

Parazitlerin Kurbanlarına Oynadıkları Oyunlar

Bazen bilim, bilimkurgudan daha ilginç olabiliyor. Parazitler konakçılarının davranışlarını ve görünüşlerini ya kendilerine ya da yavrularına fayda sağlayacak şekilde sinsiçe değiştirebiliyor. Sonuç; İstem dışı hareket eden zombi yaratıklar. Geçmişte bilimkurgu hikâyelerine konu olan “konakçı hayvanın davranışının kontrol altına alınması” ya da “kurbanların beyinlerinin ve vücutlarının ele geçirilmesi” fikri, günümüzde hayvanların davranış ekolojisi çalışmalarında sık rastlanan bir kavram olarak karşımıza çıkıyor. Ancak, bu doğal olgunun altında yatan bazı sinirsel ve genetik mekanizmalar yeni yeni gün ışığına çıkmaya başladı.





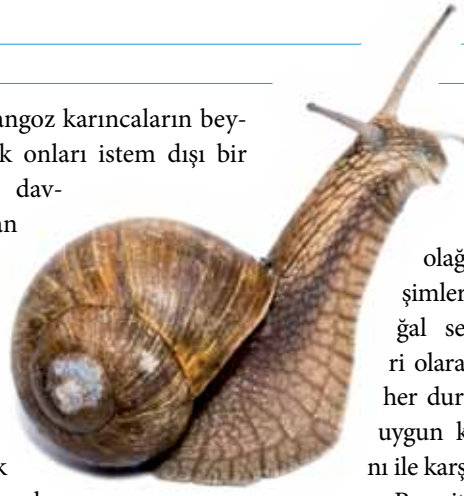
Hayvanlar âleminde her gün ilginç ve bazen de tüyler ürpertici olaylarla karşılaşmak mümkün. Bazı organizmalar evrimsel gelişmeleriyle ilgili avantajlı durumlarını bir üst seviyeye taşıyarak, başarılı fakat bir o kadar da gizemli bir şekilde başka bir organizmanın beynini ve vücudunu ele geçirerek onların davranışlarını ve görünüşlerini ya kendilerine ya da yavrularına fayda sağlayacak şekilde değiştiriyorlar. Çok çeşitli parazit türlerinden enfekte edilen birçok organizma, gelişmeleri, üreme kapasiteleri, besin arama yetenekleri, davranışları ve hatta vücutlarındaki elementlerin kimyasal kompozisyonları değişecek şekilde bile etkileniyor. Parazitler tarafından uyarılmış bu değişiklikler, bazı durumlarda, parazitlerin gelişmesine, nesillerinin devam etmesine, konakçısında güvenli bir şekilde kalmasına ya da farklı yaşam alanlarında yaşayan konakçıları arasında rahatça taşınmasına hizmet ediyor. Parazitlerin konakçılarının davranışlarına olan etkileri doğrudan ya da dolaylı yoldan olabiliyor. Örneğin sinir sistemini ve kasları idare ettiklerinde doğrudan, bağırsıklık, iç salgı bezleri sistemini ya da metabolizmalarını etkilediklerinde dolaylı olarak değişimlere neden oluyorlar. Konakçıları-

nın merkezi sinir sistemlerine müdahale eden parazitler özellikle beyin gelişiminde etkili olan bazı aminoasitlerin ve proteinlerin yapısının değişmesine neden oluyor. Bazen de parazite ait proteinlerin konakçı organizmaların beyinlerinde sentezlenmesi sağlanıyor ya da tam aksine konakçıya ait proteinler parazit tarafından moleküler olarak taklit edilerek benzer proteinler sentezleniyor. Yani, parazit ve konakçı arasında bir nevi çaprazlama biyokimyasal sinyal iletişimi gerçekleşiyor. Düşünecek olursak, davranışın fizyolojik olarak kontrol edilmesi gerçekten çok karmaşık bir durum. Merkezi sinir sistemine olan etkilerin çeşitliliği (günlük biyolojik ritimler, hormonlar, algısal uyarıcılar, motivasyonlar v.b.) göz önüne alınacak olursa, davranışlarının nasıl mekanik bir şekilde düzenlendiğinin belirlenmesi daha da zorlaşıyor. Parazitler, kurbanları ile beraber yıllar süren evrimleşme sonucunda gelişiyorlar. Dolayısıyla konakçıların beyinlerini ve davranışlarını düzenleyen fizyolojik unsurları çok iyi tanıyan, fungusundan virüsüne, solucanından yaban arısına kadar birçok parazit ve parazitoit organizma, konakçıların davranışlarını nasıl kontrol altına alacaklarını mükemmel bir şekilde çözmüş durumda.

