabilecekleri halen kesin değildir.

Komünite çalışmaları kaya veya toprak gibi çevresel örneklerdeki mikrobiyal popülasyonun *in situ* maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çevresel örnekler genellikle farklı olduğundan, maruz bırakılan tür sayısı saf kültürdekilerden daha fazladır. Çalışmalar sürecinde, maruz bırakılan komünite, dirençli olan mikroorganizmaları seçer, bu sebeple ortamdaki mikrobiyal yaşayabilirliğin fizyolojik ihtiyaçları hakkındaki öngörüler denir. Komünite çalışmaları, maruz

bırakma çalışmaları için kullanıldılarsa da, çevresel örnekler homojen olmayabilir.

7.3 Farklı Yaklaşım ve Çalışmalar

İdeal bir yaklaşım, hem komünite, hem de saf kültür tekniklerinin birleştirilmesiyle uygulanabilmiştir. Çalışma, topraktan izole edilen mikroorganizmaların tasarlanmış Mars koşullarına maruz bırakmasını içermektedir. İzolatların fizyolojisi sonradan karakterize edilebilmiştir. Olsson-Francis ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, kireçtaşı kayalarından izole edilen siyanobakteriler, ADY ve tasarlanmış Mars koşullarına maruz bırakılmıştır (Davis ve Fulton, 1959).

Farklı bakış açıları içeren diğer araştırmalar ise, fungusların ve bakterilerin radyasyonla ilişkilerine dair yapılan çalışmalardır. İsrail'deki Evolution Canyon'un yüksek solar radyasyon içerdiği bilinen kuzey yamacından izole edilen *Aspergillus*, *Alternaria*, *Humicola* gibi türlerinin yüksek radyasyonlu ve çok soğuk Arktik ve Antarktik bölgelerde yerleşen funguslara fazla melanin içermeleri bakımından çok benzerlik göstermesi ilgi çekicidir (Singaravelan vd., 2008). Asıl ilginç olan ise, Çernobil reaktörünün hasara uğramış duvarlarında koloni oluşturan (Mal'tsev vd., 1996) ve aynı zamanda Mir Uzay İstasyonu (Alekhova vd., 2005) ve UUI yüzeyinde koloni oluşturan fungus (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Saccharomyces*, *Cladosporium* gibi) ve bakterilerin (bazı Gram pozitif ve Gram negatif basiller) benzer şekilde radyasyona uyum göstermek için, melanin ve diğer pigmentlerinin miktarını arttırdıklarının belirlenmesidir.

Diğer taraftan, mikroorganizmaların farklı uzay ve gezegensel UV koşullarına moleküler uyumunun araştırılmasını içeren ADAPT deneyi üzerinden alınan sonuçlar dikkat çekicidir. Bu deneyde *Bacillus subtilis* hücreleri, devresel UV radyasyonu (200 - 400 nm) altında devamlı kültüre alınmış ve 700 generasyon oluşturulmuştur. Bu şekilde, ilk zamanlarında Dünya üzerinde ozon tabakası oluşmamışken, 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 evrimleştiği bulunmuştur. UV stressine karşı dirençliliğin ardışık nesillerde

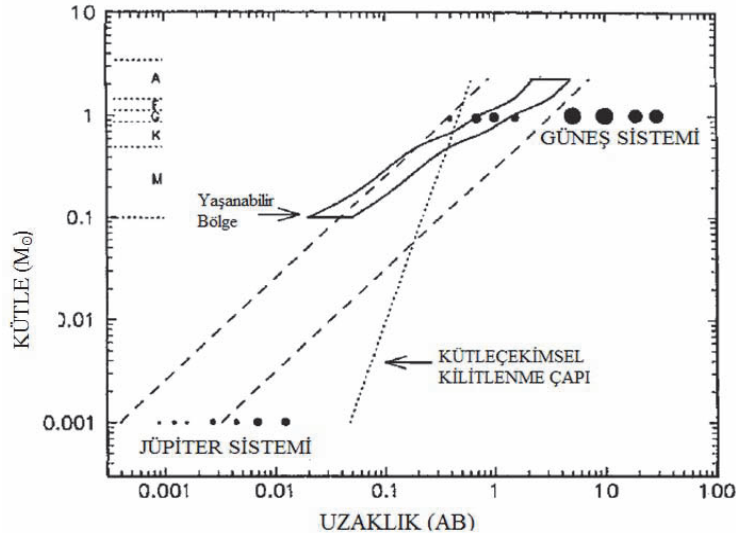
artmasına, benzer olarak kuruluk ve aşırı tuzluluk ekstremelerine karşı uyum da belirlenmiştir (Wassmann vd., 2010).

