

Canlı Pırıltıların Doğadaki Dansı

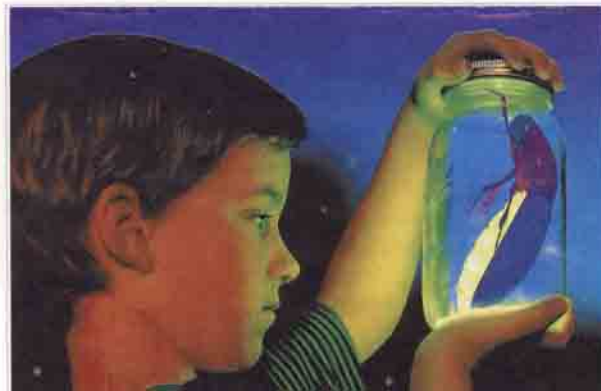
Biyoluminesans

Çocukluğu ağaçlardan ve ormanlardan uzak geçenlerin bilemeyeceği bir tat, geceleri ağaçların tepelerinde gezinip ateşböceği yakalamak. Onları kibrit kutularında biriktirmek ve karanlıkta kibrit kutularını açıp, içlerindeki büyülü ışıkları izlemek. "Bende dört tane yeşil var. Sen kaç tane buldun?" "Benimkiler sarı, bir tane de turuncu var." Çocukları olduğu kadar büyükleri de etkileyen bu canlıların elektriğe gereksinimleri yok ışık çıkarmak için;

bu işi kimyasal olarak yapıyorlar. Laboratuvarında bir iki maddeyi karıştırıp ışık elde ettiğinizi düşünün. Tabii, ateşböcekleri ışık elde etmek için bu kadar bilinçli davranmıyorlar. Sadece birbirlerini etkilemek için ışık saçıyorlar! Romantik anlara eşlik edebilecek kadar güzel olan bir başka görüntü de denizlerde... Yakamoz seyredip sandal sefası yaparken, küreğin suya dalıp çıkarken yarattığı pırıltıların bir hücreli canlıların eseri olduğunu kim düşünür? Bunlara benzer daha birçok örnekle dolu ışıklı canlılar dünyasını, gelin birlikte keşfedelim.

ÜZERİNDE yaşayan canlılarıyla beraber, yerküre ciddi bir enerji sorunuyla karşı karşıya. Yapılan bilimsel araştırmaların çoğunda doğal enerji kaynaklarının oluşumu, enerjinin iletimi, ve enerjinin en verimli kullanım biçimleri inceleniyor. İnsanoğlu artık daha az enerji harcama çabasında. Isı şeklinde enerji kaybı çok az olan ve bu yönüyle ilgi çeken doğal bir canlılık olayı "soğuk ışık" yani biyoluminesanstır. Soğuk ışık, bazı canlılarda enzimlerin denetiminde bir dizi kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi sonucunda açığa çıkan ışığa verilen addır. Bu ışığın soğuk olarak adlandırılmasının nedeni, bu kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için kullanılan enerjinin %98'inin ışık halinde dışarı verilmesi, %2'sinin de ısı

olarak yitirilmesidir. Soğuk ışığın oluşumu sırasında ısı kaybının ne kadar az olduğunu, elektrik enerjisinin, floresans lambalarında %75'inin ışık, %25'inin ısı; ampullerde ise %25'inin ışık, %75'inin ısı olarak açığa çıktığını düşünerek anlayabiliriz. Floresans lambaları ve ampuller yoluyla ışık elde etmenin ekonomik açıdan karşılaştırılması, tek bir ateşböceğinin bir floresans lambanın bir santimetre karesinin çıkardığı ışığa eşit miktarda (ışık için kuvvet birimi olan "lumen" olarak) ışık çıkarmasının önemini daha da iyi vurgulayacaktır. Belki de, gelecekte ateşböceklerinden elde edilen maddelerle aydınlatılan evlerde yaşayabiliriz ya da ışık çıkaran canlılardan elde edilen genlerin aşılandığı bitkileri saksılarda yetiştirerek ışık gereksinimimizi karşılayabiliriz. Bu, pek o kadar da olma-



