

Biyolümm

Dr. Özlem Kılıç Ekici [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Bilim ve Teknik Ağustos 2018

Işıldayan Canlılar, Biyolojik Işıldama

Bioluminesans

Ateşböceklerinin yaz gecelerini aydınlatan ışıklı dansları, avını başından sarkan ışıklı bir diken sayesinde yakalayan fener balığı, denizlerde yakamoz dediğimiz olayı gerçekleştiren tek hücreli canlıların su yüzeyindeki muhteşem dansı, denizanalarının ışıldayarak denizin derinliklerinde süzülmesi.

Doğa yanıp sönen, parlayan, ışıltılarıyla göz kamaştıran organizmalarla donanmış halde.

Yaşadığımız dünyada ve özellikle denizlerde bu canlılardan bol miktarda var.

Peki bu canlıları diğer canlılardan farklı kılan ne?

Cevap çok basit:

Biyolojik olarak ışık üretebilme yeteneği.

Biyoluminesans yani enzimler denetiminde oluşan bir kimyasal tepkime sonucunda ısı yerine açığa çıkan "soğuk ışık".

Doğal ve rengârenk bir canlılık.

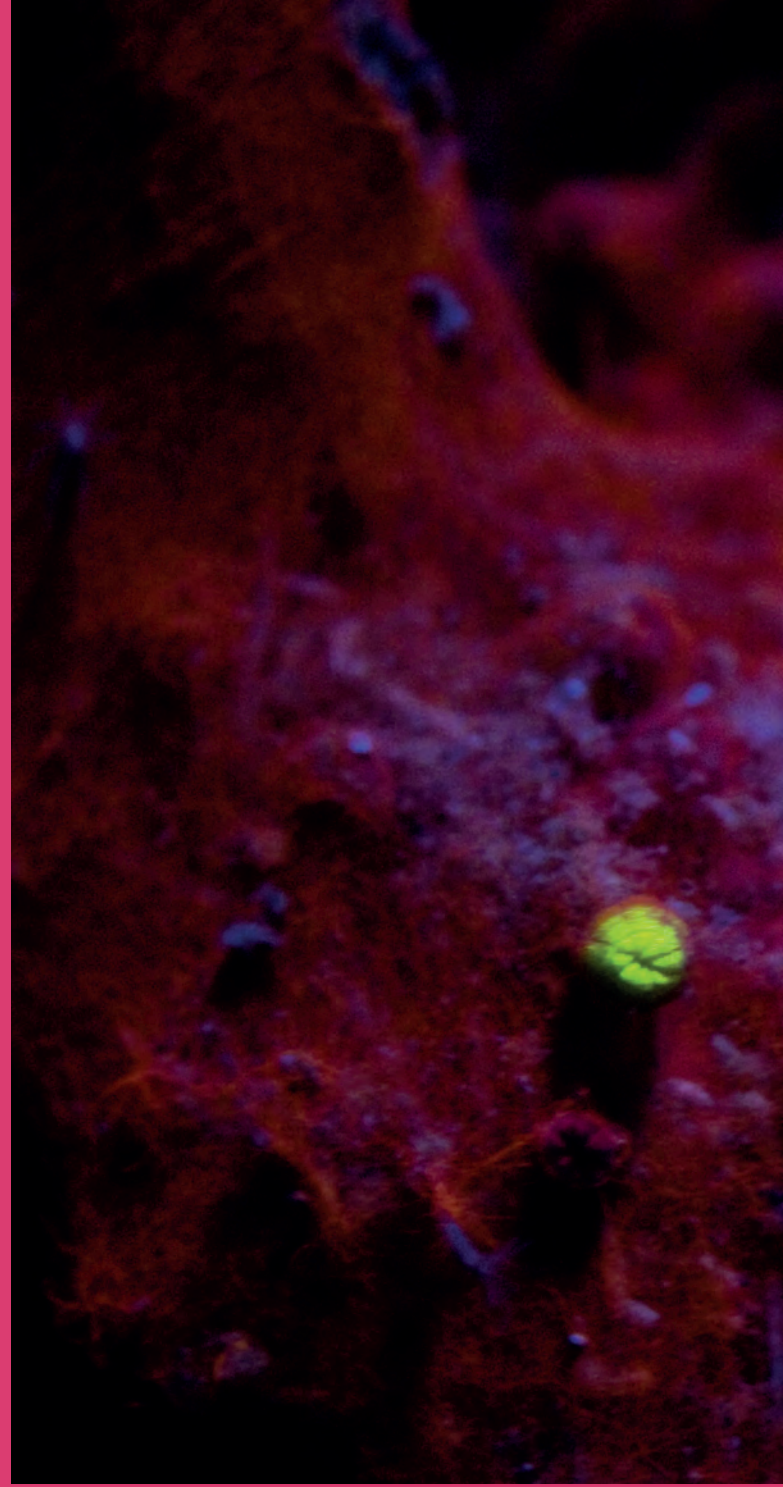
Işıldayan canlılar, ister karada olsun ister denizin derinliklerinde, pırıltılarıyla doğanın akıl almaz güzelliğine eşlik ederek yaşadığımız dünyaya renk katıyorlar.