7.4 Yaşanabilir Bölge ve Yaşamın Evrene Dağılımı

Yıldızsal yaşanabilir bölgeler, en azından bir zaman aralığında sıvı su bulundurabilmiş, yıldızın enerji verimiyle tanımlanan bölgelerdir. Yıldız ne kadar enerji üretirse, bölge yıldızdan o kadar uzak olur. $0.5 M_{\odot}$ ila $1.5 M_{\odot}$ kütle aralığındaki yıldızların üçte ikisi (veya daha fazlası) çift ve çoklu yıldız sistemleri meydana getirir. Bu çift sistemlerin %50'sinin yaşanabilir bölge barındıracağı belirlenmiştir. Ötegezegenler için, Güneş Sistemi'ni etkileyen benzer etmenler uygulanabilir (Şekil 5). 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 olarak belirlenmiştir (Kasting vd., 1993).

En sıcak O ve B sınıfı yıldızlar hemen kararsız hale gelebilir ve süpernova olarak patlar. Güneş-benzeri yıldızsal sınıflar olan F ve G sınıfları, dünyasal yaşam için uygundur. Ancak, soğuk K ve M sınıfı yıldızların etrafındaki yaşanabilir bölge, yıldızın yakın civarında değildir. Yıldızlarına çok yakın yörüngelenen gezegenler, eş zamanlı bir döngüsel hareket içerisinde kilitlemiş hale gelebilirler ve yıldıza doğru her zaman aynı yüzlerini gösterirler (Tablo 7).

Dev gezegenler yaşanabilir bölgeyi önemli derecede etkileyebilirler. Jüpiter büyüklüğündeki çok dar yörüngelere sahip gezegenler üzerine yapılan çalışmalar, gaz devlerinin nebular diskin dış kısımlarında oluştuğunu, daha sonra iç kısımlara doğru gelebildiğini ve büyük olasılıkla yolları üzerindeki kayasal gezegenleri ortadan kaldırdığını göstermiştir. Diğer taraftan, 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 azalacaktır.



Şekil 5. Farklı kütleleri yıldızların yaşanabilir bölge konumları (Kasting vd., 1993'den)

Tablo 7. 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	

Evrende çok sayıda galaksi tipi bulunur ve bunlar dünyasal yaşam için farklı koşullara sahiptir. Dünyasal yaşamı barındırdığı bilinen tek geniş spiral galaksi Samanyolu Galaksisi'dir. Sferoid galaksiler, farklı oluşum tarihlerine ve içsel kinematiklere sahiptir. Bunların dünyasal yaşam için az tercih edilebilir olduğu belirtilir. Galaktik Yaşanabilir Bölge (GYB) terimini

Samanyolu'nun yaşama en iyi şekilde ev sahipliği yapacak bir kısmı için, yıldızların etrafındaki yıldızsal yaşanabilir bölgeye benzer şekilde tanımlanır. Bu bölgeyi tanımlamak için anahtar parametreler; metalik, süpernova sıklığının yakınlığı ve yıldızsal yaşdır (Gonzalez vd., 2005).

Ana yıldızın metalliği, solar sistem oluşumunun meydana gelmesini sağlayan önemli bir faktördür İyi gözlenmiş 754 yıldızın metalliği sınanmış ve düşük metalikte, Fe/H = -0.5, gezegenlerin popülasyonun azaldığını rapor edilmiştir. 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 belirlenmiştir (Fischer vd., 2004). Galaksinin merkezine doğru yıldızların yoğunluğu arttığı gibi, yıldızsal metalik de artar. Bu yüzden gezegen oluşumunun ve böylece solar yaşayabilirliğin, galaktik çapın azalmasıyla birlikte artabildiğini kanıtlanmıştır.