Parazit ile enfekte edilmiş konakçı organizmalarda ne tür davranış değişiklikleri gözleniyor?

Geçtiğimiz son 30 yıl içinde bu konu üzerinde yapılan çalışmaların sayısı arttıkça, parazitlerin teşvik ettiği davranış değişiklikleri birçok parazit-konakçı ilişkisi için kayıt altına alınmış durumda. Bütün bu çalışmaların sonuçları konakçının davranış, morfoloji ve fizyoloji gibi birçok fenotipik özelliğinin değiştiğini, ayrıca bu değişimlerin de basitten karmaşığa doğru farklılaştığını belirtiyor. Konakçı davranışlarının, parazitin kendi yavrularının bakımını ya da gelişme evrelerinden birinin tamamlanmasını garanti altına alacak şekilde değiştirildiği durumlar doğada sıkça gözlenmiş. Konakçı organizma bir nevi koruma görevlisi hizmeti yapacak şekilde parazit tarafından yönlendiriliyor. Parazitoit olan yaban arısının örümceğin içine bıraktığı yumurtadan çıkan larva yani kurtçuk, örümceğin içinde gelişmeye başladığı zaman konakçısının davranışını değiştirerek örümceğin kese şeklinde ağ örmesini sağlıyor. Yaban arısı kurtçuğuna evsahipliği yapan örümcek, ilginç bir şekilde kurtçuk vücudunu terk etmeden birkaç saat önce kese şeklindeki ağı örmeye başlıyor. Normal örümcek ağının hemen yanında oluşturulan bu kese şeklindeki ağ, pupa olmaya hazırlanan kurtçuk için onu yağmurdan ve diğer tehlikelerden koruyacak elverişli bir ortam sağlıyor. Bazı parazit nematodların farklı konakçılar arasında taşınmasının dışıye özel davranışlara bağlı olduğu durumlarda, parazit nematod erkek böceklerin davranışlarını femineze olacak şekilde değiştirebiliyor. Parazitler konakçı organizmaların yaşam alanı tercihini de değiştirebiliyor. Bazı parazit kurtların erginleri başarılı bir üreme için sulak ortamlara ihtiyaç duyar. Bu nedenle, normalde karada yaşayan enfekte olmuş konakçı böceğin davranışları ilginç bir şekilde, su ortamını arama ve nihayetinde suya atlayarak intihar etme eylemini gerçekleştirecek şekilde, kontrol altı-

na alınıyor. Marangoz karıncaların beyinini ele geçirerek onları istem dışı bir şekilde anormal davranmaya zorlayan fungus, kendisi için en uygun ortamda karıncaların ölmesine neden oluyor. Beslenme yoluyla trofik olarak taşınan birçok parazit, ara konakçıların davranışlarını ve görünüşlerini kolayca avlanmaya maruz kalacakları şekilde kontrol ederek ve değiştirerek esas konakçısına ulaşıyor. Doğada bunun örneklerini görmek mümkün. Salyangozların gözlerini enfekte eden yassı kurt paraziti, salyangozların ışığa karşı hassasiyetini ortadan kaldırarak açık alanlara doğru hareket etmelerini sağlıyor. Salyangozların enfekte olmuş gözleri, yeşil bir turtıl gibi görünüyor ve bu da kuşları cezbediyor. Kuşlar tarafından kolayca avlanan salyangozlar sayesinde, bu parazit kurt gerçek konakçısı olan kuşların vücuduna kolayca yerleşmiş oluyor. Benzer şekilde, nematod ile enfekte edildiğinde, dev kaplumbağa karıncasının (*Cephalotes atratus*) karın kısmının rengi siyah-tan canlı kırmızıya dönüşerek adeta olgunlaşmış bir meyve gibi görünüyor. Parazitin esas konakçısı olan ve çoğunlukla meyve ile beslenen kuşlar tarafından kolayca fark edilen bu karıncalar avlandığında nematod da gerçek konakçısına geçmiş oluyor.