Bazı canlılar biyoluminesans denilen bir kimyasal tepkime sonucunda kendi ışıklarını üretir ve yayar. Ateşböcekleri, ışıldayan larvalar yani kurtçuklar, fener balığı, bazı denizanasları, ahtapotlar, mürekkep balıkları, mercanlar, bazı mantarlar ve mikroorganizmalar bu tür ışık yayan canlılara örnek gösterilebilir. Peki bu canlıların kendi ışıklarını üretmesini ve yaymasını sağlayan şey nedir? Bu süreçten sorumlu olan şey aslında enerji. Çoğumuzun bildiği gibi kimyasal enerji ısı olarak açığa çıkabilir, tıpkı yediğimiz besinlerin vücut ısısına dönüşmesi gibi. Ama biyoluminesan canlılarda kimyasal enerji ışık olarak açığa çıkıyor.

Biyoluminesans kimyasal tepkime sonucu oluşan luminesansın yani ışıldamanın canlılar tarafından oluşturulan bir çeşidi. Dışarıdan UV ışık kaynağı ile uyarılmaya gerek duymadan, kendiliğinden ışık üretme ve yayma olayı. Floresansın, fosforesans ya da ışığın yansımaları ile karıştırılmaması gerekiyor. Derinsu deniz canlılarının yaklaşık % 90'ı biyoluminesans özelliğe sahip. Bu canlıların birçoğunun yaydığı ışık mavi ve yeşil ışık tayfına ait, yani deniz suyunda kolayca iletilebilen dalga boyları aralığında. Bazı çenesiz balık türlerinin kırmızı ve kızılötesi ışık yaydığı da biliniyor. *Tomopteris* cinsine ait balık türleri ise sarı ışık yayıyor. Biyoluminesan canlıların bazı türünün gece karanlıkta daha belirgin parladığı biliniyor.

Biyoluminesans özelliği karada yaşayan canlılarda deniz canlılarına göre daha ender görülüyor. En bilinen örnekler ateş böcekleri ve ışıldayan kurtçuklar. Bazı böcekler, böcek larvaları, halkalı solucanlar ve eklembacaklılar da ışık yayıyor. Bazı fungus cinslerinin sporları, bakteriler ve özellikle şapkalı mantarlar da ışıldıyor.

Deniz yüzeyinin sanki üzerinde bir süt katmanı varmış gibi, beyazı andıran bir ışıkla ışıldaması, uzaydan çekilen uydu fotoğraflarında bile belirgin bir şekilde, özellikle de Hint Okyanusu'nda, görülüyor. Bu tür yoğun, beyazımsı ışıldamanın biyoluminesan özelliğe sahip deniz bakterileri (*Vibrio harveyi*) tarafından oluşturulduğu söyleniyor. Bu tür bakteriler özellikle popülasyon (ortamdaki bakteri hücrelerinin sayısal değeri) belli bir yoğunluğa ulaştığında dışarıdan bir uyarana gerek kalmadan sürekli ışıldıyorlar ve bu olay uydu fotoğraflarıyla görüntülenebiliyor.



