

NEIL SHUBIN

CANLILIĞIN TARİHİ

FOSİLLERDEN DNA'YA
DÖRT MİLYAR YILLIK KARNAVAL

ÇEVİRİ: ZEYNEP ARIK TOZAR

domingo



CANLILIĞIN TARİHİ

Fosillerden DNA'ya Dört Milyar Yıllık Karnaval

NEIL SHUBIN

Özgün İsmi: Some Assembly Required: Decoding Four Billion Years of Life, from Ancient Fossils to DNA

© 2020 Neil Shubin

Tüm hakları saklıdır.

Türkçe yayın hakları:

© 2023 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.

Sertifika No: 46105

Çeviri: Zeynep Arık Tozar

Editör: Algan Sezgintüredi

Son okuma: Ümran Özbacı

Danışman: Emrah Çoraman

Kapak tasarımı: İlknur Muştu, Betül Güzhan

Sayfa uygulama: Bahadır Erşık

ISBN: 978 605 198 261 8

Baskı: Ocak 2023

Optimum Basım

Tevfikbey Mah. Dr. Ali Demir Cad. No: 51/1

34295 Küçükçekmece İstanbul

Tel: 0212 463 71 25 • Sertifika No: 41707

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Harbiye Mah. Cumhuriyet Cad. Pak Apt. No: 30

Kat: 1 Daire: 3 Şişli İstanbul – Tel: (212) 245 08 39

e-posta: domingo@domingo.com.tr

www.domingo.com.tr

İÇİNDEKİLER

Önsöz 1

1. Sihirli Sözcükler 7
2. Embriyonik Fikirler 33
3. Genomun Cambazı 66
4. Büyüleyici Canavarlar 99
5. Kopyacılar 132
6. İçimizdeki Savaş Alanı 155
7. Hileli Zarlar 177
8. Birleşme ve Devralmalar 203

Sonsöz 227

Meraklısı için kaynakça ve notlar 231

Teşekkür 264

Görseller 268

Dişin 270

ÖNSÖZ

Kaya kırmakla geçen onlarca yıl, canlılara bakışımı değiştirdi. Nasıl bakacağınızı bilerseniz bilimsel araştırma küresel bir hazine avına dönüşür. Peşine düştüğünüz hazine ise kollu balıkların, bacaklı yılanların, dik yürüyebilen insansı maymunların ve size yaşamın tarihiyle ilgili önemli anları anlatabilecek bütün eski canlıların fosilleridir. *İçimizdeki Balık* kitabında, planlama ve şansın yardımıyla Kanada'nın Yüksek Arktik bölgesinde meslektaşlarımla birlikte *Tiktaalik roseae*'yi nasıl bulduğumuzu anlatmıştım. Boynu, dirsekleri ve bilekleri olan bu balık, suda yaşam ile karada yaşam arasındaki köprüyü oluşturuyor ve uzak atalarımızın balık olduğu önemli kesite ışık tutuyordu. Bu tür keşifler neredeyse iki yüzyıldır bize evrimin nasıl işlediğini, çeşitli beden formlarının nasıl yapılandırıldığını ve oluşageldiğini söylemiştir. Ancak paleontoloji, önemli bir değişim noktasına ulaşmış bulunuyor. Neredeyse kırk yıl önce kariyerimin başladığı dönemle keşişen bir değişim bu.

National Geographic dergisi ve televizyon belgeselleriyle büyü-müş biri olarak, fosil keşfetmek üzere inceleme gezilerine katılma

isteğim erken yaşta başlamıştı. Bu ilgi beni Harvard Üniversitesi'nde lisansüstü eğitimine kadar götürmüş, ilk ekip liderliği görevimi burada, 1980'lerin ortalarında yaptığımız fosil avı gezilerinde gerçekleştirmiştim. Egzotik bölgelerde inceleme gezisi düzenleme becerisinden yoksun olduğumdan, Cambridge, Massachusetts'in güneyinde, yol kenarlarındaki kayaları incelemekle yetinmiştim. Bu gezilerden birinin sonunda araziden döndüğümde masamın üzerinde bir deste bilimsel dergi makalesi buldum. Bu makale yığınının, paleontoloji dünyasının girmek üzere olduğu dramatik değişim dönemiyle tanışmam oldu.