Kapsamlı Fenotip

Bütün bu şaşırtıcı ve olağanüstü fenotipik değişimler ve verilen örnekler doğal seçilimin rafine ürünleri olarak yorumlanıyor. Parazit her durumda bir yolunu bulup uygun konakçı ve yaşama alanı ile karşı karşıya gelmeyi başarıyor. Parazitin uyarması sonucu konakçı organizmada meydana gelen fenotipik değişiklikler literatürde “kapsamlı fenotip” olarak tanımlanıyor. Yani, bir organizmanın genleri birtakım biyolojik olayları içlerinde yaşadıkları organizmaların ve çevrenin de ötesinde etkileyerek gidişatı değiştirebiliyor ve bir başka organizmada çok yönlü ve kapsamlı değişikliklere neden oluyorlar. Fenotipin diğer yönleri gibi, konakçı organizmanın davranış ve morfolojisi parazit tarafından seçilerek kendi genlerine fayda sağlayacak şekilde kullanılıyor. Parazitlerin manipülasyonlarının çok yönlü olması, ayrıca konakçı organizmanın bazı doğal davranışlarının ve morfolojik özelliklerinin kolayca enfekte olmalarına neden olması, konakçının özellikle hangi fonksiyonlarının enfeksiyon sonucu etkilediğinin ortaya çıkarılmasını zorlaştırıyor. Yani en büyük sorunlardan bir tanesi, hangi davranışların enfeksiyonun nedeni ya da sonucu olduğunun belirlenmesi. Tüm bu zorluklara rağmen, bilim insanları bazı parazit-konakçı ilişkilerini derinlemesine incelemiş. İşte bunlardan çarpıcı birkaç örnek.



İnsan Kültürünü Yönlendiren Beyin Parazitleri

Bazı parazitler sadece hayvanların davranışlarını değiştirmekle kalmayıp insanların da davranışlarını kontrol altına alabiliyor. *Toxoplasma gondii* kedilerle yayılan tek hücreli bir beyin paraziti. Bu parazit olgunlaşmak ve üremek için sadece kedileri tercih ediyor, yani esas konakçısı kediler. Fakat diğer parazitler gibi bu beyin parazitinin de çok karmaşık bir yaşam döngüsü var. Esas konakçısı olan kedilere ulaşmak için çoğunlukla fareleri enfekte eden bu parazit, ara konakçısı olan farelerin beyinlerine yerleşerek onların davranışlarını kedilere daha kolay av olmaları yönünde değiştiriyor. Parazit ile enfekte olmuş fareler tuhaf bir şekilde kedi kokusuna doğru yöneliyor, kedilerden korkup kaçmıyorlar, daha aktif oluyorlar ve sonuçta beklenen son yaşıyor, böylece parazit gerçek konakçısına rahatlıkla geçmiş oluyor. Bazen insanlar kedi pisliklerinden temas yoluyla ya da bulaşık gıdaları tükettiklerinde bu paraziti bünyelerine alabiliyorlar. Toksoplazmanın insan vücuduna girmesi aslında kendi ölümlü demek, ancak bu durum parazitin işini yapmasına engel olmuyor. Nadir olarak bu parazit insanlarda toksoplazmosis denilen grip benzeri bir hastalığa neden olarak, anne karnındaki bebeğe veya bulaşık sistemini zayıf olanlara zarar verebiliyor. Birçok durumda bu parazitin insanlar üzerindeki etkileri daha kurnazca olabiliyor. Bu paraziti taşıyan insanlarda uzun vadede kişilik değişiklikleri göz-



lemliyor. Kadınlar daha akıllı, sevecen, sosyal ve kurallara daha fazla uyma eğilimi gösteriyor. Buna karşılık erkeklerin ise daha az akıllı fakat daha sadık olma, alçakgönüllü ve daha ılımlı bir ruh hali sergilediği belirtiliyor. Yaygın olarak her iki cinsiyetin de gösterdiği özellik ise aşırı derecede sinirli olma eğilimi. Bu kişiler suç işlemeye daha yatkın oluyor ve kendilerinden sürekli şüphe eden, güvensiz kişilikler sergiliyorlar. Bireysel olarak gözlenen bu etkiler biraz tuhaf gelebilir, fakat olaya küresel olarak bakıldığında yapılan çalışmalar bu beyin parazitinin farklı toplumlarda gerçekten çok güçlü bir etkisi olduğunu gösteriyor.

