

ELEKTRİKLİ BALIKLARIN HABERLEŞMESİ

W. M. WESTBY

İnsanlar, elektrik yükü balıkların varlığını ilkçağ'dan beri biliyorlardı. Gerçekten Mısır mezarlarının duvarları üzerinde, avlarını öldürmek için 500 voltluk elektrik yükünü boşaltabilen, Nil'in kocaman ve korkunç elektrikli kedibalığı (Malepterus electricus)'nın çizildiği av sahnelerine rastlanır. Buna karşılık, elektrik boşalmaları güçlükle algılanabilen tatlı su balıklarının varlığı ancak bu yüzyılın ortasında beri biliniyor. Bu elektrik boşalmaların, güçlükle algılanabilmelerine karşın, hayvanlar evreninde özel bir anlamı vardır: Gerçekten bu varlıklar, birbirleri ile haberleşmek ve kendilerini karanlıkta yönlendirmek için, kendi elektrik potansiyellerinden yararlanırlar.

Elektrik boşalmaları çok şiddetli olan kedibalığı ya da diğer türlerin tersine, düşük potansiyelli balıklar, yalnızca 2 ya da 3 voltluk elektrik sinyalleri üretirler ve bu sinyalleri yaşamaları boyunca sürdürürler. Bu sinyaller, ilk olarak 50'li yıllarda Cambridge'de çalışmış olan Hans Lissman tarafından belirlenmiştir. Lissman, daha sonra Kenneth Machin ile birlikte, eşsiz bir duyum sistemi olan elektriksiz duyum sisteminin işletici ögesinin bu sinyaller olduğunu göstermiştir.

Elektrik yükünün boşalması ile oluşan sinyalleri, balığın kuyruğunda yer alan bir elektrik üreticiden enerjisini alır. Hayvanın gövdesinin başlıca arka bölümüne dağılmış olan binlerce delikten yayılır ve kendisini çevreleyen suda anlık bir elektrik alanı oluşmasına neden olur. Çok yakınında bulunan nesnelere bu alanın biçimini bozması balığın, çevredeki nesnelere büyük ilgiyi, ilketenliği ve bağıl hareketi ile ilgili bilgiler edinmesini sağlar. Bu, elektrik alanının balığın çevresindeki dağılımını sürekli olarak denetleyen binlerce elektriksiz alıcı aracılığı ile mümkün olmaktadır. Lissman'ın öngördüğü bu elektriksiz alıcılar, 60'lı yıllar boyunca araştırmacıların anatomi ve fizyolojik alanındaki çalışmalarının konusu olmuştur.

Balığın yüksek dirençli olan derisinde, çeşitli iletken gözenekler oluşturan bu elektriksiz alıcılar ikili bir rol oynarlar. Bir yandan, iletken olmaları nedeni ile kuyruktaki elektrik organının ürettiği akımını çıkış deliklerini oluştururlar; bu akım suda eğri yörüngeler izledikten sonra, balığa geri döner ve kuyruğunun ucundan içeri

ÖN KAPAKTAKİ RESİM:

Gnathonemus petersi, bir türdeği kendisi ile aynı anda bir boşalma yayınlayınca, atmak öbür türler gibi, kendi öz elektrik sinyallerini frekansını birdenbire değiştirir.

Son zamanlarda, pek çok sayıda tatlı su balığının zayıf elektrik sinyalleri yaydıkları, bu sinyallerle karanlıkta yollarını buldukları ve birbirlerini tanıdıkları bulgulanmıştır. Bu yoldan birbirleri ile haberleştikleri de saptanmıştır.

girer. Öte yandan, bu gözeneğin dibinde yerleşmiş olan duyum gözeleri, hayvanın çevresindeki elektrik alanının şiddetini sürekli bir biçimde kaydederek ve bu şiddeti doğrudan doğruya sinirsel atmalara çevirirler. Bir nesne bu alana girer ve alanın biçimini bozarsa, bu biçim bozulması derinin bu nesneye en yakın bölgesinde bulunan duyum gözelerince hemen algılanır. Bu yerel algılama, nesnenin elektriksiz bir görüntüsünün deri yüzeyi üzerine düşmesi gibidir.