Süpernovaların ~10 parsek alanda şiddetli etkileri olmaktadır. Başlangıçtaki patlama, bir gezegenin ozon tabakasını yıkar, yaşamı doğrudan solar UV radyasyona maruz bırakır ve patlamadan ~10³ yıl sonra, süpernova artığı gezegene ulaşmadan önce sürekli kozmik ışın artışı gözlenir. Süpernovaların, galaksinin daha yoğun bölgelerinde tercihen meydana geldiği belirlenmiştir (Clark vd., 1977). 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 kuran Lineweaver ve ark. (2004), dairesel GYB'nin, galaksinin merkezinden 7 ve 9 kpc arasında uzaklıkta olduğunu belirlemişlerdir. Merkeze 7 kpc'den daha yakında, gelişmiş türler evrimleşmeden önce, süpernovalar yaşamı ortadan kaldırır. Merkezden 9 kpc ötesinde ise, düşük metalik kapasitesi, dünyasal gezegen oluşumunu sınırlamaktadır. Yapılan çalışmalarda, galaksilerin GYB'nde olasılıkla %10 kadar yıldızın oluştuğu belirlenmiştir (Lineweaver ve ark., 2004). Güneş, Galaksi'nin merkezinden 8,5 kpc uzaklıkta, spiral kolların dönme bölgesinde bulunduğu süpernova bölgesine hareket etmemektedir.

7.4.1 Gezegenler ve Gezegenel Habitatlar

Dünyasal yaşamın bulunmasına yönelik araştırmalar, yaşanabilir gezegenel çevrelerin keşfini, bunların evriminin modellenmesini ve bu ortamların fiziksel ve kimyasal tanımlanmasını içermelidir. Yaşama-fırsat vermesi için diğer gezegenler, sıvı su ve kararlı bir iklime sahip olmalıdır. Gezegenel habitat, ayrıca biyolojik olarak kullanılabilir enerji kaynaklarına,

ekolojik besinlere ve yaşamın ortaya çıkmasına, evrimleşmesine ve varlıklarını sürdürebilmesine izin verecek şekilde çevresel tutarlılığa sahip olmalıdır.

Gezegen yüzeyindeki yaşam, sıcaklık, rüzgar, radyasyon ve nemlilik gibi çevresel ekstremelere daha çok maruz kalır. Örneğin yüzey altında gelişen yaşam, kalın toprak ve kaya tabakalarıyla korunur. Yüzeyinde dünyasal yaşam barındıran bir gezegen veya uydunun, yüzeyindeki sıvıların uzay boşluğuna buharlaşmasını önlemek, yüzeydeki yaşamı zararlı kozmik ve UV radyasyondan korumak ve yüzeyi potansiyel olarak tahrip edici bazı meteor çarpmalarından korumak için, atmosfere ihtiyacı vardır. Meteoritler gezegen yüzeyini tehdit eden en ciddi faktörlerdir. Diğer taraftan, yüzey altında Dünyasal yaşamın bazı belirgin avantajları kolaylıkla fark edilebilir. Sıcaklıklar ve buhar basınçları sabittir ve radyasyonun zarar verici etkilerinden korunmak olasıdır. Fakat, enerji kaynağı olarak Güneş ışığının kullanılmaması, burada mikroorganizmaların çeşitliliğini sınırlandırır. Bu bölgelerde genellikle derinlikle birlikte sıcaklık artar ve sıvı durumlarda suyun yapmış olduğu basınç artar. Bu şartlarda, yaşanabilir ortamın sınır koşulları değişmiş olur.

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, büyük buzlu uydular Europa, Ganymede ve Callisto'nun buzlu kabuklarının altında sıvı su bulundurdıkları düşünülmektedir (Coustenis ve Taylor, 1999). Mars'ın üst kabuğundaki mevcut yer altı suyu için bulunan kanıt, günümüzde önemli bir çalışma konusudur. Dünya üzerinde bildiğimiz akuatik yaşamın bu ortamlarda da mevcut olabileceği öngörülmektedir (Carr, 1996). Io'nun yüzeyi donmuş haldedir. Periyodik lav akışlarının yüzeyi üstten, gelgit esnemesinin ise bu kayalık gezegenimsiyi alttan ısıttığı düşünülmektedir. Titan'ın yüzeyinden ayrı olarak yer altında, radyojenik ısınma etkisiyle sıvılaştırılmış bir amonyak, su ve organik bileşiklerin karışımına sahip olduğu düşünülmektedir (Coustenis ve Taylor, 1999).

