

# BAŞKA DÜNYALARDA BİTKİLERİN RENKLERİ



Dünya dışı yaşam arayışı, artık yalnızca bilimkurgunun ya da UFO avcılarının işi olmaktan çıktı. Uzaylıların bize gelmesini beklemek yerine, biz gözlerimizi onlara çeviriyoruz. Teknolojik olarak gelişmiş bir uygarlık bulamayabiliriz ancak yaşam süreçlerine ilişkin fiziksel ve kimyasal izleri, “biyoimza”ları arayabiliriz. Gökbilimciler bugüne dek Güneş Sistemi’nin ötesinde, başka yıldızların çevresinde dönen 200’den çok gezegen buldu. Bu gezegenlerin olası bir yaşamı destekleyip desteklemeyeceğini şu an bilmiyoruz, bunu zaman gösterecek. Temmuz 2007’de gökbilimciler, Güneş Sistemi dışındaki bir gezegenin atmosferinden geçen ışığı gözleyerek bu gezegendeki su buharı varlığını ortaya çıkarmıştı. Şimdilerde Dünya’daki uzay araştırma merkezleri, dünya boyutundaki gezegenlerin ışık tayfını inceleyerek olası yaşam izlerini araştırmak üzere çeşitli teleskoplar geliştirmekle meşgul.

Fotosentez kuşkuyla yer bırakmayacak bir biyoimzadır. Peki, fotosentezin başka bir gezegende gerçekleşmesi ne derece olası? Bir hayli! Dünya’da bu süreç, bütün yaşamın temellerini atacak kadar başarılı. Bazı organizmalar yaşamlarını okyanuslardaki hidrotermal bacalardan yayılan ısı ve metana borçlu olsalar da yeryüzünü kaplayan ekosis-

temlerin zenginliği, güneş ışığına dayanıyor.

Fotosentezin kanıtı olacak biyoimzalar iki türlü olabilir: Ya biyolojik olarak üretilen oksijen veya atmosferdeki ozon gibi gazlar ya da klorofil yeşili gibi özelleşmiş pigmentlerin kanıtı olabilecek yüzey renkleri. Böylesi pigmentleri arama düşüncesinin uzunca bir

geçmişi var. Yüz yıl önce gökbilimciler, Mars’ın mevsimsel kararmasını bitkisel bir gelişime yoruyorlardı. Kızıl Gezegen’den yansıyan ışığın tayfını inceleyerek yeşil bitkilerin izlerini sürmüşlerdi. Böylesi bir stratejinin yol açacağı zorluklar Dünyalar Savaşı’nda bambaşka bir senaryo kurgulayan H. G. Wells için çok açıktı: “Mars’taki bitki-

ler, yeşil yerine canlı bir kan kırmızı tondadır.” Bugün Mars yüzeyinde bitkilerin olmadığını bilsek de (kararmanın nedeni de aslında toz fırtınalarıdır) başka gezegenlerdeki bitkilerin başka renklerde olabileceğini öngörmesi nedeniyle Wells’in ileri görüşlü olduğunu söyleyebiliriz.

Dünya’da bile yeşil bitkilerin dışın da kalan fotosentetik organizmaların oluşturduğu büyük bir çeşitlilik vardır. Kimi yeryüzü bitkileri kırmızı yapraklıdır. Su algleri ve fotosentetik bakterilerse gökkuşağı kadar renklidir. Mor bakteriler görünür ışığın yanı sıra, kızılötesi ışığı da soğurur. O halde başka dünyaların renklerinde hangi tonlar baskın olabilir? Ve bunu gördüğümüzde nasıl anlayabiliriz? Yanıt, Güneş Sistemi dışındaki fotosentezin, bu gezegenin bizimkinden farklı bir sınıftaki yıldızından gelen ve Dünya’ninkinden farklı bir atmosferden geçen ışığına sağladığı uyumda gizli.

## Işığın Soğurulması

Başka gezegenlerdeki fotosentezin nasıl işleyebileceğini anlamak için işe Dünya’dan başlamak gerekiyor. Dünya yüzeyine düşen Güneş ışığı tayfının tepe yaptığı nokta, mavi-yeşil arasındadır. Bu nedenle bilim insanları, bitkilerin yeşili yansıtarak ışığın bu kaymak bölümünü neden ziyan ettiğini uzun süre anlamaya çalıştı. Sonuçta buldukları yanıt şu oldu:

Fotosentez, toplam ışık enerjisi miktarına değil, foton başına düşen enerjiye ve ışığı oluşturan fotonların toplamına dayanıyordu.

Mavi fotonlar kırmızılardan daha çok enerji taşısa da Güneş’in yaydığı ışıkta daha çok kırmızılar vardır. Bitkiler, mavi fotonları daha kaliteli olduğu için, kırmızı fotonlarıysa daha çok oldukları için kullanır. Arada kalan yeşillerse ne enerji, ne de sayı bakımından avantajlıdır. Bu yüzden bitkiler bunların küçük bir bölümünü soğurur.

Karbon dioksitten (CO<sub>2</sub>) elde edilen karbonun basit bir şeker molekülünün oluşturulmasında kullanıldığı temel fotosentez süreci, en az sekiz foton gerektirir. Sudaki (H<sub>2</sub>O) oksijen-hidrojen bağıını koparmak ve biyokimyasal tepkimeler için elektron açığa çıkarmak için bir foton gereklidir. Oksijen molekülünü (O<sub>2</sub>) oluşturabilmek için böyle-

si dört bağı koparılması gerekir. Bu fotonların her birine, şekeri oluşturacak ikinci tepkime için ek bir foton daha eşlik eder. Ayrıca her bir foton, tepkimeleri başlatacak minimum enerji düzeyinde olmalıdır.