Balıklardaki elektriksiz alıcılarla ilgili çalışmaların sürdürülmesi, bu alıcıların çeşitli türlerinin bulunduğu göstermiştir. "Ampulömsü" denen alıcılar, elektriksiz olmayan balıkların yüzücü kaslarının ve böcek larvalarının yayınladığı alçak frekanslı elektrik sinyallerini algılamak için, çevreleyen ortama kollarlar. Öyleyse hayvana, avcılarının veya avların yakınında bulunduğu bildirirler bu tür alıcılar. Bu alıcıların duyarlılığı öyle fazladır ki, balığın kendi yer değiştirmeleri nederi ile yerin manyetik alanının bu alıcılarla oluşturduğu indüklemeye akımlarını bile balığın tanınmasını sağlarlar.

Buna karşılık, bu tür alıcıların hayvanın kendi yayınladığı yüksek frekanslı sinyalleri alma yetenekleri yoktur. Bu görev, "yumru" denen, özellikle etkin elektriksiz yer belirleme, yani nesnelere veya engellerin yerleşimini, elektrik sinyalleri yayınlamaya ve alan biçimi bozulmalarını çözümlenerek belirlemek için oluşmuş başka alıcılarca yapılır.

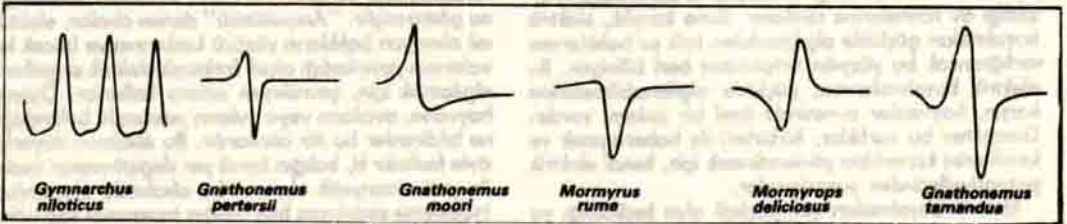
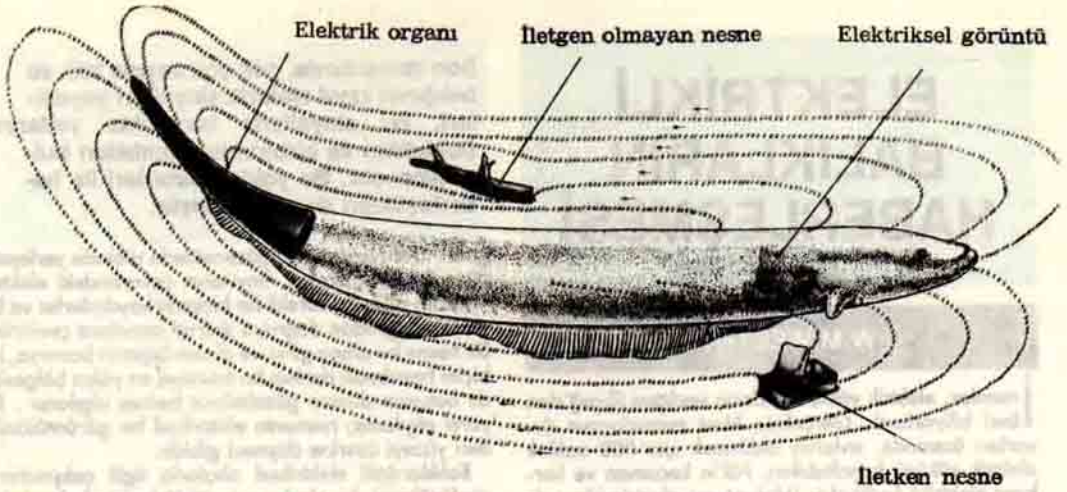
Bu yüksek frekans alıcılarının bulgulanmasının ardından, araştırmacılara bir soru sorulmuştur: Yumru alıcılar, başka elektrikli balıkların elektrik sinyallerini algılamak için de elverişli midir? Kusoca, elektrikli balıklar kendi aralarında alınıp verilen sinyallerle birbirleri ile haberleşebilirler mi?