Denizlerde yakamoz meydana getiren tek hücreli, çift kamçılı planktonlar (*Dinoflagellates*) özellikle bazı bölgelerde geceleri çok belirgin ışık saçıyor ve insanların ilgi odağı oluyorlar.

Özellikle *Noctiluca* cinsi fitoplanktonlar gündüzleri denizde kırmızı adacıklar oluştururken, gece olduğunda parlak mavi ışık yaymaya başlıyor. Bu göz altıcı mavi sadece suda herhangi bir hareket meydana geldiğinde ortaya çıkıyor ve bu etki de en fazla kıyıya vuran dalgalarda görülüyor.



Biyolüminesansın Kimyası

Biyolüminesans, kimyasal ışıldamanın (kemilüminesans) doğal olarak oluşan bir çeşidi yani enerjinin kimyasal bir tepkime neticesinde ışık olarak açığa çıkması. Biyolüminesans organizmalar bir renk maddesi proteini olan lüsiferini ve lüsiferaz enzimi üretir. Lüsiferin oksijenle tepkimeye girerek ışık oluşturur. Lüsiferaz enzimi katalizör olarak rol oynayarak tepkimeyi hızlandırır. Tepkimeye bazen kalsiyum iyonları ve ATP (adenozin trifosfat) gibi faktörler de dahil olur. Kimyasal tepkime hücrenin içinde ya da dışında gerçekleşebilir. Bakterilerde biyolüminesans ile ilgili genlerin ifade edilmesi Lux operonu (genlerin ifade edilmesinin düzenlenmesini denetleyen kalıt bölgesi) tarafından kontrol edilir. Biyolüminesans canlıların “soğuk ışık” ürettiğinden bahsettik. Bu ışığın soğuk olarak adlandırılmasının nedeni, kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi için kullanılan enerjinin yaklaşık % 98’inin ışık halinde dışarı verilmesi, % 2’sinin de ısı olarak yitirilmesi. Yani ısı halinde enerji kaybı yok denecek kadar az. Klasik ampullerin oluşturduğu ışık akkor dediğimiz mekanizma sayesinde oluşuyor. Ampullerin içindeki tel çok ısınır ve ışığı yansıtır. Işığın bu şekilde oluşturulması için bu kadar fazla ısı üretilmesi çok fazla enerji kaybına sebep olur. Günlük hayatta kullanılan elektrik enerjisinin floresan lambalarda % 75’i ışık, % 25’i ısı, klasik ampullerde ise % 25’i ışık, % 75’i ısı olarak açığa çıkıyor. Anlayacağınız biyolüminesans yani ışıldayan canlılar enerjilerini çok verimli kullanıyor.

Doğanın Biyoluminesansı: İlginç Canlılar

Biyoluminesan canlıların ışık üretmesinin ve yaymasının temel nedenleri arasında üreme, cezbetme, avlanma, yiyecek bulma, iletişim kurma, kamuflaj, savunma, korunma, yol bulma, taklit ve yardım çağırma geliyor.

