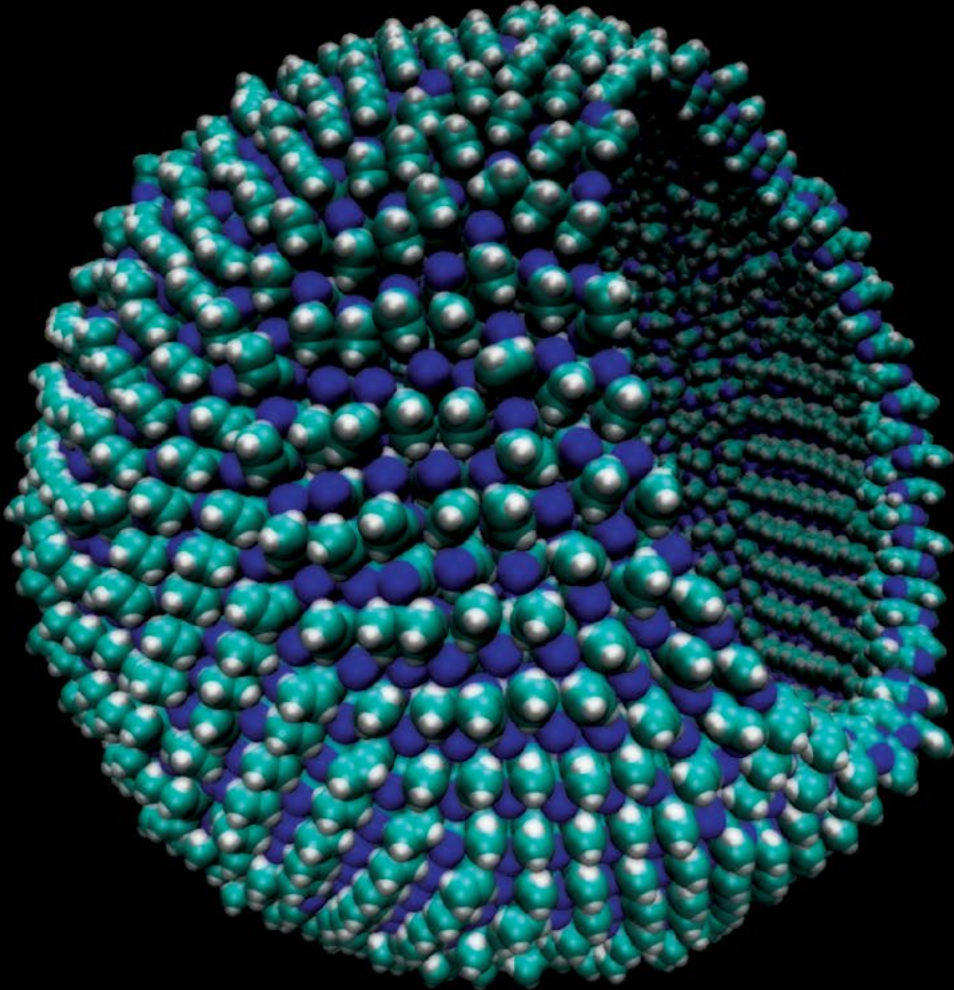


# Sıvı Metan İçinde Yaşam

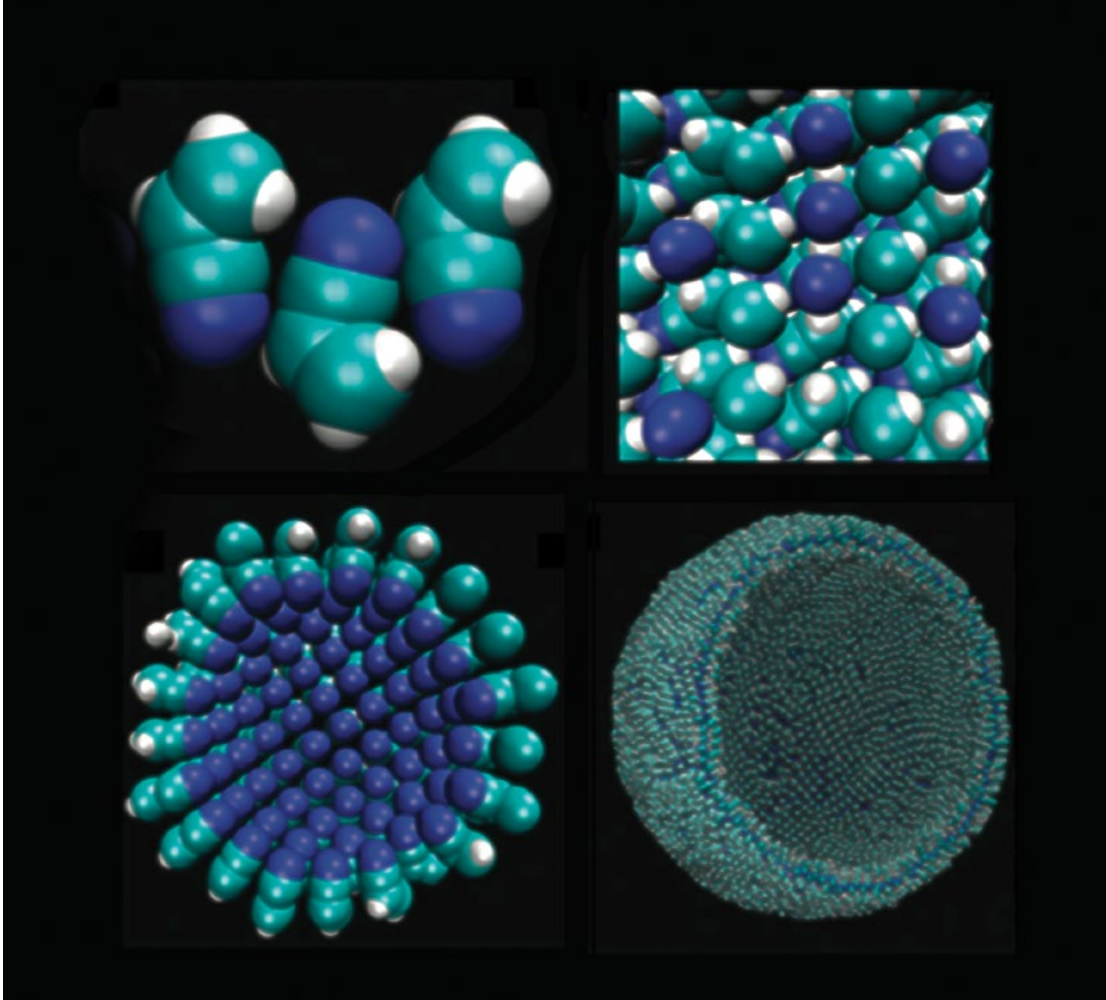
Hücrelerde meydana gelen faaliyetler ancak sıvı ortam içerisinde mümkün olduğu için, Dünya'nın dışında da canlıların yaşayıp yaşamadığını merak eden araştırmacılar, yüzeyi sıvılarla kaplı gökcisimleri bulmaya çalışıyor. Güneş Sistemi'nde Dünya'dan başka, denizlere sahip olduğu bilinen sadece bir gökcismi var: Satürn'ün uydusu Titan. Ancak yüzeyindeki ortalama sıcaklık  $-180^{\circ}\text{C}$  civarında olan bu uydudaki denizler, yüzeyündekiler gibi sudan değil erime sıcaklığı  $-182,5^{\circ}\text{C}$ , kaynama sıcaklığıysa  $-161,5^{\circ}\text{C}$  olan metandan ( $\text{CH}_4$ ) oluşuyor. Gözlemler Titan'ın atmosferinde aktif süreçlerin var olduğunu gösterse de Titan'daki denizlerde de canlıların yaşayıp yaşamadığını bilmiyoruz. Ancak Titan'da canlı

organizmalar varsa bile bu organizmalar Dünya'dakilere benzemeyecektir. Çünkü suyun ve metanın fiziksel ve kimyasal özellikleri çok farklı olduğu için yeryüzündeki canlıların hücre zarları, sıvı metan içinde işlevlerini yerine getiremez. Peki, Titan'da canlılar yaşıyorsa bu canlıların yapısı nasıl olabilir? Cornell Üniversitesi'nde çalışan bir grup araştırmacı, bu soruya cevap bulabilmek için moleküler dinamik yöntemleri kullanarak sıvı metanda yaşayabilecek canlıların hücre zarlarının yapısının nasıl olabileceğini inceledi. Sonuçlar, Titan'ın çok soğuk ve oksijensiz atmosferinde hücre zarlarının oluşmasının mümkün olduğunu ve bu hücre zarlarının yapısının büyük ölçüde azotlu moleküllerden oluşacağını gösteriyor.