Bitkilerin güneş ışığını soğurmaları bir doğa harikasıdır. Klorofil gibi fotosentetik pigmentler ötekilerinden ayrı durmaz. Anten dizisine benzeyen bir ağ oluşturur ve ortaya çıkan bu ağların her biri ayrı bir dalga boyundaki fotonları soğurur. Klorofil, kırmızı ve maviyi tercih eder. Sonbaharın canlı kırmızı ve sarılarını oluşturan karotenoid pigmentleriye daha farklı tonda bir maviyi yeğler. Tüm bu enerji, suyun ayrıştırılıp oksijenin açığa çıktığı özel bir klorofil molekülüne yönlendirilir.

İşte bu yönlendirme, pigmentlerin hangi rengi yeğleyeceğinin anahtarıdır. Tepkime merkezindeki moleküller, ancak kırmızı bir foton ya da eşdeğer miktarda enerji aldığı kimyasal bir tepkime olur. Mavi fotonlardan yararlanabilmek için anten dizisinde uyumlu bir işbirliğiyle çalışan pigmentler, mavi fotonlardan emilen yüksek enerjiyi, tıpkı alçaltıcı transformatörlerin 100.000 voltluk gerilimi 220 volta indirmeleri gi-

bi, kırmızı fotonlarınkine eşdeğer bir enerjiye indirir. Süreç, mavi bir fotonun maviyi soğuran bir pigmente düşüp moleküldeki bir elektronu serbest bırakmasıyla başlar. Söz konusu elektron eski konumuna dönerken fotondan aldığı enerjiyi geri salar; ancak ısı ve titreşimden kaynaklı kayıplar nedeniyle saldığı enerji daha azdır.

Pigment molekülü kazandığı enerjiyi başka bir foton şeklinde salmaz; daha düşük düzeydeki enerjiyi soğurabilecek başka bir pigment molekülüne elektriksel etkileşim yoluyla aktarır. Bu yeni pigmentse bir sonraki aşamada, daha düşük düzeyde bir enerji salar ve süreç en baştaki mavi fotonun enerjisi kırmızıyla eşitlenene kadar sürer. Pigmentler dizisi, camgöbeği, yeşil ve sarı da bu şekilde kırmızıya çevirebilir. Bu kademeli sistemin son halkası olan tepkime merkezi, en düşük enerji düzeyindeki fotonları soğurmaya uygundur. Gezegenimizin yüzeyinde kırmızı fotonlar, görünür ışık tayfının en bol ve en düşük enerjili olanlarıdır.

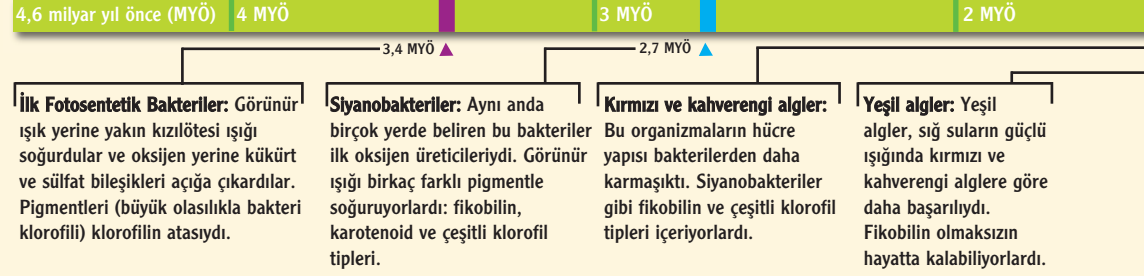
Su altındaki fotosentezdeyse kırmızı fotonlar her zaman bol bulunmaz. Suda çözünen maddelerin ve üst tabakalardaki organizmaların filtreleyici et-



## Dünya'da Fotosentezin Zaman Çizelgesi

Fotosentez, Dünya tarihinin başlarında evrimleşmiştir. Ortaya çıkışının hızlı oluşu, rastlantısal olmadığını ve başka gezegenlerde de gelişebileceğini gösterir. Organizmaların ürettiği gazlar yaşamlarının bağlı olduğu ışıklanma koşullarını değiştirdikçe, aynı organizmaların yeni renklere evrimleşmesi gerekmiştir.

▼ Dünyanın oluşumu



kisi yüzünden ışığın tayfı derinlikle değişir. Sonuç, yaşam formlarının içerdiği pigmentlere göre çarpıcı bir şekilde katmanlaşmasıdır. En alt katmandaki organizmaların pigmentleri, üst katmandakilerden geriye kalan ışık renklerini soğuracak şekilde gelişmiştir. Örneğin alglerin ve siyanobakterilerin, fikobilin olarak bilinen ve yeşille sarı fotonları soğuran pigmentleri vardır.

Az ışıklı ortamlara uyum sağlamış organizmalar, var olan ışığı soğurmak için daha çok çaba harcadığından daha yavaş gelişir. Işığın bol olduğu gezegen yüzeyinde fazladan renk pigmenti üretmek bitkilerin zararına olacağı için renk kullanımında seçici davranırlar. Aynı evrimsel ilkeler, başka dünyalarda da geçerli olacaktır.