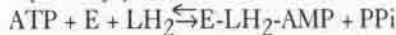
olarak yitirilmesidir. Soğuk ışığın oluşumu sırasında ısı kaybının ne kadar az olduğunu, elektrik enerjisinin, floresans lambalarında %75'inin ışık, %25'inin ısı; ampullerde ise %25'inin ışık, %75'inin ısı olarak açığa çıktığını düşünerek anlayabiliriz. Floresans lambaları ve ampuller yoluyla ışık elde etmenin ekonomik açıdan karşılaştırılması, tek bir ateşböceğinin bir floresans lambanın bir santimetre karesinin çıkardığı ışığa eşit miktarda (ışık için kuvvet birimi olan "lumen" olarak) ışık çıkarmasının önemini daha da iyi vurgulayacaktır. Belki de, gelecekte ateşböceklerinden elde edilen maddelerle aydınlatılan evlerde yaşayabiliriz ya da ışık çıkaran canlılardan elde edilen genlerin aşılandığı bitkileri saksılarda yetiştirerek ışık gereksinimimizi karşılayabiliriz. Bu, pek o kadar da olma-



bilgi vermesi, onun araştırmalarda kullanılabilmesini sağlayan en önemli özelliklerindedir. Açığa çıkan ışığın şiddeti, tepkimede kullanılan ATP enerjisinin miktarı hakkında doğrudan bilgi sağladığından, tıbbi ve biyolojik araştırmalarda, hücre ve doku özütlerindeki ATP miktarlarını ölçmede bu tepkime dizisinden yararlanılmaktadır. Ayrıca, genetik mekanizmalar üzerinde yapılan çalışmalarda da, Jamaika'da yaşayan, yapımı üç ayrı gen tarafından kontrol edilen üç tip lusiferazı bulunan bir böcek türünün bu genleri kullanılmaktadır.

Pırlıttının Kimyası

Biyoluminesans ile ilgili incelemeler daha çok, yaklaşık iki bin kadar türü olan ateşböcekleri (Lampyridae) üzerinde yapılmıştır. Ateşböceklerinin ışık organları yağ dokusundan oluşmuştur. Bu dokuyu oluşturan hücreler, yansıtıcı bir tabakanın üzerinde bulunur. Bu hücrelerde bulunan lusiferin adlı bir maddenin lusiferaz adlı bir enzimle, ATP enerjisinin kullanılması yoluyla gerçekleşen oksidasyonu sonucunda ışık açığa çıkar. Ateşböceklerinin, ağız sıkıca kapatılmış bir kaba konulduklarında, kabın içindeki oksijen bitinceye kadar ışık çıkardıkları, oksijen tükendikten sonra ise ışık çıkaramadıkları belirlenmiştir. Bu canlıların, larvaları, pupları, yumurtaları, hücre özütleri ve ezilmiş vücutları bile ışık çıkarabilirler. Hatta, ateşböcekleriyle beslenen bazı kurbağalar da ışık verebilirler. Ateşböceği biyoluminesansında gerçekleşen tepkimeleri W. D. McElroy şöyle göstermiştir: Lusiferaz (E), lusiferinin indirgenmiş formu (LH₂) ve ATP ile birleşerek enzim-lusiferil-adenozin monofosfatı (AMP) yaparlar ve inorganik pirofosfat (PPi) açığa çıkar. Bu tepkime Mg⁺⁺ varlığında gerçekleşir. Bu tepkime şöyledir:



Adenozin monofosfat, lusiferinin bir karboksil grubuna eklenir. Sonra oksijen varlığında E-LH₂-AMP, E-L-AMP'ye okside olurken (yükseletgenirken) ışık çıkar. Işık ATP enerjisinin ürünüdür. Daha sonra E-L-AMP, lusiferaz, lusiferin ve AMP'yi serbest bırakmak üzere parçalanır. Lusiferinin lusiferaz tarafından oksidasyonu biyolojik bir oksidasyon olayıdır ve oksijen yokken oluşmaz. Lusiferin ve lusiferaz ateşböceklerinden alınarak, deney tüpünde karıştırılıp,