Bu düşünce ile, 70'li yıllarda Amerikan ve Fransız etologlar (etoloji: hayvan davranışlarını inceleyen bilim dalı) ve İngiltere'de de ben, elektrikli balıkların sosyal davranışlarını incelemeye giriştik. Bugün artık, bu balıkların yalnızca kendi türdeşlerini bulma yeteneğinden olmadıklarını, fakat korkutma ve başegme gibi davranışlar yanında, türe, yaşa, büyüklüğe ve cinsiyete ilişkin bilgiler de alıp verebildiklerini biliyoruz.

Elektrik sinyallerinin belirticilerinden biri, belki de en önemlisi, biçimlerinin olağanüstü çeşitliliğidir. Genel çizgileriyle, zayıf elektrikli tatlı su balıkları iki gruba ayrılır: Afrika'nın mormyiformları (1) ve Güney Amerika'nın elektrikli yılanbalıkları (gymnotidae). Bunlar da iki alt-gruba ayrılırlar: "atmalı" türler ve "dalgalı" türler.

Atmalı türler, uzun veya kısa aralıklı palslar şeklinde sinyal boşalmaları yayınlamaları; oysa dalgalı türler, yaklaşık boşalma süresine eşit olan kısa aralıklarla, daha düzenli sinyaller üretirler. Bu sonuncu türlerde, elektriksiz yayın, frekansı 1 kHz'e ulaşabilen ve hemen hemen sabit kalan (değişimler, % 1'den küçüktür) sinüsnel bir dalgayı benzer.

(1) Mormyrus : Nil turnası



Dalgalı ve atmalı alt-grupların içinde, her türe özgü değişimler vardır. Gerçekten, sinyallerin biçimi, elektrik gözlerinin, başka deyimle, balığın elektrik organının üretim gözelerinin anatomik düzenlenişi ile belirlenir. Elektrik gözlerinin fizikokimyasal bileşimindeki farklar da, balığın dışında kaydedilen palsların biçimindeki benzersizlikler olarak ortaya çıkarlar.

Son zamanlarda, New York Cornell Üniversitesi'nden Carl Hopkins, en önemli farkların, elektrik yüklerinin boşalma sürelerinde olduğunu saptamıştır; boşalma süresi, 50 mikrosaniye (saniyenin milyonda biri)'den 10 milisaniye (saniyenin binde biri)'ye uzanabilir. Bir başka belirtici olgu ise; elektrik sinyallerinin görünüşüdür; böylece türler, dış görünüşlerinden çok, sinyal biçimleri ile tanınabilirler.

Elektrik sinyalleri, hangi bilgileri kapsar Öncelikle, türün özgül işaretini oluştururlar ve genlerin çaprazlanmasında bir engel bulunduğunu; yani her türün genetik bakımından arı olduğunu gösterirler.

Öte yandan, yakın bir zamandan beri, sinyal biçimlerinin aynı türün içinde bireyden bireye bile değiştiği biliniyor. Doğal olarak, genel yapı aynıdır, fakat bazı ayrıntılar her bireye özeldir. Ekibim ve ben, son olarak, mormyridaelerden (1) 45 tane *Pollimyrus isidori* örneğini inceledik ve hepsinin ortak bir sinyal biçimi taşıdıklarını, fakat özel değişimlerde bezenmiş olduklarını gözlemledik. Ayrıca, söz-konusu değişimlerin, palsın görünüşünün pozitif "tepleri" arasında olduğunu bulguladık (pals, gerçekten pozitif bir tepe ile başlar, derin bir negatif tepe ile sürer ve başka bir pozitif tepe ile biter). Bu değişimler, bizi şaşırta ve bireyin cinsiyetine karşılık gelen iki sınıfa ayrılabilirlerdi. Erkeklerin birinci pozitif evresi dişilerinkinden daha küçük, ikinci pozitif evresi ise daha büyük oluyordu.

Balığın kuyruğunda yer almış olan ELEKTRİK ORGANI'nın ürettiği alçak gerilim sinyalleri önce hayvanın gödesinden sonra da çevresindeki sulardan geçerek, kuyruğunun ucundan geri dönerler. ALGILAMA: Suda bulunan nesnelere, iletkenliklerine göre, kendilerine yakın bölgedeki derinin gerilimini değiştirerek, elektrik alanının çizgilerinin biçimini bozarlar ve böylece sanki balık üzerine elektriksel birer görüntüleri düşer.