Tıpkı suyun süzdüğü ışığa uyum sağlamış canlılar gibi, kara canlıları da atmosferdeki gazların süzdüğü ışığa uyum sağlamıştır. Dünya atmosferinin en üstünde 560 ila 590 nanometre arasında değişen dalga boyuyla sarı ışık en boldur. Daha kısa dalga boyundaki ışınlar, daha uzun dalga boyundaki ışınlar göre daha çok süzülür. Güneş ışığı

atmosferin üst tabakasından geçerken su buharı kızılötesi ışığın bazı dalga boylarını ve 700 nanometrenin üzerindeki sızdırır. Oksijense 687 ve 761 nanometre dalga boylu ışığın geçmesini engelleyen bantlar oluşturur. Stratosfer tabakasındaki ozonun (O<sub>3</sub>) morötesi (UV) ışığı süzdüğü bilinen bir gerçektir. Daha az bilinense, görünen ışığı da az miktarda süzdüğüdür.

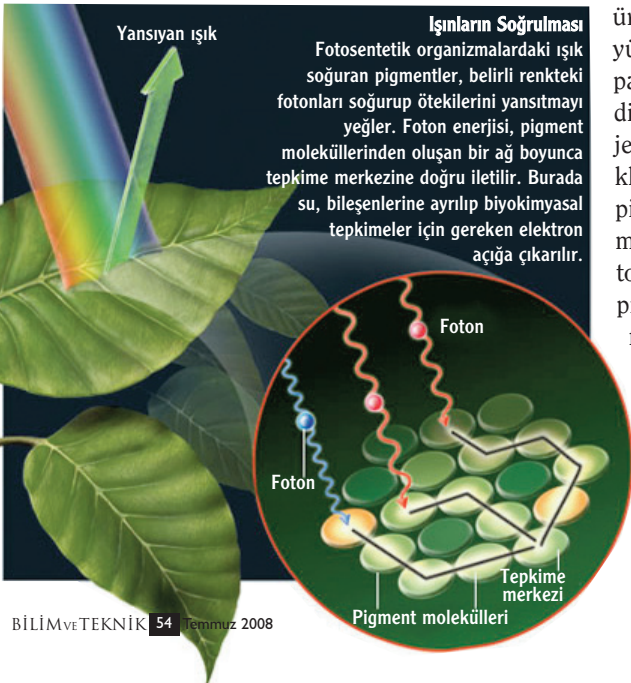
Bütün bunlar üst üste eklendiğinde, atmosferimizin Güneş'ten gelen ışınları bazı pencerelerden geçirerek yüzüne bıraktığını söyleyebiliriz. Görünür ışık tayfının mavi ucunun miktarındaki azalmanın nedeni, Güneş'ten gelen kısa dalga boylu fotonların daha az yoğunlukta oluşu ve ozon tabakasının morötesi ışınımı süzmesidir. Kırmızı uça oksijenin oluşturduğu emilim bantlarıyla belirlenir. Ozon tabakasının görünür ışık tayfındaki geniş süzme kapasitesi, atmosferin üst bölümünde en çok bulunan sarı fotonların, aşağıya inildiğinde sayı üstünlüğünü kırmızıya (yaklaşık 685 nm) bırakmasına yol açar.

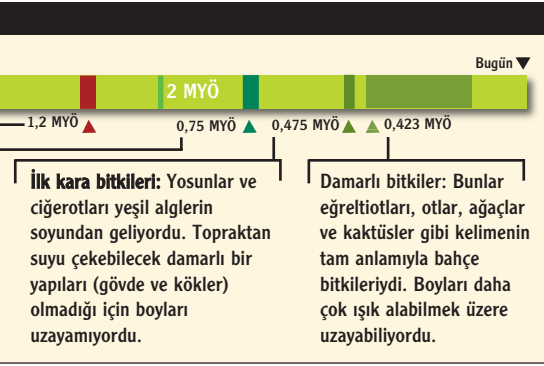
Bitkiler daha çok oksijenin belirlediği bu tayfa uyum sağlamıştır. Üstelik atmosferdeki oksijeni üreten de onlardır. Yeryüzünde fotosentez yapabilen canlılar ilk belirlediğinde atmosferde oksijen yoktu. Bu nedenle klorofilden daha farklı pigmentler kullanmış olmalı. Zaman içinde fotosentezin atmosferin yapısını değiştirmesi klorofilin en uygun pigment olarak öne çıkmasını sağlamıştır.

Fotosentezin fosil kanıtları, 3,4 milyar yıl öncesine kadar uzanır. Ancak daha eski fosiller de fo-

tosentez olabilecek işaretler gösterir. İlk fotosentezci ise su altında başlamak durumundaydı; çünkü su, biyokimyasal tepkimeler için iyi bir çözücü ve ozon tabakasının yokluğunda morötesi ışığı süzecek iyi bir süzgeçti. Bu ilk fotosentezci, kızılötesi ışığı emen su bakterileriydi. Bunların kimyasal tepkimeleri su yerine hidrojen, hidrojen sülfid ya da demir içeriyordu. Bu yüzden oksijen gazı açığa çıkmıyordu. Okyanuslardaki siyanobakterilerin oksijen üreten fotosenteze başlaması 2,7 milyar yıl öncesine dayanır. Oksijen düzeyindeki yükselme ve ozon tabakasının yavaş yavaş oluşmaya başlaması, kırmızı ve kahverengi alglerin belirmesini sağlamıştır. Sığ suların morötesi ışığa karşı güvenli duruma gelmesi, yeşil alglerin evrimleşmesine yol açmıştır. Bunlarda fikobilin yoktu ve yüzey sularındaki parlak ışığa daha iyi uyum sağlamışlardı. En sonunda, atmosferde oksijenin birikmeye başlamasından iki milyar yıl sonra, yeşil alglerin soyundan gelen bitkiler karalarda ortaya çıkmıştı.

