

KIZILÖTESİ “GÖZLER”



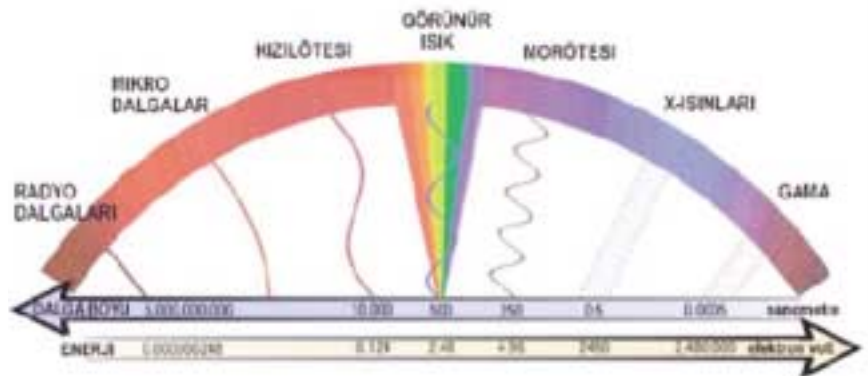
Duyu almaçları, yaşadığımız ortamda olup bitenden haberdar olmamızı sağlayan yegane araçlar. Canlılar dünyasının bazı üyeleri ise, bu konuda biz insanlardan çok daha üstün özelliklere sahipler. Yırtıcı hayvanların görme ve koku duyularının, bizimkine göre çok daha gelişmiş olduğunu biliyoruz. Peki ya gözler yetersiz kaldığında? Bazı yılan türleri, bu sorunu oldukça ilginç bir özellik kazanarak çözmüş görünüyor...

Duyu organlarının, uyarıların yayıldığı çeşitli ortam koşullarına göre evrimleşerek şekillendiği; farklı uyarılara göre özelleşen almaçların da, canlıların yaşam şekline göre son halini aldığı kabul ediliyor. Canlılığın suda başladığı görüşü, çoğu duyu sisteminin de ilk olarak su içinde geliştiğini ve daha sonra hava ortamına uyum gösterdiğini öngörüyor. Sudan karaya geçiş sürecinde, duyu sistemlerinin çoğunda değişiklikler olduğunu görüyoruz. Örneğin iştme duyusu, kara yaşamına uyumla birlikte daha fazla gelişim gösteriyor. Kara yaşamına geçişle gelişimi artan bir diğer duyuya “görme”. Su ortamındaki ışık kırılma katsayısı karadakinin farklı. Karada hayatta kalabilmek için “görüş” çok daha fazla önem kazanacağından, karasal canlıların gözlerinin ileri derecede uyum sağladığını görüyoruz. Öte yandan, su yaşamında gelişen bazı duyu sistemleri, hava ortamında işleyemiyor. Bazı balıklarda bulunan elektrik organları buna güzel bir örnek. Bunun tam tersi olarak, bazı duyu organları da yalnızca

karasal yaşama geçiş sonrasında evrimleşiyor; bu nedenle de sucul yaşamda bir işleve sahip değil. Bazı böcek ve yılan türlerinin sahip olduğu kızılötesi görüş, suyun ısıyı soğurucu özelliğinden dolayı sucul canlılarda görülmeyen bir özellik.

Duyu almaçları, uyarının özelliğine göre 3 gruba ayrılıyor: mekanik almaçlar; kimyasal almaçlar; elektromanyetik ve ısı enerjilerine duyarlı almaçlar. Kızılötesi görüşten sorumlu olan almaçlar, fotoreseptörlerin (ışığa duyarlı almaçların) da dahil olduğu son gruba giriyor.

Kızılötesi ışınlar, elektromanyetik tayfın görünür ve mikrodalga boyları arasında, kırmızı ışığın hemen altında yer alıyor. Kızılötesi ışınların temel kaynağıysa, herhangi bir cismin atom ve moleküllerinin hareketi sonucunda üretilen “ısı” veya “termal radyasyon”. Bir nesne ne kadar sıcaksa, atomlar ve moleküller o kadar hızlı hareket edeceği için, yaydığı kızılötesi ışın miktarı da o denli yüksek oluyor. Mutlak sıfır olarak kabul edilen $-273,15^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki her şey, kızılötesi ışın yayıyor. Öyle ki, bizim için “çok soğuk” bir nesne olan



buz bile, kızılötesi dalgalar yayıyor. Normal vücut sıcaklığına sahip bir insan da, yaklaşık 10 mikron dalga boyunda kızılötesi ışın yayıyor.