Benim gibi lisansüstü öğrencisi olan bir arkadaşımın kütüphanede bulduğu bu makaleler, hayvan vücudunun inşasına yardımcı olan DNA moleküllerinin birtakım laboratuvarlarda nasıl keşfedildiğini açıklıyor ve sineklerde baş, kanat ve antenlerin yapımında rol oynayan genlerden söz ediyordu. Bu gerçek bile yeterince heyecan vericiyken, fazlası da vardı: Aynı genlerin farklı versiyonları balık, fare ve insan vücudunun yapımını da üstlenmekteydi. Makalelerdeki resimler, yeni bir bilimin ipuçlarını veriyordu. Hayvan vücutlarının embriyo içinde nasıl düzenlendiğini ve milyonlarca yıllık bir süreçte nasıl evrimleştiklerini açıklayabilecek bir bilimdi bu.

DNA ile yapılan deneyler, daha önceleri fosil avcılarının peşine düştüğü temel soruları yanıtlamayı vaat etmekteydi. Üstelik DNA'yı anlamak, açıklamasını eski kayaların arasında aradığım değişimleri yönlendiren genetik mekanizmaya da götürebilirdi bizi.

Tıpkı geçmişimizin fosil türleri gibi ya evrim geçirecek ya da yok olup gidecektim. Yok olmak, bir biliminsanı için artık önemini kaybetmek demekse, genetik, gelişimsel biyoloji ve DNA dünyasına yapacağım derin bir dalış benim entelektüel eylemin parçası olmamı sağlayabilirdi. Sonuç olarak, o ilk dergi makalelerinden

beri, çabalarımı iki koldan yürüterek geçti günlerim. Yazları arazide fosil arıyorsam yılın geri kalanında embriyolar ve DNA üzerinde çalışıyordum. Her iki yaklaşım da aslında tek bir sorunun yanıtlanmasına hizmet eder: Canlılığın tarihindeki büyük değişimler nasıl gerçekleşir?

Teknolojik ilerleme hızı, son yirmi yılda baş döndürücü bir düzeye ulaştı. Genom dizileme cihazları şimdilerde öylesine güçlü ki on yıldan fazla süren ve milyarlarca dolara mal olan İnsan Genomu Projesi günümüzde yapılırsa sadece bir öğleden sonrasında ve bin doların altında bir maliyetle tamamlanabilirdi. Üstelik dizileme işlemi yalnızca tek bir örnek. Yüksek bilgisayar gücü ve görüntüleme teknolojileri, artık gözlerimizi embriyoların içine çevirmemize, hücrelerin içindeki molekülleri bile izlememize olanak tanıyor. DNA teknolojileri öyle güçlenmiş durumda ki kurbağalardan maymunlara kadar çok çeşitli türler rahatlıkla klonlanabiliyor; fareler insan ya da sinek genleriyle genetik mühendisliğine tabi tutulabiliyor. Neredeyse bütün hayvanların DNA'larının düzenlenebilmesi ise hemen hemen tüm hayvan ve bitki türlerinin vücutlarını inşa eden genetik kodu silip yeniden yazma gücünü veriyor bize. DNA düzeyinden bakıldığında, bir kurbağayı alabalık ya da insandan farklı kılan gen kombinasyonunun hangisi olduğunu da sorabiliyoruz artık.

