

# Laboratuvardaki Ateşböcekleri Zeptomol Düzeyinde Ölçüm



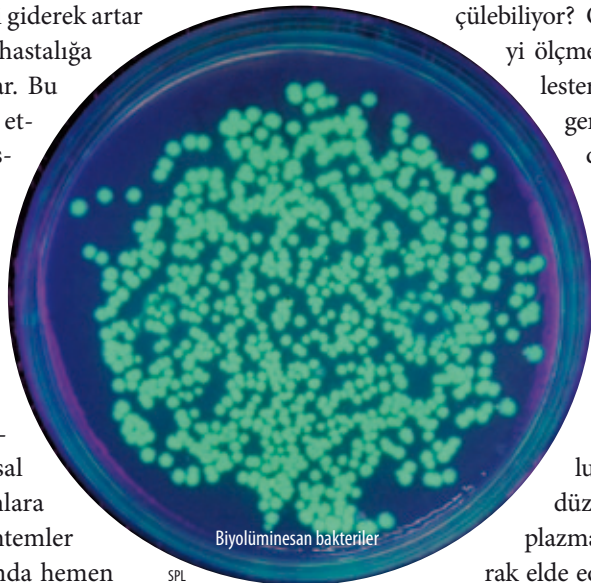
Ilık yaz gecelerinde seyretmeye doyamadığımız ateş böceklerinin nasıl olup da parıldadığını hepimiz merak etmişizdir. Ateş böceğinde ışığın açığa çıkmasını sağlayan biyolojik sistemin aslında ateşle pek ilgisi yok, ancak bu sistem laboratuvarında eşsiz bir ölçüm yönteminin temelini oluşturuyor. Işık üretimini sağlayan biyokimyasal tepkimelerin deney tüplerinde gerçekleştirilmesiyle, hormonlar gibi biyolojik sıvılarda oldukça düşük miktarda bulunan çok sayıda farklı maddenin ölçülmesi sağlanabiliyor.

**H**astalıkların teşhis ve tedavilerinde doktorların verdikleri kararlar %70-75 oranında laboratuvar ve radyolojik görüntüleme sistemlerine dayanıyor. Yalnızca muayene bulguları ve hastalığın öyküsüne dayanarak teşhis koymak çoğunlukla zor veya mümkün olmadığından doktorlar zorunlu olarak laboratuvar testleri ve radyolojik görüntülere gerek duyarlar. Hastalıklar laboratuvar testleriyle, belirtiler ortaya çıkmadan da saptanabilir. Organizmada hastalıkların gelişimi ilk önce moleküler düzeyde oluşan anormal olaylarla başlar. Bu olaylar bir kartopunun çığa dönüşmesi gibi giderek artar ve belli bir süre sonra hastalığa ait belirtiler ortaya çıkar. Bu belirtiler kişiyi rahatsız etmeye başladığında, hastalık aslında moleküler düzeyde çoktan başlamıştır. Bundan dolayıdır ki hastalığın erken teşhis edilmesi etkin tedavi için yaşamsal önem taşır.

Tıbbi laboratuvarlarda binlerce biyokimyasal ölçüm yapıyor ve bunlara her geçen gün yeni yöntemler ve testler ekleniyor. Kanda hemen