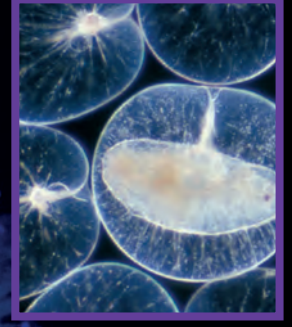
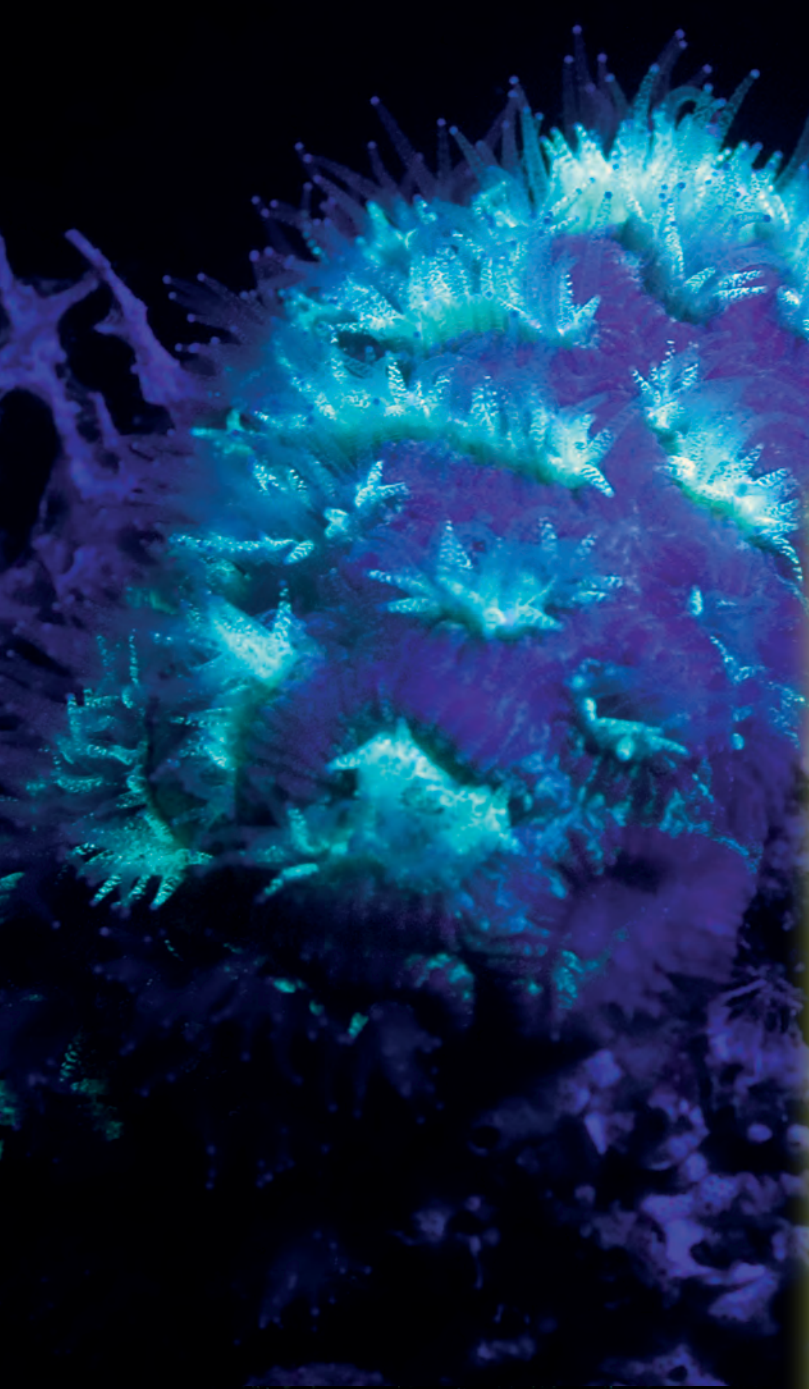
Ateşböceklerinin erkekleri ilk yaz gecelerinin karanlığında kendilerine uygun eşi bulmak amacıyla ışık saçar. Vücudu çok yassı, kafası ve ağızı büyük olan fener balığının sırtında iki yüzgeç ve dikenler vardır. Bu dikenlerden biri diğerlerinden çok daha uzundur ve balığın ağzının önüne kadar sarkar. Bu dikenin ucunda bulunan ve fener balığı ile ortak yaşayan bakteriler, ışık üretir. Özellikle dişi fener balıkları fenerlerini olta gibi kullanarak, ışığa dolayısıyla tam ağızlarının önüne gelen küçük balıkları avlar. Aslında fener balığı tüm canlılar içinde hem kendi ışığını üreten hem de ortak yaşadığı bakteriler sayesinde ışık yayan tek balık türü. Sırtındaki dikenler balığın kendi ürettiği ışığı yayıyor, dikenlerden en uzun olanının ucundaki organı ise ışıldayan bakteriler aydınlatıyor.