Dünya atmosferi yaşam açısından uygun bir habitat olarak nitelendirilmemektedir. Şimdiye kadar atmosferde yaşam döngüsünü tamamlayan bir organizma kayda geçirilememiştir. En küçük organizma bile havadan daha yüksek bir yoğunluğa sahip olmasına rağmen, bakterilerin kısa sürelerde Dünya üzerindeki bulut aerosollerinde buldukları belirlenmiştir ve besinlerce zenginleştirilmiş yağmur suyunun ve sisin, mikroorganizmalar için iyi bir altkatman sağladığı önerilmiştir (Fuzzi, 2002). Avusturya'daki Sonnblick Gözlemevi'nde yapılan çalışmalarda, 3106 m yükseklikteki yoğunlaşan bulutlar analiz edilmiş ve mikroorganizmaların süper soğutulmuş bulut damlacıklarında bölündükleri belirlenmiştir (Sattler ve ark., 2001).

Yapılan araştırmaların sonuçları çerçevesinde, Dünya'nın kararsız ve ince atmosferinin yerine, Venüs, Titan ve gaz devlerinin daha yoğun atmosferlerinde yaşamın oluşabileceği öngörülmüştür. Özellikle ultraviyole frekanslarının etkin olduğu Güneş ışığı, gezegen atmosferlerindeki basit organik moleküller ile etkileşerek, enerji zengini bileşiklerin oluşmasını tetiklemektedir. Örneğin, organik açıdan zengin olan Titan atmosferinin, Dünya'dan %50 daha yoğun olmasının yanı sıra, benzer yönden yaşamı destekleyebileceği varsayılmaktadır. (Sagan and Salpeter, 1976).

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

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. Bu kapsamda "Dünyasal ekstremofil organizmaların uzaysal ortamlarda yaşamlarının mümkün olabilirliği" sorgulanmalıdır. Mikrobiyolojik anlamda uzaydaki yaşam olasılığını değerlendirmek için, bu iki bakış açısını, ortak bir paydada değerlendirmenin gerekli olduğu fikri, bu çalışmanın temel sonuçlarından birini oluşturmaktadır.

Uzay ortamını mikrobiyal açıdan değerlendirmenin ilk bakış açısı kapsamında, yıldızsal ortamların fiziksel ve kimyasal koşulları ile mikrobiyal oluşum süreci ilişkilendirilmelidir. Yıldızlararası ortamlarda yüzlerce organik molekül saptanmıştır. Fakat daha karmaşık, biyolojik organik moleküller ve biyolojik bir oluşum saptanamamıştır. 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 yetmemesi olabilir. İkinci faktör ise, uzaysal ortamda mikrobiyal yaşamı baskılayacak çeşitli etmenlerin varlığıdır. Uzaysal ortamda mikrobiyal yaşamın baskılanma sebepleri arasında; yıldızlararası ortamın sürekli yüksek radyasyona maruz kalması, moleküler bulutların organik moleküllerinin birbirleriyle reaksiyona girmesine olanak tanımayacak oranda çok geniş alana yayılmış olması ve ortamın çok soğuk olmasından dolayı organik moleküllerin çoğunlukla buzların içerisinde hapsedilmiş olması gibi etmenler sayılabilir. Üstelik, mikroorganizmaların oluşumu için fizyolojik ve morfolojik yapıları açısından çok daha karmaşık organik moleküllerin düzenli bir sistem oluşturması gerekmektedir.

Diğer taraftan, ilkel gezegen oluşum disklerinde gezegen oluşumu evresinde yoğunlaşmanın fazla olması, sıcaklığın da kimyasal reaksiyonların oluşmasına imkan verecek düzeyde olması sebebiyle, yaşamsal öneme sahip elementler ve oluşan karmaşık organik moleküller, meydana gelen gezegensel cisimlerde de bulunabilmektedir. Ancak yaşamsal öneme sahip elementler ve organik moleküllerin varlığının yaşamın varlığını zorunlu kılmayacağı öngörülebilir. Bu nedenlerle, bu çalışma kapsamında, panspermia hipotezine ters düşerek Dünyasal yaşamın yıldızlararası ortamlarda oluşmasının mümkün olmadığı öngörüsüne ulaşılmıştır. Nitekim, şimdiye kadar incelenen asteroidal veya kuyruklu yıldızsal meteoritlerde, çeşitli organik moleküllerin yanı sıra, fazla miktar su ve azot bulunmasına rağmen, hiçbir biyolojik yapıya rastlanmamış olması, bu çalışmada oluşturulan bu öngörüü desteklemektedir.