hemen her hastalıkla ilgili bir ipucu bulunur. Örneğin doktorunuz yaptığı muayene sonucunda tiroit bezindeki bir hastalıktan şüpheleniyorsa, bunu doğrulamak için tiroit bezi tarafından üretilen bazı hormonların kan düzeyini görmek isteyebilir. Bu amaçla sizden kan örneği alınacak ve laboratuvarında, örneğin fT3 (free triiodotironin, tiroit bezi tarafından üretilen hormon) düzeyi ölçülecektir. Eğer tiroitle ilgili bir hastalığınız yoksa laboratuvarından test sonucu olarak size 2.6-4.8 pgr/ml (pikogram/mililitre) aralığında (bu aralık toplumlara ve bireylere göre değişebilir) örneğin 3 pg/ml gibi bir değer verilecektir. Bu sonucun yorumlanmasını doktora bırakalım; bizim için burada önemli olan testin birimi yani pgr/ml'dir. Bu sonuca göre 1 ml serumda 3 pgr fT3 bulunur. Uluslararası birim sistemine (SI) göre gramın binde biri miligram, miligramın binde biri mikrogram, mikrogramın binde biri nanogram ve nanogramın da binde biri pikogramdır. Yani 1 pikogram  $10^{-12}$ gr, başka bir ifadeyle gramın trilyonda biridir. Bu değerleri tespit etmemizi sağlayan teknik, bir trilyon portakalın bulunduğu ambara atılmış bir limonu bulmak için geliştirilen teknikle eşdeğerdir. Dünyanın yıllık portakal üretiminin 60 milyon ton ve bir portakalın da ortalama 150 gr olduğu varsayılırsa toplam portakal sayısı sadece 400 milyar olacaktır. Peki, verdiğimiz kanda trilyonda bir oranında bulunabilen maddeler nasıl ölçülebiliyor; hem de büyük bir doğrulukla?

Biyolojik sıvılar çok sayıda farklı bileşenden oluşan çözeltilerdir. Plazma (kanın sıvı kısmı) bilinen en karmaşık çözeltilerdir ve binlerce farklı biyokimyasal molekül içerir. Bu kadar farklı maddeler içinde sadece istediğimiz madenin miktarı nasıl ölçülebiliyor? Örneğin kolesterol düzeyi ölçmek isteniyorsa sadece kolesterol miktarını ölçmemiz gerekir. Bu da kolesterolü diğer tüm bileşenlerden ayırt edebilecek ve miktarını ölçebilecek bir yöntemi geliştirmekle mümkün. Üstelik ölçüm yaptığımız biyolojik sıvılarda kolesterole benzeyen çok sayıda başka molekül de bulunur. İstenilen madenin düzeyini belirlemek için onu plazmadan ayırmak ve saf olarak elde edip daha sonra hassas bir



Biyoluminesan bakteriler

SPL



Kan örnekleri bir kemilüminesans bağışıklık testi için hazırlanıyor. Bu testte kandaki antijenlere bağlanan floresan antikorlar kullanılıyor, böylece floresan ışımaya miktarı kandaki bağışıklık tepkisinin ölçülmesini sağlıyor. Bu da kanın enfekte olup olmadığını anlaşılmasına yardımcı oluyor.

teraziyle miktarını ölçmek tercih edilecek bir yöntem değil. İstenilen maddeyi plazmadan saf olarak elde etmek mümkün olmakla birlikte, pratik değildir ve maliyeti de çok yüksektir. O halde kan, idrar, beyin omurilik sıvısı, eklem sıvısı gibi çok sayıda benzer bileşenin bir arada bulunduğu biyolojik sıvılarda istenilen maddenin düzeyini ölçmek için dolaylı yöntemlere başvurmak gerekir.

Günümüz biyokimya laboratuvarlarında ileri teknolojiye dayanan ölçüm teknikleri kullanılıyor. Proteinlerde bulunan yüzlerce amino asidi sırasıyla ve tek tek belirleyebiliyoruz. Küçük bir DNA parçasını çoğaltarak çok sayıda hastalığın teşhisini koyabiliyoruz. Çok düşük düzeydeki enzimlerin etkinliğini belirleyerek oluşan organ hasarını değerlendirebiliyoruz. Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen, kuşkusuz hâlâ aşılması gereken çok engel var ve yeni bakış açılarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Tasarım uzmanları mevcut teknolojilerin daha verimli ve çevre dostu sürümlerini araştırırken doğaya yöneliyorlar. Çünkü doğada milyarlarca yıllık süzgeçten geçmiş sayısız örnekler var. Sözgelimi bilim insanları gemilerin daha hızlı hareket