Sonrasındaysa bitki yaşamının karmaşıklığında bir patlama yaşandı: Yüzeğe yakın yaşayan yosun ve ciğerotlarından, daha çok ışık soğurmak üzere uzamış ve çeşitli iklimlere uyum sağlamış damarlı bitkilere kadar... Kozalaklı bitkilerin, yüksek enlemlerdeki eğik güneş ışığını alabilecek konik tepeleri varken gölge bitkileri, aşırı ışığa karşı güneş kremi görevi gören antosiyanin taşıyordu. Yeşil klorofil yalnızca atmosferin var olan durumuna uyum sağlamamış, onun bu dengede kalması için gezegenimizi yeşil tutan hünerli bir döngü de ortaya çıkarmıştı. Evrimin başka bir adımı, yüksek ağaçların gölgesi altında, yeşil ve sarı ışığı soğuran fikobilinli bir organizmaya yaşam verebilir. Ama üstteki organizmalar yine yeşil kalmayı sürdürecektir.





## Dünyayı Kırmızıya Boyamak

Başka bir güneş sistemindeki başka bir gezegende fotosentetik pigmentleri aramak için gökbilimciler gezegeni, evriminin herhangi bir aşamasında görmeye hazırlıklı olmalıdır. Örneğin Dünya'nın iki milyar yıl önceki durumuna benzeyen bir gezegen yakalayabilirler. Dünyadaki örneklerinden farklı yetenekler geliştirmiş fotosentezcilerle karşılaşma olasılığı da akılda tutulmalı – suyu daha uzun dalga boylu fotonlarla ayırtmak gibi.

Şimdiye kadar yeryüzündeki fotosentezde gözlenen en uzun dalga boyu, oksijensiz fotosentez yapan mor renkli bakterilerde 1015 nanometredir (kıızıl-ötesi). Oksijenli fotosentez için en uzun dalga boyu da 720 nm ile bir deniz siyanobakterisinde görülür. Ama fizik yasaları değişmez üst sınırlar koymaz. Çok sayıdaki uzun dalga boylu foton, az sayıdaki kısa dalga boylu fotonun gördüğü işi üstlenebilir.

Başka bir gezegende sınırlayıcı etken, yeni pigmentlerin bulunabilirliği değil, gezegen yüzeyine ulaşan ışığın tayfidir. Bu da temel olarak yıldızın türüne bağlıdır. Gökbilimciler yıldızların sıcaklıklarına, boyutlarına ve yaşam sürelerine bakıp onları renklerine göre sınıflandırır. Ancak bazı tür yıldızlar karmaşık bir yaşam formunun evrimleşmesini sağlayacak kadar uzun ömürlü olur. Bunlar, en sıcaktan en soğuğa doğru, F, G, K ve M sınıfı yıldızlardır. Güneş G sınıfı bir yıldızdır. F sınıfı yıldızlar daha büyük, daha parlak, daha mavidir ve yakıtlarını birkaç milyar yıl içinde tüketirler. K ve M sınıfındakiler daha küçük, daha sönük, daha kırmızı ve uzun ömürlüdür.

Bu yıldızların her birinin çevresindeki gezegenler, suyun sıvı halde bulunabileceği, yaşama elverişli bir yörünge



bandında bulunabilir. Güneş Sistemi-mizdeki yaşama elverişli bölge, Dünya ve Mars'ın yörüngelerini kapsayan bir halkadır. F sınıfı bir yıldız için Dünya boyutundaki bir gezegenin bulunabileceği yaşama elverişli bölge çok daha dışıdır. K ve M tipi yıldızlardaysa daha içtedir. F ve K sınıfı yıldızların yaşanabilir bölgesindeki bir gezegen, hemen Dünya kadar görünür ışımaya alır. Böyle bir gezegen tıpkı Dünya'daki gi-

bi bir oksijenli fotosenteze olanak tanıyabilir. Yalnızca pigmentlerin renklerinde görünür tayfın içinde küçük kaymalar olabilir.

Kırmızı cüce olarak da bilinen M sınıfı yıldızlar gökadamızda en çok bulunan yıldızlar olduğu için daha çok ilgi çeker. Güneş'ten çok daha az görünür ışımaya yayarlar ve bu ısımının tepesi noktası yakın kıızılötesi bölgededir. İskoçya'daki Dundee Üniversitesi biyologla-

## Biyozimzalar

Bitkilerin yansıttığı ışığın renginin yanı sıra, şu ayırt edici özellikler de yaşam işareti olabilir:

**Oksijen (O<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O):** Yaşamın olmadığı bir gezegende bile merkezdeki yıldızdan gelen ışık, su buharını ayırarak gezegen atmosferinde az bir miktar oksijenin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Ama bu gaz hızla dağılır ya da kaya ve volkanik gazları oksitler. Bu yüzden sıvı suyu olan bir gezegende bol miktarda oksijen bulunuyorsa, bu gazı üreten başka bir kaynak daha olmalıdır. Oksijenli fotosentez, bu konuda ilk akla gelecek adaydır.