Mg⁺⁺ ve ATP eklenerek ışık elde edilebilir. Lusiferin ve lusiferazın kimyasal yapısı canlı türleri arasında farklılık gösterir. Kabuklulardan Cypridina'lar ve ateşböceği Photinus pyralis'lerden izole edilen lusiferinlerin kimyasal olarak birbirinden çok farklı oldukları bulunmuştur. Bu canlılara ait lusiferinler, Cypridina lusiferini ve lusiferazı, ateşböceği lusiferini ve lusiferazı şeklinde adlandırılırlar. Cypridina lusiferini ve ateşböceği lusiferinlerinin laboratuvarında sentezleri gerçekleştirilmiştir. Cypridina lusiferini (C₂₂H₂₇N₇O) molekül ağırlığı 405 olan portakal renkli bir indol bileşiği, ateşböceği lusiferini ise (C₁₁H₈N₂O₃S₂) molekül ağırlığı 280 olan bir tiazol bileşiğidir. Bakterilerdeki lusiferin ise hücre sel solunum olaylarında önemli rolü olan flavin mononükleotid (FMNH₂) bileşiğinin indirgenmiş formudur.

Biyoluminesans olayı farklı canlı türlerinde farklı kimyasal mekanizmalarla gerçekleşir. Balanoglossus biminiensis deniz solucanı, rahatsız edildiğinde, epitel doku yüzeyinden yeşilimsi-mavi renkte ışık veren bir salgı salgılar. Bu canlılarda ışık çıkarma için lusiferin, lusiferaz ve hidrojen peroksit gereklidir, ancak oksijen gerekli değildir. Bir derin deniz balığı olan Porichthys notatus vücut yüzeyinde, 700 kadar fotofor adı verilen küçük ışık organlarına sahiptir. Bu canlılarda, deri altına küçük bir miktar epinefrin enjekte edildiğinde ya da elektriksel uyarı verildiğinde ışık oluşmaktadır. Bu durum, olayın kısmen hormonal kontrol altında olabileceğini göstermektedir.

Fener balıkları gibi birçok derin deniz organizmalarında, alttan yaklaşacak düşmanlar tarafından farkedilmelerine yardımcı olan fotoforlar bulunur. Vücutun yan ve alt taraflarında yer alan fotoforlar aynı zamanda tür ve cinsiyet farklılıklarını da gösterir.

Bazı karides türlerinin merceği, reflektörü ve filtreleri olan gerçek ışık organları vardır. Bu türler topluluk halinde bulduklarında feneri andırırlar.

Cypridina'lardaki biyoluminesans tepkimeleri ise bir enzim-substrat tep-

Büyük dişleri ve ışık organlarıyla avını etkilemeye çalışan bir derin deniz balığı



yacak bir şey değil hani. Eskiden yoksul Çinli ve Japon çocukların geceleri derslerini cam şişelere doldurdukları ateşböceklerinin ışığında çalıştıkları ve 2. Dünya Savaşı'nda Japon askerlerinin küçük bir karides türünün ışığını karanlıkta harita okumak için kullandıkları biliniyor. Salgıları ışık veren bu karideslerin, kurutularak saklanabilme ve nemlendirildiklerinde ışık verme özellikleri aydınlatma amaçlı kullanıma olanak veriyor.

Biyoluminesans, aynı zamanda, bilimsel araştırmalarda teknik olarak yararlanılabilen bir olaydır. Su ve topraktaki oksijen düzeylerinin ve canlılar tarafından enerji isteyen tepkimelerde kullanılan yüksek enerjili bir bileşik olan ATP'nin (adenozin trifosfat) incelenmesinde kullanılması ve hücrelerin enerji dönüşüm mekanizmalarıyla ilgili



Avını yakalamaya çalışan bir mürekkepbalığı

kimesi şeklinde gerçekleşir. Substrat olan lusiferinin moleküler oksijenle okside olmasını lusiferaz enzimi katalizler ve ışık açığa çıkar. Lusiferinin tamamı okside olana kadar ışık çıkar.

Chaetopterus deniz solucanında, Aequorea ve Halistaura denizanalarında ve bazı başka türlerde enzimatik olmayan ışık çıkarma olayları gerçekleşir. Fotoproteinleri (ışık veren proteinler) olan bu canlılarda, ışığın verilebilmesi için fotoproteinlerin, bazı maddelerle ya da iyonlarla (oksijen, hidrojen peroksit, kalsiyum ve demir iyonları gibi) karşılaşması gerekir.