Bir diğer balık cinsinin de gözlerinin altındaki torbacı benzeri organlarda ışıldayan bakteriler bulunuyor ve balığın gözleri tıpkı bir ampul gibi ışık saçıyor. Balık bu ışığı avcılarından korunmak, iletişim kurmak ve avını kolayca yakalamak için kullanıyor. Başka deniz canlıları da avcılarını korkutmak ve kaçırmak için parlak ışık saçıyor. Yakamozu gerçekleştiren planktonlar ise sadece bir hareket hissettiklerinde ışıldayarak kendilerini rahatsız eden küçük balıkları avlayacak daha büyük avcı balıkları cezbetmeye çalışıyor, bu da bir çeşit savunma ve korunma mekanizması. Mürekkep balığının ise sadece vücudunun alt kısmı ışıldar, bu da balığın bulunduğu ortamın rengine uyum sağlayarak saklanmasını kolaylaştırır.



Doğada gözlenen ilginç bir diğer biyoluminesans örneği de ışıldayan kurtçuklar. Nehir ve dere yataklarında yaşayan küçük sinekler yumurtalarını yakınlardaki nemli mağaraların ya da oyukların tavanına bırakır. Bu yumurtalardan çıkan kurtçuk şeklindeki larvaların kuyrukları ışıldar ve parlar. Özellikle de larvalar acıktığında kuyrukların ışıltısı artar. Larvalar ışıldayan kuyruk uçlarından yapışkan bir sıvı salgılar, bu sıvı tıpkı uzayan sarkıtlar gibi mağaranın tavanından aşağıya doğru sarkar. Bu ışıltıya doğru uçan başka böcekler bu yapışkan tuzaklara takılır ve larvanın yemi olur. Acıkmış olan larva sarkıtlara yapışan böcekleri yemek için bu sarkıtların üzerinden aşağıya doğru kayarak hareket eder. Yeni Zelanda'daki Waitomo Mağarası bu açıdan turistlerin büyük ilgisini çekiyor. Işıldayan larvaların oluşturduğu sarkıtları görmek isteyenler akın akın bu mağarayı ziyaret ediyor, surf bunun için özel turlar düzenleniyor.





Lüminesans: Işıldama

Bazı maddeler bir dış kaynaktan aldıkları enerjinin bir kısmını, kendi ısıları değişmeksizin, elektromanyetik ışımaya olarak yayar. Işık veren maddelere lüminesans madde denir. Bunun diğer elektromanyetik ışınımlardan temel farkı, ışıldayan maddenin ısısında bir değişme olmamasıdır. Bu yönüyle ışıldama, "soğuk ışık" olarak da adlandırılır. Dış uyarı elektrik akımı, biyokimyasal tepkime, ışık, X-ışını veya morötesi ışın olabilir. Lüminesans maddenin atomlarındaki uyarılan dış yörünge elektronları, yüksek enerjili konuma geçer. Uyarılan elektronlar, normal konumlarına döndüğünde, elektromanyetik radyasyonu görünür ışık şeklinde açığa çıkarır. Bir atomun ışımmasının frekansı, elektronun çekirdek çevresindeki dönüş frekansına bağlıdır. Farklı atomların dış elektron kabuğu farklı olduğu için salınan ışımaların frekansı da değişik olacaktır. Elektron çekirdeğe yakınsa dönüş frekansı artacak, bunun sonucunda da yayılan ışımaların frekansı yüksek olacaktır. Başka bir deyişle, açığa çıkan ışığın dalga boyu (yani rengi) her lüminesans madde için farklı olabilir.