Bu devrim bizi inanılmaz bir noktaya taşıdı. Kaya ve fosiller DNA teknolojisiyle bir araya geldiğinde Darwin ve çağdaşlarının yanıt bulmak için didinip durduğu bazı klasik soruları derinlemesine ele alacak güce ulaştık. Yeni deneyler işbirliği, yeni işlev kazanımı, rekabet, hırsızlık ve savaşlarla dolu milyarlarca yıllık bir tarihi aydınlatıyor. Ve bu sadece DNA'nın kendi içinde olup bitenler. Virüslerce sürekli olarak enfekte edilmenin yanında, kendi bileşenleri de birbiriyle savaş halinde olduğundan, her bir hayvan

hücresi içindeki genom bir nesilden diğerine etkisini gösterirken bir yandan da bulanıp karışmakta. Böylesi bir dinamizmin sonucu ise yeni organlar, dokular ve dünyayı değiştirmiş biyolojik yenilikler oldu.

Yaşam ortaya çıktıktan sonra, bütün gezegen milyarlarca yıl boyunca mikrobiyal bir hayvanat bahçesi olarak varlığını sürdürdü. Yaklaşık bir milyar yıl önce tekhücreli mikroorganizmalardan, bedene sahip yaratıklar türedi. İzleyen birkaç yüz milyon yıl içinde denizanasından insana kadar ne varsa hepsinin kökenleri ortaya çıktı. O zamandan bu yana, bir icat diğerine yolu açtıkça canlılar yüzmeyi, uçmayı, düşünmeyi mümkün kılan evrimsel süreçlerden geçtiler. Kuşlar uçmak için kanat ve tüylerden yararlanır. Karada yaşayan hayvanlarda akciğerler ve uzuvlar vardır. Liste sürüp gider. Hayvanlar, basit yapıdaki atalardan başlayarak okyanus tabanlarında yaşamak, kurak çöllere yerleşmek, en yüksek dağların tepelerinde gelişip serpilmek, hatta Ay'da yürümek üzere evrilmişlerdir.

Yaşamın tarihi boyunca gerçekleşmiş büyük dönüşümler, hayvanların yaşam biçimleri ve vücut düzenlerinde toptan değişimlere yol açmıştır. Balıkların karada yaşayan canlılara evrilmesi, kuşların ortaya çıkışı ve tekhücreli canlılardan vücudun kendisinin türemesi yaşam tarihinde gerçekleşmiş devrimlerden yalnızca birkaçıdır. Bu olayları mercek altına alan bilim ise sürprizlerle doludur. Tüylerin hayvanlara uçmada, akciğerler ve bacakların da karada yürümelelerinde yardımcı olmak için ortaya çıktığını düşünüyorsanız yalnız değilsiniz. Ama tümüyle yanılıyorsunuz.

Bu bilim alanındaki ilerlemeler, varlığımızla ilgili bazı temel soruların cevaplanmasına yardımcı olabilir: Gezegen üzerindeki varlığımız bir rastlantı eseri midir? Yoksa bizi bu noktaya getiren tarih, bir şekilde kaçınılmaz bir yol mu izlemiştir?

Yaşamın tarihi deneme yanılma, şans ve kaçınılmazlık, yön değişimleri, devrimler ve icatlarla dolu uzun, tuhaf ve harikulade bir yolculuk olmuştur. Bu yolculuk ve onu anlamak için attığımız adımlar, bu kitabın konusunu oluşturuyor.



Sihirli Sözcükler

BAZI İNSANLAR ÖMÜRLERİNİ ADAYACAKLARI alanı bir laboratuvar da ya da sahada bulurlar. Bense kendiminkini ekrana yansıtılmış bir slaytta buldum.