İnsan gözünün görebildiği dalga boyları, elektromanyetik tayfın içerisinde yalnızca belirli bir bölümle temsil ediliyor. Tayfın geri kalan kısmındaysa gama ışınları, X ışınları, mor ve kızılötesi ışınlar, mikrodalgalar ve radyo dalgaları yer alıyor. Bu ışınlar arasındaki fark, dalga boyları ve frekansları. Gama ışınlarından radyo dalgalarına doğru gidildikçe, dalga boyu artıyor ve frekans azalıyor. Dünyanın atmosferinden, görünür dalga boylarının yanında radyo dalgaları, bir miktar kızılötesi ve oldukça az miktarda da morötesi ışın geçebiliyor. Şanslıyız ki atmosferimiz, dünyadaki yaşam için zararlı veya öldürücü nitelik taşıyan diğer ışınları engelliyor.

Kızılötesi ışınların düşük enerjili olması nedeniyle, insan gözünün bu ışınları görebilmesi, ancak şimdikinden 5-10 kat daha büyük gözlerle mümkün olabilecekti. Kızılötesi ışınları görebiliyor olsaydık, çevremizde bulunan ve ısı yayan her şeyin kızılötesi görüntüsünü alabilecektik. Ancak, bunun bazı olumsuz yanları da olacaktı. Örneğin, bir odanın içindeyken çevreyi parıl parıl görmemizin de ötesinde, 37°C'lik bir ısı yayan kendi vücudumuzun kızılötesi görüntüsü de, bizi kör edecek kadar parlak olabilecekti. Bu durumda da, fotoğraf çekmeye çalışan, ancak kendi içinden de ışık yaydığı için filmin kalitesini bozan bir kameradan farksız olacaktık. Isı nedenli bu körlükten gözü korumak için de, olasılıkla göz kapaklarımızda bir tip koruyucu yalıtma örtüsü bulunacaktı.

Kızılötesi ışınlar, görülebilir dalga boylarına kıyasla daha düşük bir enerjiye sahip olmalarına karşın, belirli özellikleri görünebilir ışığa benziyor. Örneğin çoğu nesne, kızılötesi ışınların kırımına yakın olan 1/3'lük bölümünü



yansıtıyor. Yılanlar da avlarının yerini belirlerken, kızılötesi ışınların bu özelliğinden yararlanıyorlar.

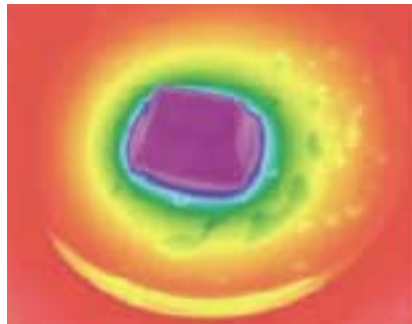
Yılanlarda kızılötesi görüş, sadece iki grubun üyelerinde görülüyor: Crotalinae (çingiraklı yılanlar) ve Boidae (pitonlar ve boa yılanları). Her iki grubun üyeleri de çoğunlukla gecelik türler ve kızılötesi görüş sayesinde, geceleri avlarının yerini rahatlıkla bulabiliyorlar. Geceleri karanlıkta sıcakkanlı canlılar tarafından yayılan kızılötesi radyasyon, olağandışı bir sistem tarafından "görüntü" haline dönüştürülüyor. Yılanların kızılötesi "gözleri" ise, ısıya duyarlı almaçların bulunduğu derin oyuklardan oluşan "çukur" ya da "çöküntü" organları. Çukur organları, çingiraklı yılanlar alt ailesinde başın ön kısmında ve gözlerin altında birer çift halinde, boagillerdeyse dudakların alt ve üst kısmında ve çok sayıda (yaklaşık 13 çifte kadar) bulunuyor.

Çukur organları, 1-5 milimetre çapında açıklıkları olan ve başın her iki yanında, yumuşak dokuyla kemik arasında bulunan derin oyuklardan oluşuyor. Ancak küçücük boyutlarına karşın, yapay olarak üretilmiş kızılötesi algılayıcılarından en az 10 kat daha duyarlılar. En önemlisi, dışsal bir soğutma sistemine

gerek duymuyorlar ve zarar gördüklerinde kendi kendilerini onarabiliyorlar.