Işıldamanın tetikleyici enerji kaynağına göre farklı çeşitleri var:

Isıl ışıldama (Termolüminesans)

Optik uyarmalı ışıldama

Sürtünmeyle ışıldama (Tribolüminesans)

Kimyasal tepkime sonucu ışıldama (Kemilüminesans)

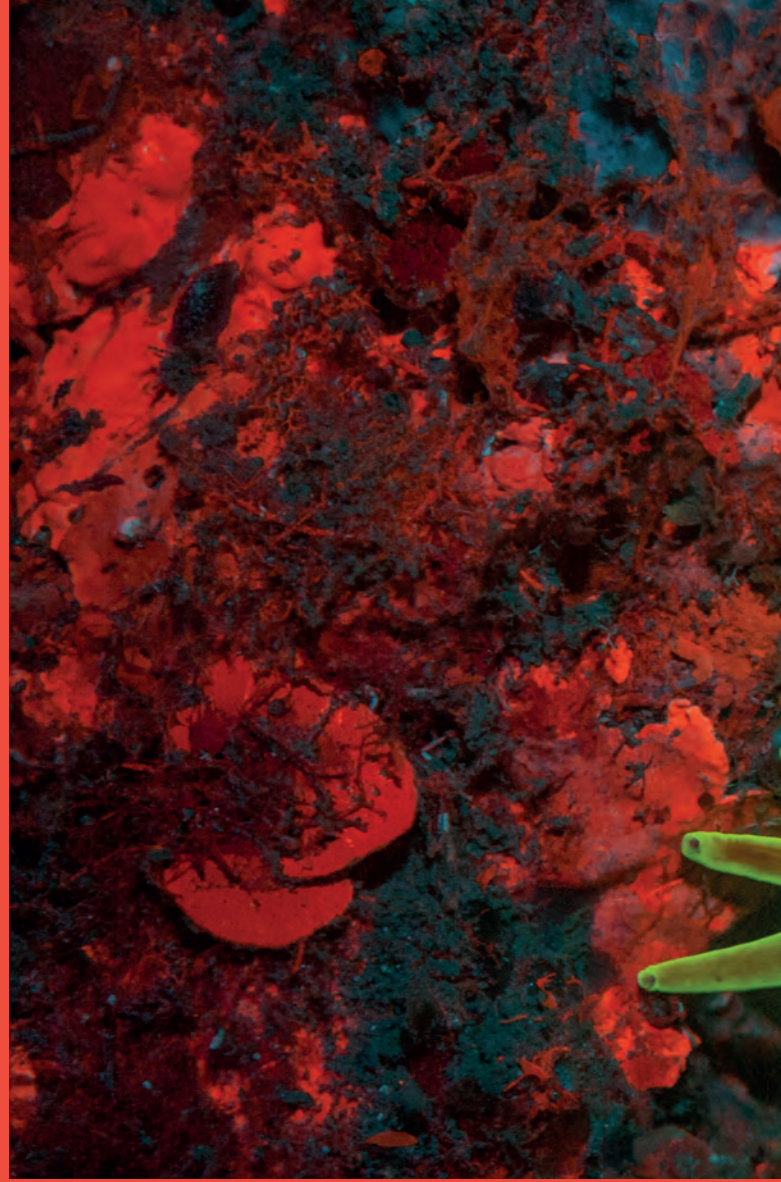
Elektriksel ışıldama

Radyo ışıldama

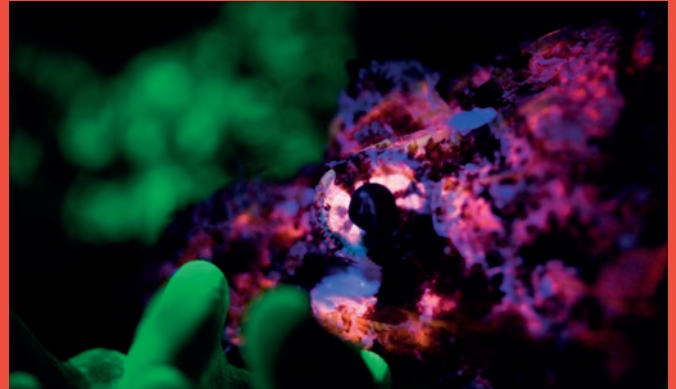


Biyolüminesans ve Biyofloresans Aynı Şeyler mi?