Işık Çıkaran Canlıların Sırları

Işık çıkarma olayı, çürüyen bir et üzerindeki bakteriler, denizlerdeki bir hücrelilerin fosforesansı (yakamoz diye bilinen olay) ve ateşböceklerinin yanıp sönen sinyalleri şeklinde olmaktadır. Bu olaya ayrıca bazı bakteriler, mantarlar,

süngerler, sölenreler, taraklılar, yuvarlak solucanlar, halkalı solucanlar, kabuklular, yüzayaklılar, binayaklılar, derisidikenliler, yumuşakçalar, kınkanatlıböcekler, tulumlular ve balıklarda rastlanır. Yeşil bitkiler, kurbagalar, sürüngenler, kuşlar ve memelilerde şimdiye kadar ışık çıkarma olayına rastlanmamış, yani karasal ekosistemlerde bu olayı görmek zor.

P. stipticus mantarının bilinen iki tipinden biri ışık verir, diğeri vermez. Bu iki tipin çaprazlanması sonucunda, ışık çıkarma özelliğinin tek bir baskın genle kalıtıldığı bulunmuştur.

Işık çıkarma olayının bakteriler ve mantarlara ne gibi yarar sağladığı henüz belirlenmemiştir. Bir görüşe göre, ışık çıkarma, metabolizmalarının ısı gibi bir yan ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, birçok canlıda ışık çıkarma olayının, türün hayatta kalması ve korunumu ile ilişkili olduğu görülmektedir. Örneğin bazı balıklarda, avın yakalanması, düşmanların korkutulması, bazı mürekkep balıklarının düşmanlarıyla karşılaştıklarında ışıklı bir sıvı salgılayarak kaçmak için zaman kazanması ve ateşböceklerinin eşleş-

mek için ışık sinyalleri vermesi bu anlamdadır. Biyoluminesansla düşmanlarını korkutanlardan bazıları, bu olayı bir hırsız alarmı gibi kullanmaktadır. Öündeki düşmanını yapışkan ve ışık veren bir maddeyle kaplayıp, düşmanın başka hayvanlar tarafından farkedilmesini sağlamaktadır.

Eşleşme sinyali olarak ışık çıkarmasının kullanılması, bu olayın türün sürekliliği açısından önemini göstermektedir. Ateşböceklerinde, iyi birer uçuşu olan erkekler uçuş yaparken her 5,5 saniyede bir, 0,3 saniye süre ile ışık verirler. Karnatsız olan dişi bireyler otların üzerinde bir erkek birey beklerler ve sinyal veren bir erkek gördüklerinde, yaklaşık 2 saniye sonra ışık çıkararak sinyal verirler. Böylece erkeği çekmeye çalışırlar. Ateşböceklerinde, dişiler erkeği tanımazlar ve erkekler dişileri sinyal biçiminden tanıyabilirler. Bu sinyallerin ritimleri türe özgü olarak değişir. Uzun, kısa ya da başka biçimlerde olabilir. Daha çok tropik Asya'da ateşböceklerinin senkronize

bir biçimde ışık vermeleri olayına rastlanmıştır. Sayısız ateşböceği bir aradayken gerçekleşen bu olay sırasında, ışık dalgası ağaçtan ağaca atlıyor gibi görünür. Bir dağ ya da vadideki sayısız ateşböceği aynı anda sinyal verebilir. Eğer olay tek bir ağaçta gerçekleşiyorsa ışık üstten

alta ya da alttan üste doğru dalga dalga ilerler. Bazı ateşböceği türlerinde de ışık sinyallerinin renkleri dişi ve erkek bireyler arasında farklılık gösterir. Pteroptyx ateşböceklerinde erkekler mavimsi, dişiler ise sarı renkli ışık verirler.

Bermuda'da yaşayan Odontosyllis alev solucanlarında, dolunaydan birkaç gün sonra, yaklaşık 2 cm boyunda olan dişiler, gün batımından sonra deniz yüzeyine çıkıp daireler çizerek yüzerken, ışıklı bir salgı salgırlar. Dişilerden daha küçük olan 1 cm boyundaki erkek solucanlar ise daireler çizen dişilerin yanına giderek eşleşirler.