Koruma Görevlisi Tırtıllar

Yaşamının belirli bir evresini parazit şeklinde bir konakçıya bağlı olarak yaşayan parazitoit yaban arıları, konakçılarının



nın üzerine veya içine yumurta bırakırken konakçılarının hareket etmesini engellemek için onları tamamen ya da kısmi felçli duruma getirebiliyor. Böylece bazen kendilerinden daha büyük ve daha yapılı olan böcekleri kolayca kontrol altında tutabiliyorlar. *Thyrintina leucocerae* türü kelebeğin tırtılının üzerine en az 80 yumurta bırakan *Glyptapanteles* cinsi yaban arısı, kurbanına gerçekten çok acımasız bir oyun hazırlığı içinde. İki hafta sonra kurbanın derisinden dışarıya çıkan parazit larvaları pupa olmaya hazırlanıyor. Aldığı o kadar yara ve darbeye rağmen tırtıl hayatta kalmaya devam ediyor, fakat hiçbir şekilde yerinden kıpırdamıyor. Pupalar ergin olana kadar onların yanı başında öylece duruyor. Zavallı tırtılın tek yaptığı hızlı ve sert bir şekilde vücudunun üst kısmını sağa sola sallamak. Yaban arısının erginleri olgunlaşıp uçtukten sonra da bulunduğu yerde ölüp kalıyor. Amacına ulaşan parazit, tırtılı geliştirmekte olan yavrular için bir nevi inkübatör ve koruma görevlisi olarak kullanıyor.



Zombi Karıncalar

Brezilya'nın tropikal yağmur ormanlarında korku filmlerini andıran bir biyolojik ilişki yaşanıyor. Kahramanlarımız bir fungus (*Ophiocordyceps unilateralis*) ve marangoz karıncalar (*Camponotus leonardi*). Bu karıncalar yağmur ormanlarındaki ağaçların yüksek dallarında yaşıyor, yuvalarını ağaç kovuklarına yapıyorlar. Koloniler halinde dolaşıyor ve sürekli ağaç dallarından orman zeminine, oradan tekrar yukarılara çıkarak yaşamlarına devam ediyorlar. Bu normal yaşam döngüsü, bir gün parazit bir fungusun karıncayı enfekte etmesiyle korkunç bir şekilde değişiyor. Karıncalar orman zemininde bulunan fungus sporlarıyla temas edince enfeksiyon başlıyor ve yaklaşık bir hafta içinde karıncanın vücutları ve başları fungus sporları tarafından işgal ediliyor. Enfekte karıncaların kasları deforme oluyor ve yırtılmalar başlıyor. Fungus enfeksiyonu aynı zamanda karıncanın merkezi sinir sistemini de etkiliyor. İşte bu noktada karıncaların davranışları değişiyor ve zombi gibi davranmaya başlıyorlar. Normalde koloniden ve takip edilen yoldan hiç ayrılmayan işçi marangoz karıncalar düzensiz davranışlar sergiliyor, zikzaklar çizerek nereye gittiklerini fark etmeden yürümeye başlıyorlar. Neticede koloniden ayrılıyor ve bir daha da yuvalarının yolunu bulamıyorlar. Zombileştiren fungus, kasların istem dışı kasılmasına da neden oluyor ve enfekte karıncalar ağaç dallarından yere düşerek orman zemininden yaklaşık 25 cm yukarıda yer alan bol yapraklı ve nemli bölgede bilinçsizce dolaşmaya başlıyor. Katil fungus en uygun zamanı bekliyor ve öldürücü vuruşunu gerçekleştiriyor. Bu nemli bölge fungusun yaşamını devam ettirebilmesi ve üremesi için uygun koşullara sahip. İlginç olan şu ki, öldürücü vuruş hemen hemen her zaman güneşin sıcaklığının en çok hissedildiği öğlen saatlerinde gerçekleşiyor. Zombi karınca, sanki fungus tarafından senkronize edilmiş ve zorlanmış gibi davranarak yaprağın altındaki ana damarı ısırıyor ve bu vaziyette öylece ölüyor. Karıncanın başında çoğalan fungus sporları karıncanın çene kemiğindeki