Bu bakışların elektrik sinyalleri, ya *Gymnarchus niloticus*'unkiler gibi sürekli dalga biçimindedir ya da *Gymnotus carapo*, *Gnathonemus petersii* b.v.'ninkiler gibi pals biçimindedir. Bu sinyaller her türe ve üstelik de her bireye özgü değişimler gösterirler. Her balığın, türdeşleri ile alıp verdiği çeşitli tipte bilgiler bulunduğu gözlenebilir. Aralana kanışmış bir yabancıyı korkutma, saldırıdan önce uyarma, başeğme, v.b. Bu değişimler her bireyin türünü, yaşını büyüklüğünü ve cinsiyetini de belirtirler.

Elektrik sinyalleri, balıkların yaşı ile ilgili bilgileri de kapsamaktadır. 1975'de Cologne Üniversitesi'nden Frank Kirshbaum ile çalıştığım sırada, yumurtadan yeni çıkmış bir *Pollimyrus isidori*'nin ilk sinyalini kaydetmeyi basardım. Bunu yapmak için, 8 mm. uzunluğundaki bu

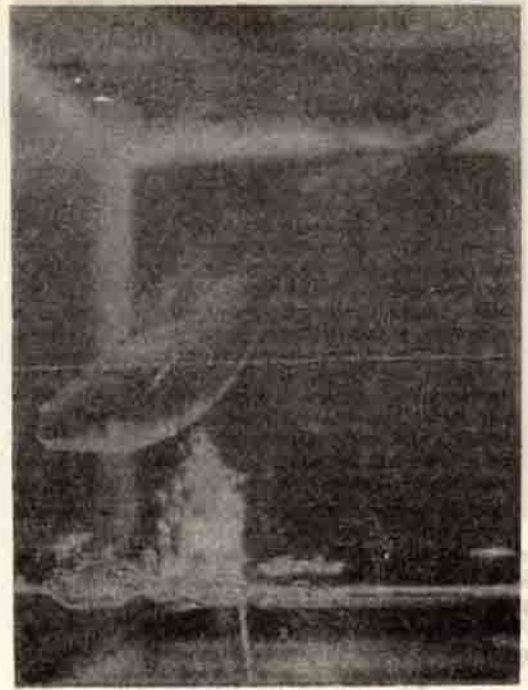
balığın boyunda, camdan küçük bir havuz yapmıştık. Havuzun çeperlerine yerleştirilmiş platin elektrotlar palsları kaydediyordu. Palslar başlangıçta, hayvanın yürek atışlarından daha zayıftı ve birkaç dakika uzunluktaki aralıklarla ayrılmışlardı. Bizim ilk saptadığımız, larvanın sinyallerinin ergen balıginkilerden çok farklı olduklarıydı. Bu sinyaller yalnızca ters kutuplanmış olmayıp, özellikle 20 kat uzunlardı. İlk palslar, yumurtadan çıktıktan sonra sekiz gün kadar gözüküyorlar ve doğumu izleyen on dördüncü güne dek "çocuksu" biçimlerini koruyorlardı, daha sonra ergen balığın normal sinyallerine dönüşüyorlardı.

İlk gençliğe özgü bu palslar, türün çok karmaşık olan analık babalık davranışına da girmektedir: Gerçekten erkek balık, yavrularını köpükten ve alglerden yapılmış bir yuvada saklar; bu palslar, babanın yavrularını tanımalarının tek yoludur; böylece baba, yitten bir yavrusunu arayabilir ve yuvaya geri girebilir.

Yukarıda söylendiği gibi, türü, cinsiyeti ve yaşı ilgilendiren bilgiler yanında, daha karmaşık olan başka bilgiler de elektriksel olarak ulaştırılır. Öncekilerden farklı olarak sonuncular, pals biçimleri ile değil palsların frekansı ile kodlanırlar. Belirli pals dizilerinin anlamı, bu dizilerin yapay olarak yeniden üretilmesi ve bir deney balığında oluşturacağı tepkilerin çözülmesi ile ortaya çıkarılabilir.