“Eğer uzayda yaşam var ise, nerede ve hangi gezegende?” cümlesi, üzerinde düşünmeye değer önemli bir sorudur. 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. Bu bağlamda O, A, B, M ve K sınıfı yıldızların, basit yaşamsal oluşum ve mikrobiyolojik evrim için yeterli özelliklere sahip olmadığını düşünüyoruz. Ayrıca, Dünyasal yaşam için, bir yıldız ile bu yıldızın yaşanabilir bölgesi arasındaki uzaklık yaklaşık olarak 0,3 - 2,5 AB olmalı, Dünyasal yaşam formu içermeye aday bir gezegensel sistemin galaksideki yeri, galaksinin merkezinden 7-9 pc uzaklıkta bulunmalıdır. Ek olarak, yıldızsal yaşanabilir bölgeyi, yıldızların metelliği ($Fe/H=+0,5-(-0,5)$), 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 kütlelerinde 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 belirtilen etmenler göz önünde bulundurulduğunda, Dünya-benzeri bir gezegen, üzerinde bir yaşam aktivitesi bulmanın oldukça zor olduğu ve eğer evrende varsa bile, bu sistemin oldukça ender olduğu fikrindeyiz.

Dünyasal mikrobiyal bir organizma, yıldızlararası ortamda oluşamayacak ise, yaşamsal kökeninin, Dünya-benzeri bir gezegenin yüzeyinde veya yüzeyinin altında oluşması gerektiğini vurgulamaktayız. Ancak, Dünya evriminin ilk zamanlarındaki ortam (erken Dünya okyanusu ve atmosferi) ve yaşamın kökeni hakkındaki yetersiz veriler, bu konuda gerçeğin ortaya konmasını zorlaştırmaktadır. Filogenetik ağaç incelendiğinde de, ortak ataya

en yakın olan türlerin yine sıcak-seven türler olduğu görülmektedir. Bu durumun aynı şekilde sıcak köken kavramını desteklediği düşünülmektedir. 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, bu gezegenlerde belirtilen şekilde bir başlangıcın meydana gelmesi mümkün değildir.

Diğer taraftan, Dünya üzerindeki 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 olduğu 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, yaşamsal aktiviteye ilişkin herhangi bir spektrum değeri bulunmamıştır. Bundan dolayı bu yerlerde mikrobiyolojik bir aktivitenin var olmadığını ve olamayacağını öngörüyoruz. Nitekim, Güneş Sistemi’ni ele aldığımızda, Güneş’in yaşanabilir bölgesi dışında bulunan gezegenlerin de aynı şekilde mikrobiyal bir yaşama dair verilere sahip olmaması, bu öngörümüze destek olarak gösterilebilir.

Uzay ortamını mikrobiyal açıdan değerlendirmenin diğer bakış açısı ise Dünyasal ekstremofil organizmaların uzay koşullarında yaşamlarının mümkün olup olmadığını sorgulamaktır. Bu organizmaların çoğu, 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 normal olarak bu organizmaların yaşayabilirliklerini sürdürebilecekleri düşünülebilir. Fakat öncelikle 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 vurguladığımız gibi, en başta Güneş Sistemi içerisinde, diğer gezegenlerde mikrobiyal bir yaşam belirlenmemiştir. Bu bağlamda, Dünya'da farklı çevrelerde yaşamlarını sürdürebilen organizmaların, kökensele olarak yaşadığı çevreye uyum gösterecek şekilde oluşması ve ilişkili olarak Dünyasal filogenetik ağacın yeniden düzenlenmesi gerektiği gibi çıkarımlarda bulunmaktayız.

Bu düşünceye dair bir diğer kanıt ise, uzay çalışmaları verilerinden elde edilebilir. Çeşitli mikroorganizmaları uzay ortamına maruz bırakma deneylerinin sonuçlarına göre, mikroorganizmalar, korunmasız olarak uzay koşullarına maruz bırakıldığında, uzay ortamındaki radyasyonun etkisiyle yaşamlarını sürdüremedikleri görülmüştür. Çalışmalarda, koruyucu bir destek içerisinde maruz bırakılmış organizmaların, ancak sınırlı süre aralığında yaşamlarını sürdürebildikleri bulunmuştur (en uzun maruz bırakılma süresi 6 yıl). Uzay ortamına maruz kalma ve Mars benzetimi deneylerinde kullanılan mikroorganizmalar çoğunlukla, konumun fiziksel koşullarına uygunluğuna bakılmaksızın, Dünyasal olağan organizmalardan seçilmiştir. Çalışmaların sonucu olarak, bu organizmaların atasal özelliklerinden çok farklı olarak ortama uyum gösterdikleri belirlenmiştir. Örneğin, *Deinococcus radiodurans*'ın, 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. Aynı şekilde, *Bacillus subtilis*'in, radyasyona uyum gösterecek şekilde atasından farklı olarak DNA onarım mekanizmasını geliştirdiği ve