kasları ve bu kasları yöneten sinirleri kontrol altına alarak karıncanın ölüm ısırtığını gerçekleştirmesini sağlıyor. Ölüm ısırtığını gerçekleştiren karıncanın çene kemiği kilitleniyor ve ölüm gerçekleşikten sonra bile karınca bu vaziyette yaprağın altındaki ana damarda asılı kalıyor. Birkaç gün sonra karıncanın başında fungusun yüzlerce sporunu içinde taşıyan bir üreme kesişi oluşmaya başlıyor. Görüntü gerçekten çok ilginç, yaprağa saplanmış ölü karıncanın başından uzanan bir sap ve sapın üzerinde bir kese. Fungus, sporlarını bu keselerden dışarı fırlatıyor ve yüzlerce öldürücü spor başka karıncaları enfekte etmeye üzere orman zeminine yayılıyor. Yapılan araştırmalar bu şekilde zombi karıncalar yaratan 4 fungus türü olduğunu söylüyor. Her bir fungus türü tek bir karınca türüne özelleşmiş durumda. Bu tür funguslara Afrika'nın, Brezilya'nın ve Tayland'ın tropik ormanlarında rastlanıyor. Uzmanlar, karıncanın davranışlarını değiştiren ve yönlendiren bu fungusun yaşam döngüsünün hayli karmaşık olduğunu belirtiyor. Geçtiğimiz yıl araştırmacılar tarafından bulunan fosilleşmiş bir yaprak örneği, bu tür ilişkinin yaklaşık 48 milyon yıl öncesinde bile var olduğunu gösteriyor. İşte bu korku dolu filmin özeti: Katil fungusun tek bir amacı var, üremek için uygun zemini bulmak. Kurban karıncanın yapması gereken ise ölüm yürüyüşünü gerçekleştirerek kendisi için seçilmiş mezara gitmek.

Kelebek Tırtıllarını Eriten Virüsler

Avrupa'da bir ormanda gün ağarmak üzere, gece boyunca ağaç yapraklarıyla beslenen kır tırtılı (*Lymantria dispar*) saklanmak için yer arıyor. Kuşlar sabah kahvaltılarını bulmak için havalanmaya başlamışken, kır tırtılları günü ağaç kabuklarının çatlaklarında saklanarak ya da toprağa gömülü olarak geçirmeyi tercih ediyor. Fakat tırtıllardan bir tanesi biraz garip davranıyor. Tüm tırtıllar saklanmak için ağacın aşağı kısımlarına doğru yol alırken, bu tırtıl tam tersi yönde, en yukarılara, ağacın en üst kısımlarındaki dallara doğru tırmanıyor. Ağacın en tepesine çı-

kan tırtılın vücudu erimeye başlıyor. Tırtılın vücudu eriyip akarken bir yandan da milyonlarca virüs parçacığı serbest kalarak etrafa saçılıyor. Virüs parçacıkları, yağmurun ve rüzgârın da yardımıyla, tırtılın vücudundan akarak ağaçların dallarına, yapraklarına ve havaya bulaşıyor. Tırtılları ağaçların en üst dallarına tırmanmaya zorlayan virüsler, onların vücutlarındaki her bir hücreyi ele geçirerek kendilerini kopyalamaya başlıyor. Zamanla virüsün ürettiği bir enzim, tırtılların hücre zarlarını parçalayarak vücutlarının eriyip akmasına ve ölmelerine neden oluyor.

Bu virüsün yaklaşık 100 yılı aşan bir süredir böcekleri enfekte eden bir parazit olduğu biliniyor. Bakulovirüs grubundan olan ve *Lymantria dispar* nükleopolihedrovirüs (LdMNPV) adıyla bilinen bu virüsün tırtıllarda sebep olduğu bu hastalığa "ağaç tepesi hastalığı" adı veriliyor. Konakçı tırtılların ağaçların en tepesinde ölmesine yol açan parazit virüs, bu durumdan iki şekilde fayda sağlıyor. Birincisi, virüslerin ağaç tepelerinde kendilerine daha kolay konakçı böcek bulabilmesi. Ağaç tepeleri sağlıklı tırtılların pupa evresini ge-