edebilmesi için denizde çok hızlı hareket edebilen yunus balıklarının inceleyip, geminin burun kısmını yeniden tasarlıyorlar. Yalıçapkını kuşunun aerodinamik (hareket hâlinde olan cisimler üzerinde havanın yarattığı etkiyi inceleyen bilim) özelliklerini trenlere uygulayan Japon araştırmacılar trenlerin daha düşük enerjiyle daha hızlı hareket ettiğini gördüler. Doğadan teknolojiye uyarlanan çok sayıda benzer örnek bulunmakla birlikte, doğanın asıl taklit edildiği yer biyokimyasal ölçümlerde karşımıza çıkıyor. Eğer biyolojik sıvılarda bir maddenin miktarını ölçmekte zorlanıyorsanız gideceğiniz adres bellidir. Ölçmek istediğiniz maddenin organizmada katıldığı biyokimyasal tepkimeler size yardımcı olabilir. Kuşkusuz hassas ölçümlerde sadece biyokimyasal tepkimelerin deney tüplerinde tekrarlanması yetmez. Tepkime sonucunda oluşan ürünleri veya sinyali algılayacak duyarlılıkta yeni teknolojilere de ihtiyaç var.

Ölçümlerde kullanılan biyokimyasal yöntemler, genellikle insan vücudunda veya diğer canlılarda (ateşböceğinde olduğu gibi) devam eden tepkimelerden bir veya birkaçının deney tüpünde tek-

rarlanmasına dayanır. İstenilen maddenin miktarı veya enzim (biyolojik katalizör) etkinliğinin ölçümü için gerektiğinde bu tepkimelere bazı eklemeler ve değişiklikler yapılır. Örneğin kan glikoz (kan şekeri) düzeyi ölçüleceği zaman, glikozu serumda (tüpte bulunan kan pıhtılaştıktan sonra üste kalan sıvı kısım) bulunan diğer binlerce maddeden ayırabilecek, kısaca onu tanıyabilecek bir moleküle gerek duyulacaktır. Glikozu tanıyan çok sayıda benzer enzim bulunuyor ancak bunlar içinde düşük düzeydeki glikozu en iyi tanıyanı tercih edilmelidir; bu da hegzokinaz adlı enzimdir.

Hekzokinaz'ın önemli hücresel işlevleri bulunmaktadır. ATP'den (Adenozin trifosfat; organizmada bulunan yüksek enerjili bir bileşik) bir fosfat alarak hücreye giren glikoz molekülüne aktarır. Fosfatlanan glikozun, fosfat bağlı olduğu sürece, hücreden dışarı çıkması mümkün değildir. Böylece hücreye giren glikozun tekrar dışarı çıkmak yerine hücrenin ihtiyaç duyduğu alanlarda kullanılması sağlanır.

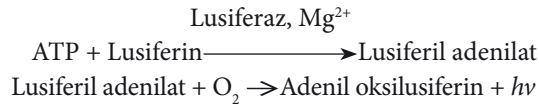
Glikoz ölçümünde yapılması gereken iş, glikozun hücrede hegzokinaz tarafından katalizlenen tepkimesini deney tüpünde tekrarlamasını sağlamak. Glikoz miktarı bu yöntemle 2 mg/dl'ye kadar ölçülebilir. Yetişkin sağlıklı bireylerde serum glikoz düzeyi 70-100 mg/dl civarında olduğu için bu yöntemin hassasiyeti yeterli olmaktadır. Ancak hormonlar için durum çok farklıdır; çünkü kanda hormonların düzeyi glikoza göre çok düşüktür.