**İ**lk hücrelerin nasıl oluştuğu ile ilgili iki hipotezden bahsedilebilir. “RNA dünyası” olarak adlandırılan birinci hipoteze göre önce ribonükleik asit (RNA) oluşmuştu. Ancak araştırmalar, RNA moleküllerinin sentezlenmesi için yüksek yoğunlukların gerekli olduğunu gösteriyor. “Lipit dünyası” olarak adlandırılan ikinci hipoteze bu bilgiden yola çıkarak ilk RNA moleküllerinin ilkel bir zarla çevresinden yalıtılmış hacimlerin içinde sentezlendiğini öne sürüyor. Üstelik deneyler, hücre zarlarının ana yapısını oluşturan fosfolipit çift-katmanların başka hiçbir organel olmadan büyüyebildiğini, çoğalabildiğini, polimerleşme tepkimelerine yardım edebildiğini ve ortamda gerekli enzimler varsa RNA molekülleri sentezleyebildiğini gösteriyor. Dolayısıyla ilkel hücre zarları ve diğer hücre kısımları, RNA moleküllerinden daha önce oluşmuş olabilir.

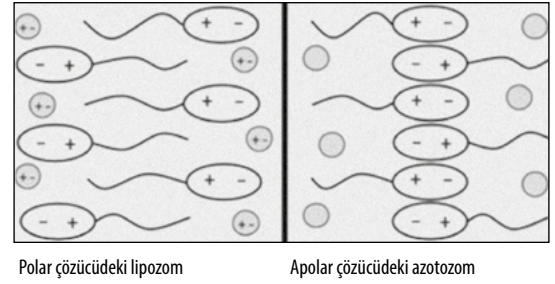
Dünyadaki hücre zarları fosfolipit moleküllerin bir araya gelmesiyle oluşuyor. Bu moleküller uzun, apolar (kutuplanmamış, atomlar arasındaki elektrik yükü dağılımının dengeli olduğu) yağ zincirlerinden ve oksijen içeren, polar (kutuplanmış, atomlar arasındaki elektrik yükü dağılımının dengesiz olduğu) kafa kısımlarından oluşuyor. Kimyanın temel yasalarından biri polar maddelerin polar çözücülerdeki, apolar maddelerinse apolar çözücülerdeki çözünürlüklerinin yüksek olduğunu söyler. Dolayısıyla fosfolipit çift-katmanlardaki uzun yağ zincirleri hücre zarının kararlı bir yapıya sahip olmasını (su içinde çözünmeden kalabilmesini) sağlarken, polar kafa kısımları hücrenin kendisini çevreleyen sulu ortam ile uyum içinde olmasını (kolaylıkla madde alışverişi yapabilmesini) sağlıyor. Böyle hücre zarlarından oluşan keseciklere lipozom deniyor.



Titan'daki denizler apolar bir molekül olan metandan oluştuğu için bu uyduda yaşayabilecek canlıların hücre zarları Dünya'dakilere benzeyemez. Çünkü fosfolipit moleküllerin polar kafa kısımları apolar metan molekülleriyle uyumsuzdur. Fosfolipit moleküllerin apolar zincir kısımları apolar metan molekülleri ile uyumlu olduğu için ilk olarak ters-lipozomların (polar kafa kısımlarının zarın içine, apolar yağ zincirlerininse zarın dışına doğru yönelmesiyle oluşacak lipozomların) Titan'daki koşullarla uyumlu olabileceği düşünülebilir, ancak bu durum iki önemli sebepten dolayı mümkün değildir. Birincisi uzun yağ zincirleri Titan'ın çok soğuk atmosferinde hayli katı bir yapı oluşturacaktır. Ancak bir hücre zarının, hücrenin çevresiyle madde alışverişi yapmasına imkân verebilmesi için esnek olması gerekir. İkincisi ve daha önemlisi ise fosfolipit moleküllerde var olan oksijen ve fosfor atomlarının Titan'daki metan denizlerinde bulunmaması. Dolayısıyla Titan'daki koşullar altında ters-lipozomların oluşması mümkün değildir.