hücresele 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 aşamada, 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 belirlenmiştir. Mikrobiyal organizmaların Dünya üzerinde gösterdikleri bu muazzam uyum aktivitesine rağmen, diğer gezegenlerde bulunamayışları şaşırtıcıdır. Bu ortamlara özgün bir mikrobiyal yaşamın oluşup evrimleşmemesi ve diğer gezegenlerin sahip oldukları fiziksel ve kimyasal koşulların Dünyasal mikrobiyal yaşamı desteklememesi sebebi ile, beklenebilir bir durumdur ve çıkarımlarımızı desteklemektedir.

Eldeki verilerin değerlendirilmesinin sonucu 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 oldukça ender olduğunun varsayılması gerektiğini,
3. Diğer gezegenlerin de oluşumları ve yaşam süreleri dikkate alındığında, bu süre içerisinde, mikrobiyolojik bir yaşamın oluşması ve evrim geçirmesi gerektiğini,
4. 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,

5. Farklı kimyalara ve farklı fizyolojilere sahip organizmaların varlığı söz konusu olduğunda, Dünyasal mikrobiyolojik yaşam için sınırlandırılan yaşanabilir bölge tanımlamasının önemsenmeyebileceğini,

6. Dünya'nın, üzerinde gelişen yaşam ile birlikte, Evren'de özel ve özgün olduğunu, savunuyoruz.

Bu gerekçeler ile uzaysal ortamlarda Dünyasal bir yaşam formunun olmadığını ve olamayacağını savunuyoruz. Öngörümüzün teknolojik kısıtların olmadığı gelecekteki çalışmalar ile destekleneceği görüşündeyiz.

Bu görüşe dayanarak:

a. Uzayda yaşam arayışlarını daha geniş bakış açısıyla, Dünyasal kimya ve Dünya-benzeri gezegenler ile sınırlamayı keşfetmek,

b. Yaşam arayışı teknolojilerini, Dünyasal yaşam aramanın yanı sıra, farklı yaşam biçimlerini araştırmaya yöneltmek,

c. Dünya evriminin ilk aşamalarında, yaşamın başlangıcı araştırmalarını, uzay ortamındaki mikrobiyal yaşamın yanıtı ile ilişkilendirmek ve değerlendirmek,

d. Diğer gezegenlerdeki yaşam oluşumu araştırmalarının sonuçlarından yola çıkılarak, Dünya evriminin ilk zamanlarındaki yaşamın kökeni tahminlerini ve dolayısıyla Dünyasal filogenetik ağacı yeniden düzenlemek,

e. Dünya'daki yaşamın Dünya'ya özgü olduğunu vurgulayarak, erken Dünya'nın, yaşamın oluşmasını sağlayacak, diğer gezegenlerden farklı, hangi özelliklere sahip olduğunu ve hangi aşamalardan geçtiğini, bu çerçevede dahilinde yeniden keşfetmek gerektiği inancındayız.

KAYNAKLAR

Alekhova, T.A., Aleksandrova, A.A., Novozhilova, T.9 D., Lysak, L.V., Zagustina, N.A. and Bezborodov, A.M. (2005). Monitoring of microbial degraders in manned space stations, *Prikladnaia Biokhimiya Mikrobiologiya* 41, 435-443.

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, *Planetary and Space Science* 21, 105-112.

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.

Bézar, B., de Bergh, C., Crisp, D. and Maillard, J.P. (1990). The deep atmosphere of Venus revealed by High-Resolution Nightside Spectra, *Nature* 345, 7, 508-511.

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.

Cameron, A.G.W. (1973). Abundances of the elements in the Solar System, *Space Science Reviews* 15, 137.

Carr, M. (1996). Water erosion on Mars and its biologic implications, *Endeavour* 20, 56-60.