Hormonlar gibi kanda çok düşük düzeyde bulunan biyokimyasal maddelerin miktarını, glikoz ölçümünde olduğu gibi, bilinen klasik yöntemlerle ölçmek mümkün değil. Bu nedenle radyoaktivite ölçümüne dayanan yöntemler kullanılmıştır. Ancak radyoaktivitenin hem çalışan kişiye hemde çevreye olan zararlı etkileri ve bozunmanın devam etmesi gibi nedenlerle günümüzde birkaç test dışında tıbbi laboratuvarlarda hemen hemen hiç kullanılmıyor. Bu durumda ateşböceklerinde gözlemlediğimiz biyoluminesans (biyokimyasal enerji kullanılmasıyla ışık oluşması) olayının laboratuvarında taklit edilmesiyle ölçümlerde adeta çığır açılmıştır. Hepimiz ılık yaz gecelerinde ışıl ışıl parlayan ateş böceklerini görmüşüzdür. Çevresine ışık saçan bir böcek. ışık yayan bir canlıyı görüp de hayranlık duymamak elde değildir. İşte bu böceklerin ışık üretme yöntemleri taklit edilerek, kanda pikogram düzeyinde hatta bazı eklemeler ve değişikliklerle zeptomol ( $10^{-21}$  mol) gibi çok daha düşük düzeylerde bulunan maddelerin miktarını artık ölçebiliyoruz.

## Biyoluminesans ve Kemilüminesans

Biyoluminesansla [Bios (yaşam, yunanca) + lumen (ışık, Latince)] ilgili ilk yazılı kaynaklar Çin ve Hindistan'da bulunmuştur. Bu kaynaklar ateşböcekleri ve ışık saçan solucanlarla ilgili olup MÖ 1000-1500 yıllarına dayanır. Aristoteles (MÖ 384-322) bazı balık ve mantarlarda ışık yayılımını gözlemleyerek bioluminesansla ilgili bilgiler vermiştir. Biyoluminesansla ilgili ilk bilimsel çalışma, lusiferin-lusiferaz tepkimesinin gerçekleştirilmesiyle, 1855'te Raphael Dubois tarafından yapılmıştır.

Işık bir enerji çeşidi olduğundan onu elde etmek için çok farklı enerji kaynakları kullanılabilir. Atomun çevresinde bulunan uyarılmış veya yüksek enerji düzeyinde bulunan elektronlar daha düşük enerji düzeylerine inerken foton yayılımı görülür. Elektronun uyarılması çok farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Ateşböceklerinde görülen bioluminesans olayında elektronun uyarılması için biyokimyasal tepkimelerde açığa çıkan enerji kullanılır. Açığa çıkan ışık **oksidasyon** tepkimesinde uyarılan üründen kaynaklanır. Bioluminesansta lusiferaz ve aequirin, bilinen iki önemli biyolojik katalizördür. Ateşböceklerinde gözlenen bioluminesansın biyokimyasal reaksiyonları şöyledir:



Deniz solucanı



SI birim sisteminde katsayılar

Çarpan	SI Önad	SI Simgesi
$10^{24}$	Yotta	Y
$10^{21}$	Zetta	Z
$10^{18}$	Eksa	E
$10^{15}$	Peta	P
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	Giga	G
$10^6$	Mega	M
$10^3$	Kilo	K
$10^2$	Hekto	H
$10^1$	Deka	da
$10^0$		
$10^{-1}$	Desi	d
$10^{-2}$	Santi	c
$10^{-3}$	Mili	m
$10^{-6}$	Mikro	$\mu$
$10^{-9}$	Nano	n
$10^{-12}$	Piko	p
$10^{-15}$	Femto	f
$10^{-18}$	Atto	a
$10^{-21}$	Zepto	z
$10^{-24}$	Yokto	y



Abdurrahman Coşkun, 1994 yılında Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden mezun oldu. 2000 yılında biyokimya ve klinik biyokimya uzmanı, 2003 yılında yardımcı doçent ve 2009 yılında da doçent oldu. Uluslararası hakemli dergilerde (SCI ve SCI expanded) yayımlanmış 32 makalesi bulunuyor. Özel olarak laboratuvar da kalite kontrol, standardizasyon ve protein biyokimyası konularında araştırmalar yapıyor. Halen Acıbadem Labmed Klinik Laboratuvarları'nda klinik biyokimya uzmanı ve Acıbadem Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak çalışıyor.