Trigeminal sinir, memelilerde baş bölgesindeki duyu almaçları ve beyin arasında bağlantıyı sağlıyor. Kızılötesi görüşe sahip yılanlardaysa aynı sinirin büyük bir bölümü, çukur organlarının işlevi ve kızılötesi görüş için özelleşmiş durumda. Çingiraklı yılanlarda, içi havayla dolu olan çukur organlarının tam ortasında, 15 mikrometre kalınlığında ve yüzey alanı ortalama 30 mm² olan ince bir zar bulunuyor. Bu zar, kızılötesi duyu organının anahtar bileşeni. Zar yüzeyine dağılmış olarak bulunan, ısıya son derece duyarlı, yaklaşık 7000 aksion (sinir hücresi uzantısı) sonlanması da, trigeminal sinirin uçları. Boa yılanlardaysa, çok sayıdaki çukur organlarının her birinin dip kısmında, benzer tel sonlanmaları var. Bunlardaki duyarlı epitel zar, çingiraklı yılanlarda olduğu gibi havada asılı konumda değil. Ancak bunun yerine, trigeminal sinirin aksion sonlanmaları, yüzeyin yaklaşık 30 mikrometre altına kadar ulaşıyor. Organın çalışma prensibiyle, zarla ayrılan iki odacığın algıladığı ısıların beyindeki merkezler tarafından çakıştırılmasına dayanıyor. Çukur organlarının çift oluşu, beyindeki görme merkezinde stereoskopik (çift bakışlı) bilginin oluşmasını sağlıyor. Bu sayede de, kızılötesi görüşte boyut derinliği sağlanıyor.

Duyuların birlikte çalışması, aslında bilinen bir olgu. Bizler de herhangi bir canlının tam olarak yerini belirlemek için gözlerimizin dışında, burnumuzu veya kulaklarımızı da kullanıyoruz. Örneğin gece dışarıda havlayan bir köpeğin yerini bulabilmek için, görüntüsü-



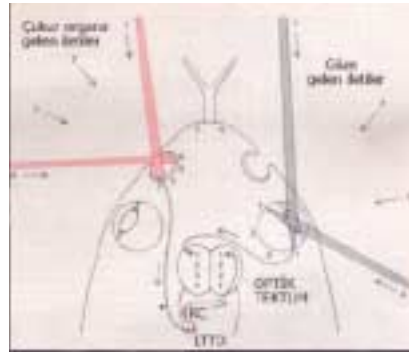
California Üniversitesi öğretim üyelerinden Theodore H. Bullock, ekibiyle birlikte 1950 yılında yaptığı çalışmalar sonucunda, çukur organlarının aslında “sıcak nesnelere yayılan kızılötesi radyasyona” karşı duyarlı olduğunu açıklamıştı. Trigeminal sinir aksonları üzerinde çalışan araştırmacılar, aksonların hem aydınlık hem de karanlıkta, sıcak nesnelere aynı şekilde tetiklenebildiğini gördüler. Bu gözlemden sonra aynı cisim soğutan araştırmacılar, bu kez ne aydınlıkta ne de karanlıkta, herhangi bir tepki oluşmadığını gördüler. Üçüncü aşamada, sıcak cisim ve yılan arasına, ısıyı soğutan ancak tüm görünür ışığı geçiren bir cam levha yerleştirildi ve yılanın herhangi bir tepki oluşmadı. Deneyin son aşamasındaysa, cam levha yerine, tüm görünür ışığı engelleyen, ancak kızılötesi dalgaların çoğunu geçiren bir levha yerleştirildi. Bu kez yılan doğrudan bir tepki göstererek sıcak cisme saldırdı.

Çukur organları kızılötesi dalga boylarıyla uyarıldıklarında, uyarıyı izleyen ilk 100 milisaniye içerisinde, sinir hücrelerindeki elektrik yükünün tepki oluşumunu tetikleme oranı yükseliyor. Trigeminal sinirin çukur organlarındaki sonlanmalarıysa, en ufak ısı değişimlerine karşı oldukça duyarlı. Çukurların içerisine sıcak su akışı verilerek yapılan bir deneyde, su sıcaklığında meydana gelen 0,003°C'lik bir değişimin bile, sinir tellerindeki tepki tetiklenmesinde değişiklik yarattığı görülmüştü.

Yılanlardaki kızılötesi duyarlılık sistemi, insanda ve diğer memelilerde dokunma-basınç-sıcaklık ve acı gibi duyarların algısıyla ilişkili olan “somatik du-



yu sistemi”nden gelişmiş. Bu yılanların somatik duyu sistemi, evrim süreci boyunca “görüş” benzeri bir duyu için özelleşmiş bulunuyor. Çukur organlarından gelen duyu iletilerinin alımında ve işlenmesinde, beyinde yer alan bir takım özelleşmiş merkezler (çekirdekler) veya sinir hücresi kümecikleri işlev görüyor. Bu yapılara gelen bilgiler, görevi görüşte ve duylara ait iletilerin uzamsal temsili olan orta beyindeki “optik tektum” bölgesine gönderiliyor ve kızılötesi “görüş” bundan sonra şekilleniyor. Optik tektum, görüşten sorumlu olan beyin bölgelerinin belki de en önemlisi. Ayrıca nesnelere uzaydaki konumlarının belirlenmesinden de sorumlu olan temel bölge. Ancak, öncelikli olarak “görüş”le ilgili olduğu düşünül-



Kızılötesi Işıklar, Nasıl “Görüntü”ye Dönüşüyor?