Biyoluminesans olayı sırasında çıkan ışık tamamen görünür dalga boyundadır. Çıkan ışık türlere göre kırmızı



Ağzının üzerindeki ışık veren yapıyı avını yakalamak için kullanan bir derin deniz balığı

Biyoluminesansdan Yararlanan Araştırmalar

İngiltere'de bir grup bilim adamı, rüzgar etkisiyle oluşan hareket sırasında tütün bitkisi hücrelerindeki kalsiyum miktarında ortaya çıkan değişimleri izleyebilmek amacıyla, ışık veren bir fotoproteinden yararlanmıştır. Bu fotoproteini, ışık veren bir denizanası türü olan Aequorea victoria'dan elde etmişlerdir. Bu denizanasının ışık vermesini aequorin adı verilen bir protein sağlamaktadır. Aequorin kalsiyum iyonlarıyla karşılaştığında mavi bir ışık yaymaktadır. Bu araştırmacılar gen aktarımı yöntemlerinden yararlanarak, aequorini tütün bitkisine (Nicotiana glauca) aşılamışlar ve hücrelerdeki kalsiyum miktarının değişimini

biyoluminesans sayesinde izleyebilmişlerdir.

Bu çalışmanın devamı olan bir başka çalışmada ise, tütün bitkisinin farklı dokularına (kök ve çenekler gibi) ait hücrelerde, farklı uyarılar (soğuk şok, dokunma, yaralanma gibi) karşısında kalsiyum miktarında ortaya çıkan değişimler, ışık mikroskobuna bağlı çok duyarlı bir kamera ile kaydedilmiştir.

Ayrıca diğer bazı araştırmacılar da aequorini amiplere, insan tükrük bezi dev hücrelerine, oositlere (dişi yumurta hücreleri) ve sinir hücrelerine mikrojeksiyon yöntemiyle vererek, ışık çıkarma olayını bu hücrelerde de gerçekleştirmişlerdir.

zı, yeşil, turuncu, sarı ya da mavi renkte olabilir. Işığın rengi kırmızıya yaklaştıkça dalga boyu uzar, maviye yaklaştıkça kısalır. Uruguay'da yaşayan bir kınkanatlının (Phrixothrix) larvası, vücudunun iki yanından birer sıra yeşil ışık, baş tarafından ise bir çift kırmızı ışık verir. Biçimi tren katarına benzediğinden bu larvaya "demiryolu kurdu" denir.

Işık çıkarma bazı canlıların kendileri tarafından, bazı canlılarda ise Vibrio ve Photobacterium bakterileri aracılığıyla gerçekleşir. Endonezya'da bulunan Anomalops katopteron ve Photoblepharon palpebratus adlı balıkların gözlerinin altındaki ışık organının içinde, ışık veren bakteriler simbiyotik olarak yaşarlar. Bu bakteriler sürekli olarak ışık çıkarırlar, ancak ortak yaşadıkları canlıdan ayrıldıklarında ışık çıkaramazlar. Işık organı, bakterilere oksijen sağlayabilmek amacıyla kan damarları ile zenginleştirilmiştir. Balıklar, göz kapağına benzeyen siyah bir zarı ışık organının üzerine çekerek ışığı kurtarabilirler. Bu bakteriler vücuttan çıkarıldığı zaman, balıkların ışık çıkarmadığı görülmüştür. Bakterilerin ışık organında nasıl toplandıkları, hatta yumurtadan çıkan yavru balıkta nasıl buldukları henüz anlaşılamamıştır.

Alacakaranlık Kuşağında Pırlıtlı Yaşam

Denizlerde, gün ışığının ulaşamadığı 300-400 metrenin üzerindeki derinliklerde ışık çıkaran canlılar hüküm sürmektedir. Bu canlılardan çoğunun gözleri, azıcık gün ışığından bile rahatsız olur. Uzama ve bazı vücut bölümlerini atma yeteneğine sahip çok sayıda jelatinli hayvan bu bölgede yaşar. Dünyanın en uzun canlılarından biri olan ve 40 metreye kadar uzayabilen sifonoforlar da bu hayvanlardan biri. Sifonoforlar avlarını yakalayabilmek için ışık çıkarırlar.