**Ozon (O<sub>3</sub>):** Dünya'nın stratosferinde Güneş'in ışımasıyla ayrılan oksijen başka bir oksijen molekülüyle yeniden birleşerek ozonu oluşturur. Ozon, sıvı suyla birlikte güçlü bir biyozimzadır. Oksijen görünür dalgaboyunda saptanabiliyorken ozon kıızılötesi dalgaboyunda

saptanır. Bu da bazı teleskoplar için daha kolaydır.

**Metan (CH<sub>4</sub>) ve oksijen ya da mevsimsel döngüler:** Oksijen ve metanın kimyasal birleşmeleri, fotosentez olmadan zordur. Mevsimsel olarak artan ve azalan metan derişimi de iyi bir yaşam işaretidir. Ölü bir gezegenin metan düzeyi sabittir ve yıldızın ışığı bu molekülü uzun zaman içinde parçalayarak derişiminde yavaş bir azalmaya neden olur.

**Metil Klorür (CH<sub>3</sub>Cl):** Dünya üzerinde bu gaz bitkilerin yanmasıyla (özellikle orman yangınlarında) ve güneş ışığının plankton ve deniz suyu üzerindeki etkisiyle açığa çıkar. Oksitlenmeyle bozunur. Ama M sınıfı bir yıldızın görece zayıf ışınımı bu gazın saptanabilir miktarda birikmesini sağlayabilir.

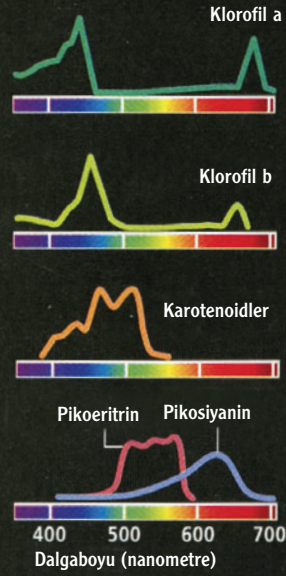
**Diazot monoksit (N<sub>2</sub>O):** Bitkiler çürürken diazot monoksit halinde azot açığa çıkarır. Bu gazı inorganik yollardan oluşturan şimşek gibi kaynaklar, göz ardı edilebilir.

# Yıldız Işığının Süzülmesi

Bitkilerin rengi, gökbilimcilerin kolayca gözlemleyebildiği yıldız ışığı tayfına ve ışığın su ve hava tarafından süzülmesine bağlıdır. Yazar ve meslektaşları, olası atmosfer yapısı ve yaşamın kendi etkilerini göz önüne alarak bitkilerin renklerinin benzetimini yapmıştır.

Fotosentetik pigmentler farklı dalgaboyu aralıklarını soğurur. Dünya'daki bütün kara bitkileri, klorofil a ve b ile karotenoid pigmentlerini kullanır. Algler ve siyanobakteriler fikobilin pigmentini kullanır.

## GÖRELİ SOĞURMA



## Yıldız Işığı

Atmosfere girmeden önce yıldızdan gelen ışığın belirgin bir tayfı vardır. Tayfın genel şeklini, yıldızın kendi atmosferindeki soğrulmadan kaynaklanan birkaç azalma dışında, yıldızın yüzey sıcaklığı belirler.

## Yüzey

Atmosferdeki gazlar yıldız ışığını düzenli olmayan bir şekilde, tepe noktası rengini kaydıracak ve emilim bantları oluşturacak -bazı dalgaboylarını perdeleyecek- şekilde soğurur. Bu bantlara en iyi örnek Dünya'dır (G sınıfı yıldızlara özgü durum).

## Sualtı

Su mavi ışığı geçirme, kırmızı ve kızılötesini soğurma eğilimindedir. Burada gösterilen grafikler 5 cm'lik ve 60 cm'lik su derinlikleri içindir. (Olgun M sınıfı yıldızın grafiğinde az oksijenli bir atmosfer öngörülmüştür.)

YILDIZ SINIFI: M (olgun)

KÜTLESİ\*: 0,2

PARLAKLIĞI\*: 0,0044

ÖMRÜ: 500 milyar yıl

ÖRNEKLENEN GEZEĞENİN

YÖRÜNGE UZAKLIĞI: 0,07

astronomik birim

\* Güneş'e göre

YILDIZ SINIFI: M (genç)