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.

Clark, D.H., McCrea, W.H. and Stephenson, F.R. (1977). Frequency of nearby supernovae and climatic and biological catastrophes, *Nature* 265, 318-19.

Coustenis, A. and Taylor, F. (1999). Titan-the Earth like Moon, Series on Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics 1, World ScientificWc.

Cronin, J.R. and Chang, S. (1993). Organic matter in meteorites: molecular and isotopic analyses of the Murchison meteorite, In: *Greenberg J.M. (Eds) The chemistry of*

- life's origins*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 209-258.
- Cruikshank, D.P. and Roush, T.L. (2004). Observations and Laboratory Data of Planetary Organics, In; *Ehrenfreund, P., et al., (Eds.) Astrobiology: Future Perspectives*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands 149-177.
- Davies, J.K., Roush, T.L., Cruikshank, C.P., Bartholomew, M.J. and Geballe, T.R. Owen, (1997). The detection of water ice in comet Hale-Bopp, *Icarus* 127, 238-245.
- Davis, I. and Fulton, J.D. (1959). Microbiologic studies on ecologic considerations of the Martian environment, *Aeromedical Reviews* 2-60.
- Dutrey, A., Guilloteau, S. and 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.
- Fischer, D.A., Valenti, J. and Marcy, G. (2004). Stars as Suns: Activity, evolution and planets, In: *A.K. Dupree, A.O. Benz (Ed), 219th Symposium of the International Astronomical Union, IAU General Assembly XXV*, Sydney (Australia), July 2003. *Dordrecht, Kluwer, Academic Publishers* 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.
- Formisano, V., Atreya, S., Encrenaz, T., Ignatiev, N. and Giuranna, M. (2004). Detection of methane in the atmosphere of Mars *Science* 306, 1758-1761.
- Friedmann, E.I. and Koriem, A.M. (1989). Life on Mars: how it disappeared (if it was ever there), *Advances in Space Research* 9, 167-172.
- Fuzzi, S. (2002). Organic component of aerosols and clouds, EUROTRAC-2 Symposium 2002, Transformation and Chemical Transformation in the Troposphere, Garmisch-Partenkirchen (Germany).
- Goldsmith, P.F. and 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.
- Hibbitts, C.A., McCord, T.B. and Hansen, G.B. (2000). Distributions of CO₂ and SO₂ on the surface of Callisto, *Journal of Geophysical Research* 105, 22541-22557.
- Horneck, G. and Rettberg, P. (2007). Complete Course in Astrobiology, Wiley-VCH, Verlag, Weinheim 155- 295.
- Kashefi, K. and Lovley, D.R. (2003). Extending the upper temperature limit for life, *Science* 301, 934.
- Kasting, J.F., Whitmire, D.P. and Reynolds, R.T. (1993). Habitable zones around main sequence stars, *Icarus* 101, 108-28.
- 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.
- Kissel, J. and 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. (2003). High Archean climatic temperature inferred from oxygen isotope geochemistry of cherts in the 3.5 Ga Swaziland Supergroup, South Africa. *Geological Society of America Bulletin* 115, 566-580.
- Krasnopolsky, V.A. and Cruikshank, D.P. (1999). Photochemistry of Pluto's atmosphere and ionosphere near perihelion,