Lusiferin isimli bileşiğin oksidasyonu sonucu da ışık açığa çıkar.  $hv$  ( $h$ : Planck sabiti,  $v$ : ışığın frekansı) açığa çıkan ışığı gösterir ve tepkimeye katılan bileşenlerin miktarıyla ilgilidir. Bu tepkimeye bazı eklemeler ve değişiklikler yapılarak açığa çıkan ışık şiddetinin ölçülmesi ile biyolojik sıvılarda çok düşük düzeyde bulunan maddelerin varlığı tespit edilebilmektedir.

Biyoluminesans olayı sadece ateş böceklerinde gözlenmez. Bazı mantarlar, derisidikenliler, süngerler, mürekkep balıkları ve bakteriler (*Vibrionaceae* familyasında bulunan *Photobacterium* gibi) gibi çok geniş bir yelpazede bulunan canlılarda da biyoluminesans olayına rastlanır. Biyoluminesans, karanlık denizlerin biyolojik ampulleri diyebileceğimiz derin deniz canlılarının çoğunda görülür.

Biyoluminesans sadece laboratuvar da biyokimyasal ölçümlerde değil aynı zamanda moleküler görüntüleme sistemlerinde de yeni bir dönemin kapısını aralamaktadır. Yapılan hayvan deneylerinde hastalıkların gelişimi, hücrelerdeki yayılımı biyoluminesans tekniklerin kullanılmasıyla gözlenebilmiştir. Bu şekilde canlı hücrelerde enfeksiyonun yayılması, tümörlerin gelişimi ve yayılması gibi çok sayıda patolojik olayın canlı olarak izlenebilmesi mümkün olabilmektedir.

Biyoluminesans tepkimelerine bazı eklemeler ve değişiklikler yapılarak kemilüminesans ve elektro-kemilüminesans gibi tıbbi laboratuvarlarda sıklıkla kullanılan farklı yöntemler geliştirilmiştir. Kemilüminesans, biyoluminesansa benzer şekilde, kimyasal enerji kullanılarak ışığın elde edilmesidir. Kemilüminesansta elektronun uyarılması veya bir üst enerji düzeyine çıkması için kimyasal enerji kullanılmaktadır.



$C^*$ : Uyarılmış bileşik

Kemilüminesansta elektronun uyarılması luminal, izoluminal veya lusiferin gibi bazı organik bileşiklerin hidrojen peroksit veya oksijen gibi oksidan bir maddeyle oksidasyonu sırasında gerçekleşir. Biyoluminesansta olduğu gibi açığa çıkan ışık, oksidasyon tepkimesinde uyarılan üründen kaynaklanır. Ortamda katalizörün bulunması tepkimeyi hızlandırarak foton yayılmasını artırır. Bu amaçla metal iyonları ve enzimler (lusiferaz gibi) kullanılabilir. Kemilüminesans tekniği diğer tekniklere göre daha hassas olup bu yöntemle attomol ( $10^{-18}$ ) ve hatta zeptomol ( $10^{-21}$ ) düzeyinde ölçüm yapılabilir.



## Plazma ve Serum

Damar içinde bulunan kan, hücresel elemanlar olan eritrositler (alyuvarlar), lökositler (akyuvarlar) ve trombositler (kan pulcukları) ile plazmadan oluşur. Hücresel elemanlar plazma içinde çok rahat hareket ederler. Ancak kan, damardan deney tüpüne alınır kısa zamanda pıhtılaşmaya başlar. Pıhtılaşan kan kendi haline bırakılır veya santrifüjle (merkezkaç kuvvetten yararlanarak bir karışım da bulunan çökebilir öğeleri ayırıp çöktürmekte kullanılan laboratuvar aleti) çevirilirse iki kısma ayrılır. Üsteki kısım sarı renkli olup serum adını alır, alttaki pıhtı kısmında ise bir ağ yapısı içerisinde kanın hücresel elemanları bulunur. Pıhtılaşma sırasında pıhtılaşma etmenleri kullanıldığı için serumda bulunmazlar. Bu etmenlerden en önemlisi fibrinojen olup (pıhtılaşma sırasında fibrine dönüşen kan proteini) serum ve plazmanın ayırımında da kullanılmaktadır.