Optik tektum ve gözün retina tabakası arasında bulunan sinirler, “optik sinirler” olarak biliniyor. Bu sinirler yardımıyla gözden beyne ulaştırılan veriler ışığında, tektumun yüzeyinde görüntünün bir haritası çıkartılıyor. Bu haritanın oluşumunda yalnızca gözlerden gelen bilgi kullanılmıyor. Kulaklardan ve burundan beyne ulaştırılan bilgiler de yine optik tektum yüzeyinde bir araya getirilerek, bu haritanın çıkarılmasına yardımcı oluyorlar.

Genellikle vücudun ön kısmından gelen iletiler, tektum yüzeyinin ön bölgesinde; vücudun arkasından ve yanlarından gelen iletiler de arka bölgesinde değerlendiriliyor. Kızılötesi görüşteyse bundan biraz daha farklı bir sistem geçerli. Çingiraklı yılanlarda tektum bölgesinin ön kısmı, hayvanın burun bölgesine en uzakta bulunan çukur za-

rından gelen iletileri temsil ediyor. Benzer şekilde ağıl pitonda (*Python reticulatus*) bulunan 13 çift çukur organı da, tersyüz edilmiş bir tektum bölgesine sahip. Her çukur organının duyu yüzeyinin arka bölümü, tektum bölgesinde kendisine ait olan izdüşüm alanının ön tarafında haritalanıyor. Yani, ön taraftaki çukur organlarının izdüşümü yeniden tersyüz ediliyor ve tektum üzerinde yine ön bölgeye ulaşmaları sağlanıyor. Daha sonra da gözden gelerek tektum üzerine düşen iletilerin haritalarıyla karşılaştırılarak ve karşılaştırılarak, anlamlı görüntüler haline getiriliyorlar.

Tektuma ulaşan sinir hücrelerinin bazıları yalnızca kızılötesine veya gözden gelen iletilere cevap verirken, bazı hücreler her iki uyarıya da cevap verebiliyorlar. Her iki uyarıya da cevap oluştuğu durumlarda, görüş en verimli şekilde sağlanıyor.

len bu bölgede bulunan çoğu sinir hücresinin işlevinin kızılötesi radyasyonla kontrol edildiği ortaya çıkarılmış durumda.

Trigeminal sinir, yılanların dışındaki sürüngen türlerinde doğrudan arka beyinde bulunan trigeminal bölgede sonlanıyor. Kızılötesi görüşe sahip olan yılanlardaysa, öncelikle LTDD (lateral descending trigeminal tract) ve RC (reticularis collaris) çekirdeklerine uğradıktan sonra optik tektum bölgesine ulaşıyor. Sadece kızılötesi görüşe sahip yılanlarda mevcut olan bu çekirdeklerin hücreleri, doğrudan birbirlerine bağlılar.

Kızılötesi ışınların varlığı, ilk kez İngiliz gökbilimci Sir William Herschel tarafından 1800 yılında ortaya koyuldu. Daha sonra İkinci Dünya Savaşı sırasında, uzak menzilli tüfeklerde keskin nişancıların düşmanı vücut ısısından tespit edebilmesini sağlayan silahların yapımında kullanılan bu teknoloji, gececi savaşı da mümkün hale getirmişti.

İnsanın yılanların kızılötesi görüş özelliğinden yararlanarak bunu teknolojiye uyarlamasıysa, aslında basit bir meraktan ortaya çıkmış bir gelişme. Yılanların bu özelliğini keşfeden bilim adamlarının asıl araştırmak istedikleri nokta, bu canlıların her iki sistem arasında verimli bir geçiş sağlayabilme yeteneklerini ölçmek olmuş. “Gözleri zarar gören bir çingiraklı yılan, yalnızca kızılötesi görüş yeteneğini kullanarak hayatına devam edebilir mi?” sorusunun cevabını arayan araştırmacılar, daha sonraları kızılötesi ışınların beyinde bir görüntünün çizilmesine yardımcı olan sinyallere ne şekilde dönüştüğü üzerine çalışmaya devam etmişler. Tabii ki bu çalışmaların sonuçları, öncelikli olarak hava kuvvetleri için çeşitli ekipmanın üretiminde kullanılmış. Günümüzdeyse arkeoloji, astronomi, meteoroloji, zooloji, jeoloji ve tıp gibi bilim dallarının yanı sıra, güvenlik sistemlerinde, ordu donanımlarında ve daha birçok alanda kızılötesi teknolojisi sıklıkla kullanılıyor.

Deniz Candaş

Kaynaklar:
 “The Infrared Vision of Snakes” - Sci.American, Mart-1982
<http://abcnews.go.com/sections/scitech/DyeHard/dye-hard020109.html>
<http://www.science.org.au/nova/065/065box02.htm>
<http://www.ipac.caltech.edu/Outreach/Edu/infrared.html>
<http://sirtf.caltech.edu/EPO/IRimages/index.html>