- Journal of Geophysical Research* 104, 21979–21996.
- Larson, H.P., Weaver, H.A., Mumma, M.J. and Drapatz, S. (1989). Airborne infrared spectroscopy of comet Wilson (1986/1) and comparisons with comet Halley, *Astrophysical Journal* 338, 1106-1114.
- Lineweaver, C.H., Fenner, Y. and Gibson, B.K. (2004). The Galactic Habitable Zone and the age distribution of complex life in the Milky Way, *Science* 303, 59–62.
- Llorca, J. (2004). Organic Matter in Meteorites, *International Microbiology* 7, 239-248.
- Lorenz, P.R., Orlob, G.B. and Hemenway, C.L. (1969). Survival of micro-organisms in Space, *Origins Life Evolution Biospheres* 1, 491–500.
- Lucas, R. and Liszt, H.S. (2002). Comparative chemistry of diffuse clouds, *Astronomy and Astrophysics* 384, 1054.
- Madau, P., Ferrara, A. and Rees, M.J. (2001). Early Metal enrichment of the intergalactic medium by pregalactic outflows, *The Astrophysical Journal* 555, 92.
- 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.
- Maier, J.P., Lakin, N.M., Walker, G.A.H. and Bohlender, D.A. (2001). Detection of C₃ in Diffuse Interstellar Clouds, *The Astrophysical Journal* 553, 267.
- Mal'tsev, V.N., Saadavi, A., Aiad, A., El'gau, O. and Shlip, M. (1996). Microecology of nuclear reactor pool water, *Radiats Biol Radioecol* 36,52-57.
- Matteucci, F. (1991). In: Greenberg, J. M. and Pirronello V. (eds), *Chemistry in Space*, Kluwer Academic Publishers 1–41.
- Millar, T.J. (2004). *Organic molecules in the interstellar medium*, In: Ehrenfreund, et al., (eds), *Astrobiology; Future Perspectives*, Kluwer Academic Publishers 17-31.
- Miller, S. (1953). A production of amino acids under possible primitive Earth conditions, *Science* 117, 528–529.
- Noll, K.S., Johnson, R.E., Lane, A.L. and Dominque, D. (1996). Detection of ozone on Ganymede, *Science* 273, 341-343.
- Oró, J. (1961). Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth, *Nature* 190, 389–390.
- Peeters, Z., Botta, O., Charnley, S.B. and Ruitkamp, R. (2003). The astrobiology of nucleobases, *The Astrophysical Journal* 593, L129.
- Pizzarello, S. and Cronin, J.R. (2000). Non-racemic amino-acids in the Murray and Murchison meteorites, *Geochimica Cosmochimica Acta* 64, 329–338.
- Roos-Serote, M. (2004). Organic Molecules In Planetary Atmospheres, In; Ehrenfreund, P., et al. (Eds.) *Astrobiology: Future Perspectives*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands 128.
- Proctor, R. (1870). *Other Worlds Than Ours*, New York, Longmans.
- Rothschild, L.J. (2007). *Extremophiles: defining the envelope for the search for life in the universe*, In: Pudritz R.E., Higgs P. and Stone J., (Eds.) *Planetary Systems and the Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ryder, G. (2002). Mass influx in the ancient Earth-Moon system and benign implications for the origin of life on Earth, *Journal of Geophysical Research* 107.

- Sagan, C. and Salpeter, E.E. (1976). Particles, environments, and possible ecologies in the jovian atmosphere. *Astrophysical Journal of Supplement Series* 32, 624.
- Sagan, C., Thompson, W.R., Carlson, R., Curnett, D. and Hord, C. (1993). A Search for Life on Earth From the Galileo Spacecraft, *Nature*, 365, 715 - 721, doi:10.1038/365715a0
- Sattler, B., Puxbaum, H. and Psenner, R. (2001). Bacterial growth in supercooled cloud droplets, *Geophysical Research Letters* 28, 239–242.
- Schindler, T.L. and Kasting, J.F. (2000). Synthetic spectra of simulated terrestrial atmospheres containing possible biomarker gases, *Icarus* 145, 262–271.
- Schramm, D.N. (1998). Big Bang Theory and primordial nuclei, *SSRv* 84, 167.
- Singaravelan, N., Grishkan, I., Beharav, A., Wakamatsu, K., Ito, S. and 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.
- Stevens, A. (1936). Mans furthest aloft, *National Geographic Magazine* 69, 693–712.
- Stoker, C.R., Boston, P.J., Mancinelli, R.L., Segal, W., Khare, B.N. and Sagan, C. (1999). Microbial metabolism of tholin, *Icarus* 85, 1, 241-256.
- Taylor, G.R., Bailey, J.V. and Benton, E.V. (1975). Physical dosimetric evaluations in the Apollo 16 microbial response experiment, *Life Sciences Space and Research* 13, 135–141.
- 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.
- Westall, F. and Walsh, M.M. (2000). The diversity of fossil microorganisms in Archean-age rocks, In: *Seckbach J. (Eds) Journey to Diverse Microbial Worlds*, Kluwer, Amsterdam 15-27.
- Wiegel, J. and Adams, W.W. (1998). *Thermophiles, the keys to molecular evolution and the origin of life?*, Taylor & Francis, London 339.
- 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, *Nature* 409, 175-178.
- Yayanos, A.A. (1995). Microbiology to 10,500 meters in the deep sea, *Annual Review of Microbiology* 49, 777–805.