Araştırmacılar Titan'daki koşullarda keseciklerin oluşmasının mümkün olup olmadığı sorusuna cevap aramaya, Titan'ın atmosferinde doğal olarak oluşan polar molekülleri inceleyerek başlamış. 2004 yılından beri Satürn'ün etrafında dönen *Cassini* uzay aracının yaptığı gözlemler sayesinde Titan'ın atmosferinde hangi maddeler olduğu biliniyor (bkz. aşağıdaki tablo).

| Molekül                | Yapısı                                       | Miktarı (miligram/litre) |
|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| Hidrojen siyanür (HCN) | $N \equiv C - H$                             | 200                      |
| Siyanoasetilen         | $N \equiv C - C \equiv CH$                   | 40                       |
| Akrilonitril           | $N \equiv C - CH = CH_2$                     | 10                       |
| Siyanoallen            | $N \equiv C - CH = C = CH_2$                 | 4                        |
| Asetonitril            | $N \equiv C - CH_3$                          | 3                        |
| 2,4-pentadiinnitril    | $N \equiv C - C \equiv C - C \equiv CH$      | 1                        |
| Propannitril           | $N \equiv C - CH_2 - CH_3$                   | 0,5                      |
| Primer amin            | $NH_2 - \langle CH_2 \rangle_x - CH_3$       | 0                        |
| Primer nitril          | $N \equiv C - \langle CH_2 \rangle_x - CH_3$ | 0                        |



Polar çözücüdeki lipozom

Apolar çözücüdeki azotozom

Çok soğuk koşullarda deneyler yapmanın zorluğundan dolayı araştırmacılar kuramsal çalışmalara yönelmiş ve moleküler dinamik benzetimleriyle (moleküller içeren sistemler üzerinde klasik mekanik yasaları kullanılarak yapılan hesaplarla) hangi moleküllerin bir araya gelerek hücre zarı benzeri yapılar oluşturabileceğini incelemişler. Yapısında uzun zincirler olan moleküller, Titan'ın soğuk atmosferinde hiçbir avantaj sağlamayacağı için, hesapların dışında tutulmuş. Benzetimlerde kullanılan moleküllerin tamamı yeryüzündeki hücre zarlarının yapısını oluşturan ve 15-20 atomlu uzun karbon zincirleri içeren fosfolipitlerden çok daha kısa. Sıvı metan neredeyse her şeyi katılaştıracak kadar soğuk olduğu için, ilk bakışta bu sıcaklıklarda hücre zarı benzeri esnek yapıların oluşması imkânsız gibi görünse de küçük moleküller düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklarda olduğundan daha farklı biçimlerde bir araya geliyor.

Araştırmacılar, zarların sıvı metanda çözünmeden kalabilmesi için gerekli olan polar kısımların azot içeren gruplardan (azoto gruplarından) oluşabileceğini varsaymış. Yeryüzündeki lipide dayalı zarlar lipozom olarak adlandırıldığı için (lipos ve soma kelimeleri Yunancada sırasıyla lipit ve gövde anlamlarına geliyor) azota dayalı yeni yapılar azotozom olarak adlandırılmış.

Azotozomların Titan'daki gibi çok düşük sıcaklıklarda sentezlenmesi hayli zor olsa da, moleküler dinamik benzetimleriyle özellikleri tahmin edilebiliyor. Benzetimlerde önce azotlu moleküller periyodik olarak tekrar edilen konumlara yerleştiriliyor, daha sonra klasik mekanik yasaları kullanılarak sistemin zaman içindeki evrimi hesaplanıyor. Polar kısımlar içeren azotlu moleküllerin neredeyse hepsi apolar bir sıvı olan metanın içinde bulunduklarından, bir süre sonra bir araya gelerek hücre zarı benzeri düzenli yapılar oluşturuyorlar. Bu durumun tek istisnası hidrojen siyanür molekülleri. Araştırmacılar HCN moleküllerinin sıvı metan içinde bir araya toplanmamasını bu moleküllerin küçük olmasına bağlıyor. Hekzan molekülleriye bir araya toplanmalarına rağmen hücre zarı benzeri yapılar oluşturmuyor, katılaşıyorlar.