Böylece türlerin hepsinde korkutma iletileri, frekansın birdenbire artması ile bildirilir. Örneğin, normal zamanlarda 10 Hz'lik yani saniye başına 10 palslık sinyal yayan mormyridaeler, bazen, kısa bir süre içinde, yayma ritimlerini 100 ve 120 Hz'e ulaşıncaya dek hızlandırabilirler. Hareketsiz bir balık, yayınladığı ve korkutucu elektriksel saçıntılarla, düşmanına, üzerine saldırarak üzere olduğunu anlatır. Bu davranış, saldırıya hazırlanan bir insanın yumruğunu sıkması gibidir.

Bu korkutma sinyaline en alışılmış yanıt, sinyallerin tam olarak durdurulmasıdır: Düşman başeğdiği, genellikle yarım saniye basamağında olan kısa bir süre için, kendi sinyalini keserek gösterir. Aralarında kavga olduysa ve düşman yaralandıysa, yaralananın elektriksel sessizliği 30 dakika kadar sürebilir. Sinyallerin durdurulması çok etkili bir savunma yöntemidir. Yal-



Gynarchus niloticus'un elektrik sinyalleri sürekli dalga biçimindedir.

nızca çok duyarlı olan bir balık, elektrikçe sessiz durumdaki düşmanına saldırısını sürdürülebilir; çünkü artık, düşmanın yerini belirlemek güçleşmiştir.

Yatışma davranışı gösteren veya kavgayı kesen balıklar, çoğu kez hareketsiz kalırlar. Bir yandan, yerlerinin belirlenmesinden kaçınmak için, öte yandan, artık sinyal üretmediklerinden elektrikçe kördürler ve elektriksel yer belirleme güçlerini kullanmaktan yoksundurlar, dolayısı ile engellerden kaçamazlar. Bunlara ek olarak, bu çift işlevli elektriksel duyum sistemi (yer belirleme ve haberleşme), başkalarına yol gösterme açısından biraz çelişkilidir. Böylece elektrik sinyallerin durdurulması (başeğme bildirisi), çevrenin taranmasını (yer belirleme işlevi) de engeller; öyleyse, ortamın etkin gözetlenmesi, bildiri alınıp verilmesi ile bağdaşmaktadır. İleride göreceğimiz gibi, bazı türler bu sorunu çok çarpıcı biçimde çözmüşlerdir.

Önce, çok daha genel olan ve gürültü denen sorunu inceleyelim. Bir balığın elektriksel duyum sistemi, çevresinde, kendininkilerle eşzamanlı sinyaller üreten başka bir balık bulunduğu zaman, tümüyle alt üst olur. Bu olay, dalgalı türlerde, örneğin Eigenmannia virescens'da daha açık olarak gözlenir: La Jolla'da Walter Heiligenberg, yapay sinyal oluşturduğu ve gürültünün frekansı Eigenmannia virescens'inine yaklaştığında, balığın elektriksel yer belirleme yeteneğini yavaş yavaş yitirdiğini göstermiştir. Bununla birlikte, parazit yayın, hayvanın uyguladığı frekans değişimlerini titiz olarak izleyemiyorsa, bozulma gözlenmiyordu. Balık gerçekten, gürültüye karşı doğal bir savunma sistemin-



Pollmyrus isodon yavrularını, ergenlerinden daha uzun olan palsları nedeni ile tarar.



den yararlanmaktadır; uzmanlar, bu sisteme gürültüye karşı yanıt (JAR: Jamming Avoidance Response = rëponse antibrowillage) adını verirler: Balık, kendininkine eşit bir sinyal frekansı olan başka bir balıkla karşılaşınca, kendi yayın frekansını değiştirir.

Ancak, gürültüye karşı doğal yanıt, gürültü çok uzakta iken oluşmaya başlar; böylece yaklaşan gürültü sinyalleri, elektriksel yer belirleme işlevini önemli ölçüde etkileyecek şiddete ulaşamaz. Dalgalı balıkların, her hayvan kendi frekansını uygulayarak, birarada yaşamaları ve grup olarak yer değiştirmeleri, bu frekans kaymaları yardımcı ile olmaktadır. Başka türlerden gelen yayınlar nedeni ile ortaya çıkan girişimlerin ise etkisi yoktur; çünkü dalgalı elektrikli-yılanbalığıgillerde, her türün yumrulu elektriksel alıcısı türün kullandığı frekans kuşağına uyarlanmıştır; böylece başka türlerin boşalmaları bu organik süzgeçte yok edilirler.