Daha büyük jelatinli hayvanlarda görülen bir başka biyoluminesans biçimi de mekanik olarak uyarıldıktan sonra gerçekleşir. Suda asılı bekleyen bu canlılar karanlıkta farkedilmezler, ancak su altında giden araç gibi bir uyarıcı tarafından dokunulduğunda ışık verirler. Bu

canlılardan çok sayıda olması halinde, ortalık bir anda Yıldız Savaşları filmlerine dönebilir.

Ateşböceklerinin eşleşmek için senkronize ışık vermelerine çok benzeyen eşleşme amaçlı ışık çıkarma olayları denizlerde de gerçekleşir.

Yeni keşfedilen bir solucan türünde gerçekleşen biyoluminesansda henüz bilinmeyen birçok yön vardır. Çiftler halinde bacakları bulunan, vücudu alt kısma doğru incelen, hareketli ve çok hızlı yüzen bu canlının bacaklarının ucunda renkli delikler bulunmaktadır. Canlı, uyarıldığında, bu deliklerden bir sıvı çıkarmaktadır. Düşmanlarından kaçmak için zaman kazandıran bu sıvının içinde sarı ışık veren yüzlerce küçük çubuk vardır. Bu çubukların ne olduğu ve sıvının içinde ne aradığı henüz çözümlenmemiş sorulardır.

Çıkarılan ışığın şeklinden hangi canlılara ait olduğu kısmen tahmin edilebilir. Çizgi şeklindeki ışık, balıklar ve mürekkepbalıklarına; damla şeklindeki ışık, denizanelere ve taraklılar gibi jelatinli hayvanlara; boncuk dizisi şeklindeki ışık, sifonoforlara ve nokta şeklindeki ışık küçük zooplanktonlara aittir.

Yakamoz

Gelelim yakamozun sırrına...Birçoğumuzun ay ışığının sudaki yansıması sandığı yakamoz, aslında birhücreli bazı canlıların sudaki dansından başka bir şey değildir. Dinoflagellatlar adı verilen bu canlılar, dalgaların kıyıya vurması,



Yakamoz olarak bilinen olayı gerçekleştiren, ışık veren bir dinoflagellat



Bir sifonofor türü

geminin geçmesi ve yüzen insanların hareketleri gibi mekanik uyarılardan etkilenerek ışık verirler. Dinoflagellatların verdiği ışık bazı mevsimlerde daha çok olur, çünkü bu mevsimlerde sayıları çok artar (Japonya'da Noctiluca miliaris'lerin nisan-mayıs aylarında artmaları gibi). Bu organizmalar ritmik özellik taşırlar, yani sadece geceleri ışık verirler. Okyanuslardaki "red tide" olayını gerçekleştiren Noctiluca ve Gonyaulax adlı Dinoflagellatlar da bu tip organizmalardır. Bunlar sayıları arttığında, gündüz denizin kırmızı, kahverengi ya da sarı olmasına yol açarlar, geceleri de ışık verirler. Dünya'da üç körfezde bu olay doğal ışık gösterilerine dönüşecek kadar yoğun olarak gerçekleşmektedir. Porto Riko'da Fosforesan Körfezi'nde ve Jamaika'da İstiridye Körfezi'nde Pyrodinium bahamense türünün, Kuzey Borneo'da Sandakan Körfezi'nde ise Noctiluca miliaris ve simbiyotiklerinin doğal ışık gösterileri görülmeye değer olaylardır.

Zuhal Özer

Konu Danışmanı: Prof. Dr. Ali Demirsoy

Kaynaklar
Demirsoy A., Yaşamın Temel Kuralları Omurgasızlar Entomoloji, 1990.
Encyclopedia Britannica Macropaedia, 1983.
New Encyclopedia of Science, 1982.
Villie, Genel Biyoloji, 1979.
Demirsoy A., Yaşamın Temel Kuralları Genel Biyoloji/Genel Zooloji, 1982.
Knight M. R., Smith S. M., Trewavas A. J., "Wind-induced plant motion immediately increases cytosolic calcium", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, June 1992.
Knight M. R., Read N. D., Campbell A. K., Trewavas A. J., "Imaging calcium dynamics in living plants using semi-synthetic recombinant aequorins", Journal of Cell Biology, Sayı:121, 1993.
<http://falcon.cc.ukans.edu/~jbrown/light.html>
Robison B. H., "Light in the ocean's midwaters", Scientific American, July 1995.