İkisi de canlılarda görülüyor. Biyolüminesansta canlınin kendisi ışığın kaynağı yani canlınin vücudundaki kimyasal maddeler elektronları uyararak ışığı oluşturuyor. Işığın yayılması için dışarıdan bir UV ışık kaynağı tarafından uyarılmaya ihtiyaç yok. Biyofloresans ise dışarıdan gelen uyarının (bu uyarı görünür ışık, X-ışını, morötesi ışın olabilir) emilip anında geri salınması ile gerçekleşiyor. Aslında atom düzeyinde iki mekanizma birbirine benziyor. Her iki durumda da elektronların uyarılma sonucu hareketlenerek enerji ile yüklenmesi ve bunu takiben tekrar normal konuma geçmeleri sırasında ışığın yan ürün olarak meydana geldiğini görüyoruz. İki mekanizma arasındaki fark tetikleyici faktörlerde. Biyolüminesansta tetikleyici olan şey lüsiferin/lüsiferaz kompleksi ve bu etkileşime oksijenin de dahil olmasıyla ortaya çıkan kimyasal tepkime. Lusiferin proteinleri yüklü hareketli elektronlar halinde enerjiyi depoluyor. Bu elektronlar bağlarından lusiferaz enzimi sayesinde kopuyor. Serbest kaldıklarında daha az enerji dolu oluyorlar ve bu enerjilerini foton ya da ışık şeklinde açığa çıkarıyorlar. Biyolüminesans özellik gösteren tüm canlılarda aynı tip kimyasal tepkime görülüyor. Biyofloresans ise organizmadaki renk maddesinin dış kaynaktan ışığı emmesi neticesinde oluşuyor. Bu renk maddesi, tek bir rengin belli dalga boylarındaki ışığı emiyor ve bunu farklı bir renk olarak dışarı yansıtıyor. İşlem sırasında enerjinin bir kısmı ısı olarak kaybediliyor. Bu nedenle açığa çıkan ışığın enerjisi düşük ama dalga boyu emilen ışıktan daha yüksek oluyor. Bu dalga boyunda meydana gelen değişim, farklı renklerin oluşmasını sağlıyor.



Örneğin Karayip Denizi'ndeki mercan adalarının ışık kaynağı Güneş'tir. İçerdikleri renk maddesinin özelliğine bağlı olarak, mercanlar güneş ışığını soğurduklarında ışıltı mavimsi, kırmızı, çivit mavimsi, yeşil, sarı, turuncu floresan renkler, ancak mercanların üzerlerine kuvvetli bir ışık kaynağı tutulduğunda yansır. Biyofloresans organizmalar biyolüminesanslara oranla daha zengin renkli ışık yayar.





Aequorea victoria türü denizanasında ise hem biyoluminesans hem de biyofloresans özelliği bulunuyor. Bu canlılarda görme ve işitme duyuları gelişmemiş. Herhangi bir cisime sürtündüklerinde, dürtüklendiklerinde ya da seyir halindeyken vücutları ışıdamaya başlıyor. Küçük ışık organlarının içindeki aequorin proteini sayesinde gerçekleşen kimyasal tepkime sonucunda (biyoluminesans) mavi ışık oluşur, sonrasında yeşil floresan proteini (GFP-Green Fluorescent Protein) bu ışığı bir uyarı olarak alır ve yeşil ışık olarak ortama salar (biyofloresans).