çirerek ergen kelebek olduğu yerler. Bu türdeki dişi kelebeklerin kanatları morfolojik olarak küçük olduğu için uçmıyor, böylelikle virüsle bulaşık olan ağaç dallarında ve yapraklarında yürüdükleri zaman virüsü bünyelerine kolayca alıyorlar. Bıraktıkları yumurtalardan çıkacak olan turtullar da doğal olarak virüs tarafından enfekte edilmiş oluyor. İkincisi ise, virüslerin ağaç tepelerinden rüzgâr ve yağmur yardımıyla uzak mesafelere daha kolay yayılması. Bilim insanları bu hastalığı çok uzun süreden beri biliyor, ancak virüs-turtul ilişkisinin detaylarını yeni yeni keşfetmeye başladılar. Virüsle bulaşık turtul zamansız bir şekilde ağacın en tepesine gitmeye mecbur eden şeyin aslında virüse ait bir gen (*egt*) olduğu ortaya çıktı. Bu genin kodladığı bir enzimin turtulın deri değiştirmesini sağlayan 20E hormonunu etkisiz hale getirdiği belirtiliyor. Normalde turtulın gelişim evrelerinden biri olan üst deri değiştirme zamanı geldiğinde 20E hormonunun değeri yükseliyor ve turtul deri değiştirdikten sonra yükseğe çıkarak pupa olmaya hazırlanıyor. Ancak virüsle bulaşık hastalıklı turtullarda 20E hormonu etkisiz hale getirilerek turtulın deri değiştirmeden yükseklere tırmanması ve virüs için en uygun yerde ölmesi sağlanıyor. Virüste bulunan ve turtulların bu davranışını kontrol eden *egt* geni virüsten uzaklaştırıldığında hasta turtulların yukarılara tırmanma eğilimi göstermediği fakat gene de öldükleri görüldü. Ayrıca virüsün genomuna tekrar yerleştirilen genin yeteneğine tekrar kavuşarak turtulları yukarıya tırmanmaya zorladığı fark edildi. Tek bir virüs geni, bir hayvanın davranışını tamamen değiştiriyor. Uzmanlar bu durumu kapsamlı fenotipi anlatan çok güzel bir örnek olduğunu bildiriyor.

Yukarıda bahsedilen örneklerden de anlaşılacağı gibi parazitlerin gizemli dünyası ve konakçılarında meydana getirdikleri fenotipik değişiklikler anlaşılması ve incelenmesi güç bir olgu. Olayın altında yatan gerçek mekanizmanın anlaşılması için, moleküller ve genetik teknikler geliştirilerek hücresel elektrofizyolojiyi ve davranış analizlerini kapsayan disiplinlerarası çalışmalar yapılması gerektiği uzmanlar tarafından belirtiliyor. Belki bir gün bilim insanları, kurbanlarının beyinlerini ve vücutlarını ele geçiren parazitlerin şifresini tam olarak çözmeyi başarabilecek. O güne kadar, doğa ve içinde barındırdıkları hayal gücümüzü zorlamaya devam edecek.

Kaynaklar

<http://en.wikipedia.org/wiki/Toxoplasmosis>
<http://soundwaves.usgs.gov/2006/09/research3.html>
<http://www.otago.ac.nz/parasitegroup/PDF%20papers/Poulin2010-ASB.pdf>
<http://blogs.discovermagazine.com/notrocketscience/2008/06/03/parasitic-wasps-turns-caterpillars-into-head-banging-bodyguards/>
<http://www.newscientist.com/article/dn7927-parasites-brainwash-grasshoppers-into-death-dive.html>
<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1386717/Why-zombie-ants-infected-mind-controlling-fungus-kill-high-noon.html>
<http://www.newscientist.com/article/>

dn20886-virus-gene-engineer-sends-caterpillars-to-a-sticky-end.html

Libersat, F., Delago, A. ve Gal, R. "Manipulation of Host Behavior by Parasitic Insects and Insect Parasites", *Annual Review of Entomology*, Sayı, s. 189-207, 2009.
 .Thomas, F., Adamo, S. ve Moore, J. "Parasitic Manipulation: Where Are We and Where Should We Go?", *Behavioural Processes*, Sayı 68, s. 185-199, 2005.
 Goodman, B. A. ve Johnson, P. T. J., "Disease and the Extended Phenotype: Parasites Control Host Performance and Survival Through Induced Changes in Body Plan", *PlosOne*, Sayı 6, s. 1-10, 2011.