KÜTLESİ\*: 0,5

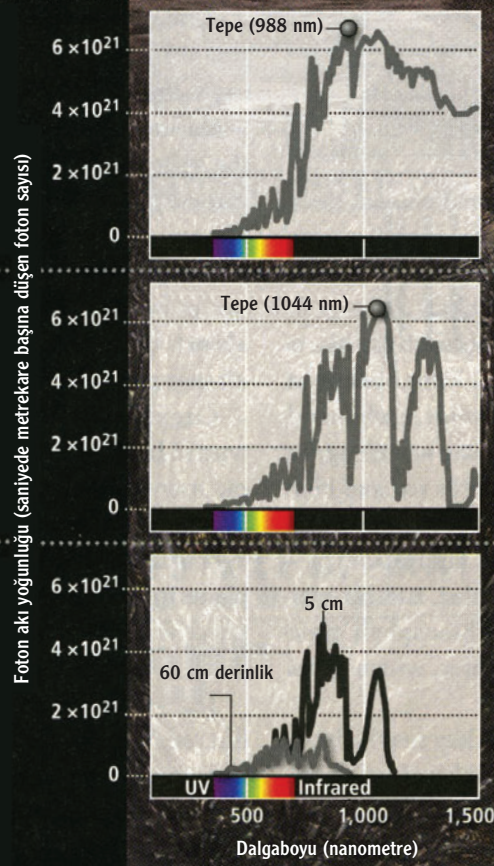
PARLAKLIĞI\*: 0,023

ÖMRÜ: 200 milyar yıl

ÖRNEKLENEN GEZEĞENİN

YÖRÜNGE UZAKLIĞI: 0,1

astronomik birim



ından John Raven ile Edinburgh'daki Kraliyet Gözlemevi'nden Ray Wolstencroft, oksijenli fotosentezin yakın kızılötesi fotonlarla kuramsal olarak olanaklı olduğunu ileri sürmüşlerdi. Dünya'daki bitkilerin suyu ayrıştırabilmesi için iki foton yeterli olurken bir organizma aynı iş için yakın kızılötesi fotonlardan üç ya da dördüne gereksinim duyar. Fotonlar bir roketin katmanları gibi bir arada çalışır ve bir elektrona kimyasal tepkimelerde gereken enerjiyi sağlar.

M sınıfı yıldızlar yaşam için bir kat daha zorludur; çünkü gençken güçlü UV ışınması yayarlar. Organizmalar bu ışınmanın zararlı etkilerinden su altında sınırlanabilir ama bu kez de ışıksız kalırlar. Bu yüzden fotosentez ortaya çıkmayabilir. M sınıfı yıldızlar yaşlandıkça ışınmalarının gücü diner, hatta Güneş'ten daha az UV ışınması yayar. Bu durumda organizmalar UV ışınları süzen bir ozon tabakasına da gerek duy-

maz; oksijen üretmeseler bile gezegen yüzeyinde serpilip gelişebilirler.

Gökbilimciler, yıldız tipi ve yaşına bakarak genel olarak dört senaryo üzerinde duruyor:

**Oksijensiz okyanus yaşamı:** Herhangi bir sınıftan genç bir yıldız. Organizmaların oksijen üretmesi gerekmez. Atmosferde metan gibi başka gazlar bulunabilir.

**Oksijenli okyanus yaşamı:** Herhangi bir sınıftan, biraz daha yaşlı bir yıldız. Oksijenli fotosentezin ortaya çıkması için yeterli süre geçmiş ve atmosferde oksijen birikmeye başlamıştır.

**Oksijenli kara yaşamı:** Herhangi bir sınıftan olgun bir yıldız. Bitkiler gezegen yüzeyini kaplamış durumda. Dünya üzerindeki yaşam, şu an bu aşamada.

**Oksijensiz kara yaşamı:** Parlaklığı azalmış, bu yüzden UV ışınımı göz ardı edilebilir M sınıfı bir yıldız. Bitkiler gezegen yüzeyini kaplar, fakat oksijen üretmeyebilir.

Bu dört farklı duruma ait fotosentetik biyoimzalar elbette aynı olmayacaktır. Gökbilimciler Dünya'ya ait uydu görüntülerinden edindikleri deneyimle, okyanuslarda karşılaşılabilecek yaşamın, teleskopların göremeyeceği kadar seyrek bir dağılımda olacağını bekliyor. Bu nedenle ilk iki senaryoda, güçlü pigment biyoimzaları üretilmeyebilir. O halde olası bir yaşamın kanıtı, üretilen atmosfer gazlarında aranmalıdır. Zaten başka dünyalardaki bitki renkleri üzerinde çalışan araştırmacılar da ister F, G ve K sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerdeki oksijenli fotosentez için olsun isterse, M sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerdeki herhangi bir fotosentez tipi için olsun, kara bitkileri üzerine yoğunlaşıyor.

## Yeni Yeşil: Siyah

Özel durumlara karşın, fotosentetik pigmentler Dünya üzerindeki kuralla-

YILDIZ SINIFI: G

Aşağıdaki eğriler Dünya üzerindeki gün ışığının spektrumunu gösteriyor.