Işıldayan Proteinler ve Biyoteknoloji

Deniz anasının vücudunda ürettiği bir floresan molekül olan yeşil floresan proteini (GFP) 238 aminoasitten meydana gelir. Bu 238 molekülün meydana getirdiği üç boyutlu yapı, başka bir proteine, moleküle veya kimyasal tepkimeye ihtiyaç duymadan etrafına floresan yeşil ışık verir. Bu özelliğinden dolayı özellikle moleküler biyoloji, biyoteknoloji, genetik mühendisliği ve biyomedikal alanlarda çalışan bilim insanlarının bir hayli ilgisini çekmiş.

Bu protein üzerinde pek çok çalışma yapılmış ve mercanlardan sadece yeşil değil başka renklerde de (kırmızı ve mavi) ışık verebilen proteinler elde edilmiş. Ayrıca yalnızca mavi ışıkla değil, morötesi ışıkla da uyarılan ve etkinleşen floresan proteinler kullanılmaya başlanmıştır. Bu proteinler sayesinde, canlı dokularda ve hücrelerde ne tür biyolojik etkinlikler olduğu daha kolay anlaşılmasına başlanmıştır. Örneğin kök hücrelerin nasıl özelleştiği, beyin hücrelerinin nasıl birbirleriyle iletişim kurduğu gibi konularda araştırmalar başlatılmış.

DNA ve protein araştırmalarında farklı renklerdeki floresan proteinlerin kullanılması molekül görüntüleme tekniklerinin daha verimli kullanılmasına imkân tanımıştır. Yeşil floresan proteini, canlı hücreler içinde işaretleyici gen olarak da kullanılabilir. Bakteri, maya hücreleri, bazı bitkiler, zebra balığı, fareler, maymunlar ve kediler üzerinde yapılan deneyler olumlu sonuçlar vermiştir. Bu canlılara genetik mühendisliği yöntemleri ile floresan proteinini kodlayan gen aktarılmıştır. Genetik yapılarına eklenen bu kod gereğince floresan proteini sentezleyen canlılar, kullanılan floresan proteininin cinsine göre mavi veya morötesi ışığa maruz bırakıldıklarında yeşil ışık saçarak parlıyor. GFP sayesinde tıbbi araştırmalarda genlerin işaretlenmesi ve kritik gen dizilimlerinin belirlenmesi çalışmaları da hız kazanmıştır. Aynı şekilde kanserli hücrelere bağlanması sağlanan floresan proteini sayesinde ameliyat sırasında kanserli hücrelerin gözle görülür hale gelebileceği ve ameliyatların çok daha hassas bir şekilde yapılabileceği söyleniyor. Kanser yanı sıra sinir dokusunun bozulmasıyla ortaya çıkan birtakım rahatsızlıkların tespiti, HIV araştırmaları gibi daha birçok alanda bu protein kullanılıyor.



Biyoluminesans ortak simbiyotik yaşam, popülasyon dinamiği, bakteri hücrelerinin birtakım sinyal molekülleri sayesinde birbirleriyle iletişim kurması gibi çalışma alanlarında model olarak kullanılmış.

Devam eden çalışmalar gelecek vaat ediyor. Biyoluminesan canlıların ışık yayan organlarının işleyiş mekanizmaları ve yapılarından ilham alınarak bazı endüstriyel tasarımlar geliştirilmeye çalışılıyor. Geceleri yol kenarlarını aydınlatacak biyoluminesan ağaçlar, sadece suya ihtiyacı olduğu zaman ışıldayacak bitkiler, gıdalardaki bakteri buluşmalarını kolayca tespit etmeye yarayacak yöntemler önerilen çalışmalar arasında yer alıyor. ■



Kaynaklar

<http://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-marine-120308-081028>

<http://www.amnh.org/creatures-of-light/>

<http://blogs.scientificamerican.com/anthropology-in-practice/2012/03/29/let-there-be-living-light-bioluminescence-in-nature/>

<http://science.howstuffworks.com/environmental/life/zoology/all-about-animals/bioluminescence.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Green_fluorescent_protein

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioluminescence>

<http://www.lifesci.ucsb.edu/~biolum/organism/milkysea.html>