Kanın alındığı tüpe sitrat gibi pıhtılaşmayı engelleyen bir madde (antikoagülan) konursa pıhtılaşma olmaz. Antikoagülan eklenmiş kanın, bekletilmesi veya santrifüj edilmesi durumunda iki kısma ayrıldığı görülür. Üsteki kısım plazma denir. Pıhtı oluşmadığı için tüpün dibine çöken hücreler tüpün ters yüz edilmesiyle tekrar plazma içine dağılırlar.

Serum veya plazmanın içinde onbinlerce farklı madde bulunmaktadır. Proteinler dışında bu maddelerin her birinin düzeyi çok düşüktür ve ölçümleri için özel teknikler geliştirmek zorunda kalınmıştır. Tıbbi laboratuvarlarda kanda istenen maddelerin düzeyini ölçmek için tam kan, plazma veya serum kullanılabilir. Ancak eritrositlerle ilgili bazı özel testler dışında tam kan kullanılması pek tercih edilmez. Testlerin ölçümünde sıklıkla plazma veya serum kullanılır. ABD'de daha çok plazma kullanılırken Türkiye ve Avrupa ülkelerinde serum tercih edilmektedir.

## Lambert – Bouguer – Beer Yasası

Tıbbi laboratuvarlarda glikoz, kolesterol gibi hormonlara kıyasla kanda daha yüksek düzeyde bulunan çok sayıda bileşik bu yasa göre ölçülüyor. Burada temel ilke, ölçülmek istenen bileşiğin kendisinin veya bazı biyokimyasal tepkimeler sonucunda oluşturduğu diğer bileşiklerin belli dalga boyunda ışığı soğurmasına dayanmaktadır. Bu konudaki temel çalışmalar farklı dönemlerde Lambert, Bouguer ve Beer tarafından gerçekleştirildi. Işığın geçtiği bir çözeltide bulunan maddelerin ışığı soğurmasıyla ilgili ölçümler bu yasa ile açıklanır. Biyoluminesans veya kemilüminesansta ise ışığın soğrulması değil tam tersine üretimi söz konusu olduğundan daha hassa ölçümlerin yapılması sağlanabiliyor.

Biyomoleküllerin büyük çoğunluğu belli dalga boylarındaki ışığı soğururlar. Örneğin bir çözeltide bulunan triptofan isimli amino asit 280 nm dalga boylarındaki ışığı soğurur. Çözeltiden geçen ışığın soğrulma düzeyinin ölçülmesiyle biyolojik sıvılarda çok sayıda molekülün miktarı belirlenebiliyor.

Bouguer (Pier Bouguer, 1698-1758) 1729'da yayımladığı *Essai d'optique sur la gradation de la lumière* (Işığın Derecelenmesi Üzerine Optik Bir Deneme) adlı eserinde atmosferde belli bir mesafeden geçen ışığın şiddetinde azalma olduğunu belirtmiş, ancak bu çalışması o zaman yeterince ilgi görmemiştir. Lambert'in (Johann Heinrich Lambert, 1728-1777) konuyu yeniden ele almasıyla Bouguer'in çalışmalarının önemi anlaşılmış ve yasa Lambert-Bouguer yasası olarak adlandırılmıştır. Lambert, bir çözeltiden geçen bir ışın de-

metinin şiddetinin, çözelti içinde aldığı yolla logaritmik veya geometrik olarak azaldığını belirtmiştir. L şiddetinde bir ışın demeti 1 cm'lik bir çözeltiden geçince yarıya iniyorsa aynı çözeltinin ikinci 1 cm'lik kısmından geçince L/4'e iner ve toplam n cm'lik kısımdan geçince L/2<sup>n</sup>'ye düşer. Eğer ışın demetinin şiddeti 1 cm'lik bir çözeltiden geçince L/5 iniyorsa aynı çözeltinin ikinci 1 cm'lik kısmından geçince L/25'e iner ve toplam n cm'lik kısımdan geçince L/5<sup>n</sup>'ye düşer.