ÖMRÜ: 10 milyar yıl

DÜNYA YÖRÜNGESİ: 1 astronomik birim

YILDIZ SINIFI: F

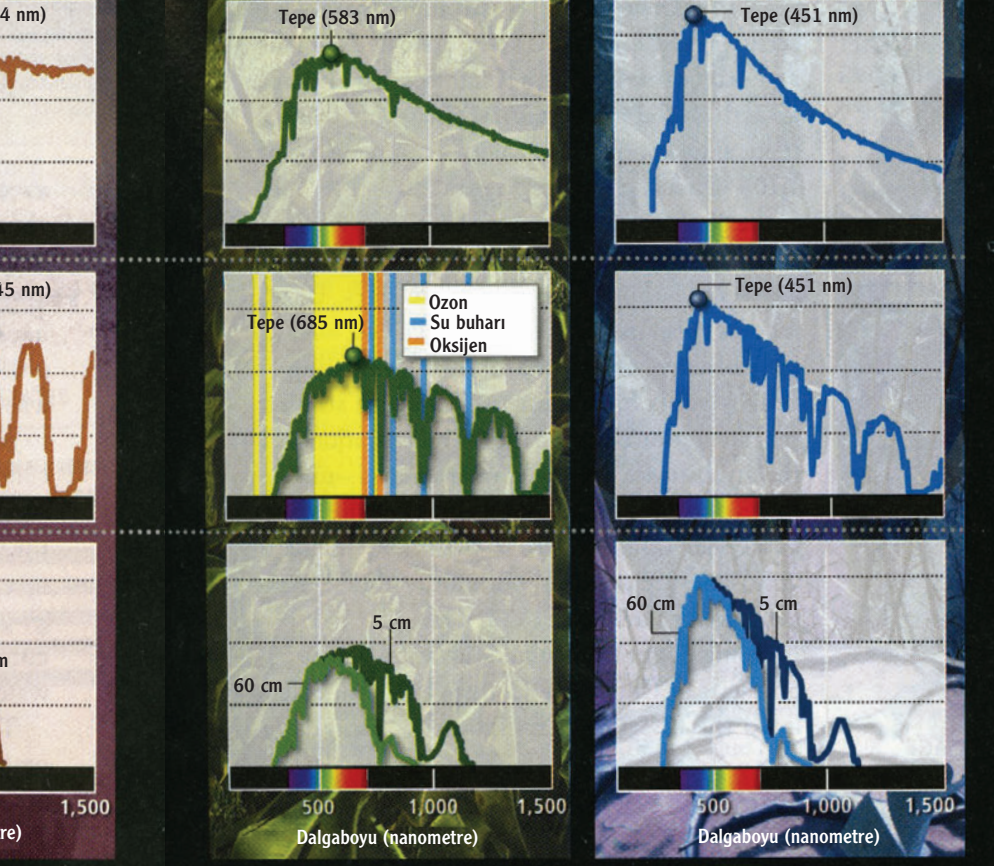
KÜTLESİ\*: 1,4

PARLAKLIĞI\*: 3,6

ÖMRÜ: 3 milyar yıl

ÖRNEKLENEN GEZEĞENİN

YÖRÜNGE UZAKLIĞI: 1,69 astronomik birim



rın ayınlarına uymak zorundadır: Pigmentler ya en bol bulunan fotonları, ya dalgaboyu en kısa olanları (en yüksek enerjililer), ya da en uzun olanları (tepkime merkezince soğrulanlar) soğurmaya eğilimlidir. “Yıldızın sınıfı gezegendeki bitkilerin rengini nasıl belirler?” sorusuna yanıt bulmak için birçok farklı disiplinden araştırmacının bir araya gelerek yıldızlara, gezegenlere ve biyolojiye ilişkin parçaları birleştirmesi gerekmiştir.

Berkeley’deki California Üniversitesi’nden Martin Cohen, bir F sınıfı yıldızdan (sigma Çoban), bir K sınıfı yıldızdan (epsilon Irmak), etkinliğini sürdüren bir M sınıfı yıldızdan (AD Aslan) ve varsayımsal olarak canlılığını kaybetmiş, sıcaklığı 3100 kelvin olan M sınıfı bir yıldızdan veri topladı. Meksika Ulusal Özerk Üniversitesi’nden gökbilimci Antigona Segura, bu yıldızların çevresindeki yaşama elverişli bölgelerde yer alan Dünya benzeri gezegenlere

ilişkin bilgisayar simülasyonları hazırladı. Şu anda Arizona Üniversitesi’nde olan Alexander Pavlov ile Pennsylvania Devlet Üniversitesi’nden James Kasting’in geliştirdiği modelleri kullanan Segura, yıldız ışmasıyla –bu dünyalardaki yanardağların Dünya’dakilerle aynı gazları çıkardığını varsayarak– olası atmosfer bileşenlerinin etkileşimi üzerine çalıştı. Amacı bu gezegenlerin göz ardı edilebilir miktarda ya da Dünya’dakiyle eşit oranda oksijen içeren atmosferlerinin kimyasını tahmin etmekte.

Segura’nın elde ettiği sonuçları kullanan Londra College Üniversitesi’nden fizikçi Giovanna Tinetti, Pasadena’daki Jet İtke Laboratuvarı’ndan David Crisp’in geliştirdiği bir modeli uygulayarak, ışınımın süzülmesini hesapladı (Bu model, Mars’a gönderilen uzay araçlarının güneş panellerine vuran ışığı hesaplamak için kullanılan modellerden biriydi). Bu hesapların yorum-

lanması için beş bilim insanının bilgisinin birleştirilmesi gerekiyordu: Rice Üniversitesi’nden biyolog Janet Siefert, Washington Üniversitesi’nden biyokimyacı Robert Blankenship, Illionis Üniversitesi’nden biyokimyacı Govindjee, Washington Üniversitesi’nden gezegenbilimci Victoria Meadows ve NASA Goddard Uzay Çalışmaları Enstitüsü’nden biyometeorolog, ben (Nancy Kiang).

F sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerin yüzeyine ulaşan fotonların, çoğu 451 nm dalgaboylu mavi fotonlar olma eğiliminde olduğunu bulduk. K sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenler içinse tepe noktası 667 nm’deki kırmızı renkte, hemen hemen Dünya’daki gibi. Ozon tabakası F sınıfı yıldızın ışığının maviye, K sınıfınınınin kırmızıya dönüşmesinde önemli bir rol oynuyor. Fotosentez için gerekli ışınım, tıpkı Dünya’daki gibi görünür ışık aralığında.