| Molekül            | Alan genişleme katsayısı (J/m <sup>2</sup> ) | Yapıdan bir molekül çıkarmak için gerekli enerji (kcal/mol) |
|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Akrilonitril       | 0,26                                         | 17,1                                                        |
| Asetonitril        | 0,37                                         | 5,8                                                         |
| Propannitril       | 0,10                                         | 7,6                                                         |
| Bütannitril        | 0,13                                         | 6,4                                                         |
| Pentannitril       | 0,55                                         | 8,4                                                         |
| Hekzannitril       | 0,26                                         | 6,0                                                         |
| Aminopropan        | 0,22                                         | 5,2                                                         |
| Aminobütan         | 0,19                                         | 6,7                                                         |
| Aminopentan        | 0,28                                         | 7,7                                                         |
| Aminoheksan        | 0,30                                         | 7,7                                                         |
| Hekzan çift-katman | 2,20                                         | -                                                           |

Bir hücre zarının sahip olması gereken en önemli iki özellik esneklik ve kararlılıktır. Esnekliği değerlendirmek için kullanılan en yaygın ölçü, alan genişleme katsayısı olarak adlandırılıyor. Yeryüzündeki hücre zarları için bu katsayının değeri 0,24 ile 0,50 J/m<sup>2</sup> arasında değişiyor. Benzetimler, bazı azotozomların alan genişleme katsayısının da bu aralıkta olabileceğini gösteriyor (bkz. yukarıdaki tablo). Hücre zarlarının kararlılığının ölçülürse, ayrışmaları için gerekli enerji miktarı ve kararlılık zaman ölçeği. Hesaplar bazı azotozomların ayrışma enerjisinin hayli yüksek olduğunu ve kararlılık sürelerinin uzun olduğunu gösteriyor (bkz. yukarıdaki tablo).

Sonuçlar tablodaki moleküller için ayrı ayrı incelendiğinde, tüm azotozomların alan genişleme katsayılarının Dünyadaki hücre zarlarınıninkine benzediği görülüyor. Azotozomlar sıcaklık değişimlerine karşı lipozomlardan daha dayanıklı ve bu durum Titan'daki sıcaklık salınımlarının Dünyadakilerden daha az olmasına bağlıyor. Ancak lipozomların ve azotozomların mekanik etkiler karşısındaki dayanıklılıkları benzer.

Azotozomlardan bir molekül çıkarmak için gerekli enerji miktarları incelendiğinde asetonnitril, butannitril, hekzannitril, aminopropan ve amino bütanın değerlerinin 8,0 kcal/mol'den düşük olduğu görülüyor. Bu durum bu azotozomların kararsız olduğu anlamına geliyor, ancak hesaplardaki belirsizlikler göz önüne alındığında durum değişebilir. Akrilonitrilden oluşan azotozomların ayrışma enerjisininse 17 kcal/mol olduğu hesaplanıyor.

Bu azotozomlar, uzun süre yapıları bozulmadan kalabilir. Hesaplar akrilonitril moleküllerinin geometrik yapısının azotozom oluşturmaya uygun olduğunu da gösteriyor. Bu moleküllerin oluşturduğu azotozomların zar düzlemine göre simetrik olması, çok çeşitli büyüklüklerde kesecikler oluşturabileceklerini gösteriyor.

Özet olarak, yapılan çalışmalar Titan gibi çok soğuk ve oksijensiz bir gök cisminde oluşabilecek keseciklerin Dünyadakilerden çok daha farklı olacağını gösteriyor. Yeryüzündeki kesecikler uzun apolar zincirlerden oluşan lipozomlarken Titan'da oluşabilecek kesecikler kısa polar moleküllerden oluşan azotozomlar. Kuramsal hesaplar, azotozomların yapısının lipozomlardan çok farklı olmasına rağmen bir hücre zarının işlevini yerine getirmesi için gerekli olan esnekliğe ve kararlılığa sahip olabileceğini gösteriyor. Özellikle akrilonitrilden oluşan azotozomların esneklik ve kararlılık değerleri çok iyi. Bu moleküllerin Titan'ın atmosferindeki derişimi 10 mg/l. Ayrıca akrilonitril molekülleri, atmosferinde azot ve metan olan herhangi bir gök cisminde kolaylıkla oluşabiliyor. Tüm bu sonuçlar Titan'da canlıların yaşadığını göstermese de sudan başka sıvılarda da canlıların ortaya çıkmasının mümkün olabileceğini gösteriyor.

#### Kaynak

- Stevenson, J., ve ark., "Membrane alternatives in worlds without oxygen: Creation of an azotosome", *Science Advances*, Cilt 1, e1400067, 2015.