Atmalı türlerde sorun biraz değişiktir: Ancak iki bireyin sinyalleri aynı zamanda ortaya çıkıyorsa, gürültü oluşur. Genel olarak, sinyallerin çıkışacağı tehlikesini sezen atmalı bir balığın doğal yanıtı, kendi öz palslarının frekansını birdenbire değiştirmektir. Bazı türler başka bir kurnazlığa başvururlar: Balık, komşusunun yayınladığı sinyali bir yankı gibi yineler ve kendininkini kısa bir oyalamadan sonra üretir; böylece kendi sinyalini öbür balıkla aynı zamanda yayınlamaktan güvenle kaçınmış olur.

Atmalı mormyridaeeler ayrı bir hal oluştururlar; çünkü bunlar, gürültü sorununu ve elektriksel duyum sisteminin ikili işlevinden (yer belirleme ve haberleşme) gelebilecek güçlükleri aynı zamanda çözmek için olağüstü iyi donatılmışlardır. Öncelikle iki ayrı tip yumrulu alıcısı bulunmaktadır:

(i) Oldukça az duyarlı olan ve bu nedenle balığın kendi sinyalinin ürettiği alanı algılayamayan ve mormyromat denen alıcılar (az duyarlı olduklarından), bunlar ancak, elektriksel yer belirleme için elverişlidir.)

(ii) Çok duyarlı ve bu nedenle aynı türden öbür balıkların bildirilerini çok uzaktan algılayacak biçimde kursuzca uyarlanmış olan tepecikorganlar (knollenorganes). Mormyridaeelerin tepecikorganları, elektrikli-



Kendininkine yakın bir frekansta elektrik sinyalleri yayınlayan başka bir balıkla karşılaşan Eigenmannia virescens (1) her türlü gürültüden kaçınmak için, yalnızca kendi frekansını kaydırır. Electrophorus electricus (2) gibi, Eigenmannia virescens da, Güney Amerika ve özellikle Guyane sulanna özgü dalgalı balıklardandır.

yılanbalığıgillerin yumrulu alıcısı gibi, yalnızca kendi türlerinin özel sinyalleri ne ayarlanmıştır.

Mormyridaeeler, elektriksel yer belirleme ve elektriksel haberleşme ile ilgili olan ve iki tipten alıcıların varlığı ile ikiye ayrılmış bulunan bilgileri, merkez sinir sistemlerinde işleme biçimlerinde bile ayırım gösterirler. Boyundaki "yanal çizgisi lob" denen bir yapı, dış dünyadan kaynaklanan elektriksel bilgiler için bir ara istasyon oluştururlar. Bu yapı, balığın elektrik organından yayılan bir iç sinyali de algılar. New York'ta, önce Emilio Aljure'un sonra da Mike Bennett'in yönettiği çalışmalardan, bu iç Sinyalle ilgili şu sonuçlar çıkmıştır: Bu iç sinyal hayvanın bir sinyal ürettiği herkez, elektriksel yer belirleme devresini kapatmaktadır ve iki pals arasındaki süre boyunca da bu devreyi açık tutmaktadır. Bunun tersine olarak, tepecikorganların elektriksel haberleşme sinyalleri ile ilgilenmeyip, palslar arasında geçen oldukça uzun zaman boyunca da haberleşme sinyallerini özenle incelerler.

Science et Vie'den Çeviren: Dr.Hanaslı GÜR

NÜKLEER DENİZALTI BALIKLARDAN KORKUYOR

Çok sayıda denizhayvanı, ışıldayan camlar gibi, gece parlama özelliği taşırlar. Çok güzel olan bu biyolojik ışıldama, askerler için bir beğeni değildir. Çünkü denizaltılar, fosforlu damalı bölgelerden geçerken, arkalarında doğrultularını ve konumlarını tam olarak gösteren ışıklı bir kuyruk oluşur. Bir denizaltı ile bir uyduda başka bir denizaltı arasındaki laser aracılığı ile iletişim de bu olaydan etkilenir.

Askerlerin bulduğu tek savunma yolu, denizdeki bu ışıldamalı bölgeleri dağıtmağa çalışmaktır.