Bu nedenle F ve K sınıfı yıldızların gezegenlerindeki bitkiler küçük farklar dışında Dünya’dakiyle aynı renklerde olabilirler. F sınıfı yıldızlar için mavi fotonların seli o kadar yoğundur ki bitkilerin bunu antosyanin gibi perdeleyici bir pigmentle yansıtması gerekebilir. Bu da bitkilere açık mavi bir renk verecektir. Alternatif olarak bitkiler daha düşük enerjili yeşil-kırmızı arası renkleri boş verip yalnızca mavi ışığı da soğurabilir. Bu da teleskoptan bakan göz- lere yansıyan ışığın tayfının mavi ucunda fark edilebilir bir kırılmaya yol açacaktır.

M sınıfındaki yıldızların sıcaklıklarındaki farklar, çok çeşitli bitki renklerini olanaklı kılar. Parlaklığını yitirmiş bir M sınıfı yıldızın çevresindeki gezegen, Dünya’ya ulaşan enerjinin ancak yarısını alabilir. Bu değer canlılar için yeterli gibi görünse de –çünkü Dünya’da gölgeye uyumlu bitkilerin gerek duyduğu enerjinin yaklaşık 60 katına eşdeğerdir– fotonların çoğu yakın kızılötesidir. Evrim, görünür ve kızılötesi ışığı soğurabilecek çok çeşitli fotosentetik pigmentin oluşumuna yol açabilir. Bu durumda daha az ışık yansıtan bitkiler, bize siyah renkte görünebilir.

## Suluk Mor Nokta

Dünya üstündeki yaşam deneyimi bize gösteriyor ki F, G ve K sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerdeki er-



F sınıfı yıldızların çevresinde, bitkiler çok ışık alıyor olabilir, bu yüzden çoğunu yansıtmaları gerekir.

ken okyanus fotosentezcileri, ilk başta ki oksijensiz atmosfer koşullarında hayatta kalabilir ve kara bitkilerinin ortaya çıkmasını sağlayacak oksijenli fotosentezi geliştirebilir. M sınıfı yıldızlar için durum biraz daha karmaşıktır. Erken fotosentezcilerin hem UV ışımdan korunabileceği hem de gerek duydukları ışığı alabileceği, suyun yaklaşık dokuz metre altında bir "tatlı nokta" hesapladık. Biz onları teleskopla göremsek bile bu organizmalar gezegen yüzeyinde yaşam için gerekli ortamı hazırlayabilir. M sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerde daha çeşitli renklerde kara bitkileri, neredeyse Dünyamızdakiler kadar üretken olabilir.

Bütün yıldız sınıfları için önemli bir soru, gezegenlerin yüzey alanının geliştirilen teleskopların görebileceği kadar büyük olup olmadığıdır. Bu teleskopların ilk kuşağındakiler gezegeni bir nokta olarak görecek; yüzeyin haritasını çıkaracak bir çözünürlükte olamayacaktır. Bilim insanlarının eline ancak küresel olarak ortalaması alınmış bir tayf geçecektir. Tinetti, bu tayfta kara bitkilerinin seçilebilmesi için gezegen yüzeyinin en az %20'sinin kara, onun da bitkilerle kaplı ve üstünün bulutsuz olması gerektiğini hesaplıyor. Öte yandan okyanus-

lardaki fotosentez, atmosfere daha çok oksijen salıyor. Bu nedenle pigment biyoimzaları ne kadar belirginse, oksijen biyoimzaları o kadar güçsüz olacaktır; ya da tam tersi. Gökbilimciler ya birini ya da ötekini görecekler; ama ikisini birden değil.

Eğer bir uzay teleskopu bir gezegenden yansıyan ışık tayfında görülmesi beklenen renkler arasında siyah bir bant görürse, bu gözlemi bilgisayar başında izleyen kişi, başka bir gezegende yaşam bulgularını ilk gören kişi olacaktır. Başka minerallerin yaratabileceği benzer imzalardan kaynaklanacak hatalı yorumlamaları da göz ardı etmemek gerek elbette. Şu anda başka bir gezegende yaşamın göstergesi ola-

bilecek makul bir renk paletini tanımlayabiliyoruz; örneğin başka bir dünyanın yeşil, sarı ya da turuncu renkte bitkileri olabileceğini tahmin ediyoruz. Dünya'da, klorofilin imzasının bitkilere özgü olduğunu belirleyebildik; bu da bitkileri ya da okyanuslardaki bitkisel planktonları uydularla ayırt edebilmemizi sağlıyor. Şimdi başka dünyaların imzalarını çözmemiz gerekiyor.

Başka gezegenlerde yaşam –ama canlı bir yaşam; yalnızca fosiller ya da zor koşullar altında ayakta durmaya çalışan mikroplar değil– arayışı, artık hızla gelişen bir gerçek. Ortalıkta bu kadar çok yıldız varken gözümüzü hangisine çevirmeliyiz? M sınıfı yıldızların çevresindeki gezegenlerin tayflarını, kendilerine çok yakın olan yıldızlarından ayırabilecek miyiz? Yeni kuşak teleskopların dalgaboyu aralığı ve çözünürlük değeri ne olacak? Fotosentezi kavramak, bu hedeflere ulaşmak ve verileri yorumlamak için anahtarımız olacak. Bilimlerin sentezini gerektiren bütün bu sorular, yalnızca birer başlangıç. Evrenin başka bir noktasındaki yaşamı arama becerimizse, Dünya'daki yaşamı derinlemesine anlayabilmemizi gerektiriyor.

Nancy Y. Kiang, "The Color of Plants on Other Worlds" Scientific American, Nisan 2008.

Çeviri: Muzaffer Özgüleş



F sınıfı yıldızlar için bitkilerin renkleri