Beer (August Beer, 1825-1863), Lambert'in çalışmalarını daha da ileriye götürerek çözeltinin **derişimini** de göz önüne almıştır. Beer'e göre bir çözeltiden geçen ve çözelti tarafından soğrulan bir ışın demetinin şiddeti çözeltinin derişimiyle logaritmik veya geometrik olarak azalır.

Lambert ve Beer'in çalışmaları birleştirilerek (kısa ca Lambert-Beer yasası) ışığın bir çözeltide bulunan maddeler tarafından soğrulması ile o maddenin derişimi arasındaki ilişki belirlenmiş ve aşağıda gösterildiği gibi formüle edilmiştir:

$$\text{Log } I_0/I = \epsilon x c x l$$

**I<sub>0</sub>**: Çözeltiye gönderilen ışığın şiddeti

**I**: Çözeltiden çıkan ve dedektöre giden ışığı şiddeti

**c**: Çözeltide bulunan ve ölçülmek istene maddenin derişimi

**l**: Işığın çözelti içinde aldığı yol (cm)

**ε**: Ölçülmek istenen maddeye özgü bir katsayı

Bu denkleme göre I<sub>0</sub> ve I değerleri bilindiğinde c değeri yani çözeltide ölçmek istenen maddenin derişimi kolaylıkla hesaplanabilir.



Johann Lambert

## Elektrokemilüminesans

Elektrokemilüminesans ilke olarak kemilüminesans ile aynıdır ancak aralarında bazı teknik farklar bulunuyor. Elektrokemilüminesans, kemilüminesans farklı olarak, ışık yayımını sağlayan reaktif moleküller yerine bir elektrod yüzeyine bağlanmış maddenin elektriksel uyarılmasıyla foton yayımı gerçekleştiriliyor.

Bu yöntemle ölçmek istediğimiz molekülü tanıyan özel bir antikör kullanılır. Antikörle kompleks yapmış olan molekül özel bir mikropartikülün yüzeyine alınır. Bu partikül daha sonra bir elektrodun yüzeyine bağlanır. Ölçüm aşamasında elektroda akım verilmesiyle ışın meydana gelir. Oluşan ışığın şiddeti aynı işlemlerden geçen standart (içinde ölçmek istediğimiz maddenin miktarını bildiğimiz çözelti) ile karşılaştırılarak ilgili molekülün miktarı ölçülür.

## Sonuç

Biyoluminesans ve ondan esinlenerek geliştirilen kemilüminesans ile elektrokemilüminesans teknikleriyle biyolojik sıvılarda daha önce ölçülemeyecek denli düşük miktarda bulunan çok sayıda biyokimyasal maddeyi artık büyük bir doğrulukla ölçülebiliyoruz. Ateşböceğinin parıldayan ışığı laboratuvarların en karanlık köşelerini aydınlatarak yeni bir yol açtı ve bu yolda ilerleyen bilim insanları zeptomol (10<sup>-21</sup> mol) düzeyinde ölçüm yapabiliyorlar. Geliştirilen bu yöntemle çok sayıda hastalığın tanısı konularak etkin tedavisi yapılabilmektedir.

### Kaynaklar

Rees, J. F. ve diğerleri, "The origins of marine bioluminescence: Turning oxygen defence mechanisms into deep-sea communication tools", *The Journal of Experimental Biology*, 201, 1998, 1211-21  
http://www.photobiology.info/

Sadikot, R. T. ve Blackwell T. S., "Bioluminescence Imaging", *Proceedings of the American Thoracic Society*, 2, 2005, 537-40  
Burtis, C. A., Ashwood ER, Bruns DE. *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*, Saunders Elsevier, 2006.