Lisansüstü öğrencilik günlerimin ilk zamanlarında kıdemli bir biliminsanın, yaşamın tarihindeki en büyük dönüm noktaları üzerine verdiği bir dersi almıştım. Evrimin büyük bilmecelerinin üzerinden hızla geçilen bir tür tanıtım dersi idi. Her hafta tartışmak üzere farklı bir evrimsel dönüşüm ele alınıyordu. Profesör ilk tartışmalardan birinde balıklardan kara hayvanlarına geçişle ilgili bir çizim göstermişti. Bu o zamanlar, yani 1986'da bildiklerimizi yansıtan bir çizimdi. Üst kısmında bir balık, altında da bir erken dönem amfibi fosili barındıran çizimde, balıktan amfibiye doğru yönelmiş bir ok da yer alıyordu. Gözüme çarpan şey balık değil, oktu. Çizime bakıp başımı kaşıyıştım. Karada yürüyen bir balık: Nasıl olabilirdi böyle bir şey? Bütün kariyerimi üzerine kuracağım birinci sınıf bir bilimsel bilmeceydi bu. İlk görüşte aşktı. Bunun nasıl gerçekleştiğini gösterecek fosillerin arayışıyla her iki kutba ve birkaç kıtaya yaptığım kırk yıllık araştırma gezileri böylece başlamış oldu.

Ancak bu arayışı dost ve akrabalara anlatmaya çalıştığımda, sıklıkla acıyan bakışlar ve nazik sorularla karşılaşılıyordum. Bir balığın karada yaşayan bir canlıya dönüşmesi, yeni bir iskelet tipinin gelişmesi anlamına geliyordu. Bu iskelet yüzmek için yüzgeçler yerine, yürümek için uzuvlara sahip olmalıydı. Dahası, solungaç yerine akciğerlerin kullanıldığı yeni bir solunum yönteminin ortaya çıkması gerekiyordu. Beslenme ve üreme sistemleri de değişmek zorundaydı: Suda beslenme ve yumurtlama, karadakinin tümüyle farklıydı. Vücuttaki sistemlerin neredeyse tamamının eşzamanlı dönüşüme uğraması gerekecekti. Hayvan soluyamadıktan, beslenemedikten ya da üreyemedikten sonra, karada yürümek için bacaklara sahip olmak neye yarardı? Karada yaşamak yalnızca tek bir icat değil, yüzlerce icadın karşılıklı etkileşimini gerektirir. Aynı zorluk, uçma ve iki ayak üzerinde yürümenin başlangıcından, vücut oluşumunun ve yaşamın başlangıcına kadar yaşamın tarihindeki binlerce başka geçiş sürecinin her biri için de geçerlidir. Arayışım, daha başından başarısızlığa mahkûm gibiydi.

Bu çıkmazın çözümü, oyun yazarı Lillian Hellman'dan yapacağımız meşhur alıntıda gizlidir. Hellman -1950'lerde Temsilciler Meclisi'nin Amerika Karşısı Faaliyetleri İzleme Komitesi'nce kara listeye alınmasından, zorlu yaşam koşullarıyla mücadelesine kadar— yaşadıklarını anlatırken şu ifadeyi kullanmıştı: “Elbette hiçbir şey, başladığını zannettiğiniz zamanda başlamaz.” Hellman bu cümlesiyle farkında olmadan yaşamın tarihiyle ilgili en güçlü kavramlardan birini, gezegen üzerindeki tüm canlıların neredeyse bütün organlarının, dokularının ve içerdikleri her bir DNA zerresinin kökenini açıklayan kavramı tarif edivermişti.

Bu fikrin biyolojideki tohumu, tüm bilim dünyasının belki de kendine zarar vermeye en yatkın kişiliklerinden birinin, geleceği bozmayarak, *yaptığı hatalarla* alanı değiştiren çalışmaları sonucunda atılmıştı.

Genomla ilgili yakın geçmişli keşiflerin anlamını kavrayabilmek için daha eski bir araştırma dönemine dönmemiz gerekiyor. Victoria dönemi İngiltere'si, kalıcı fikir ve keşiflerin ortaya çıktığı bir pota gibiydi. DNA'nın yaşam tarihi içindeki işleyişini anlamanın, genlerin varlığının bile bilinmediği bir dönemde geliştirilen fikirlerle dayandığı düşüncesi, doğrusu şairane bir tınıya sahip.

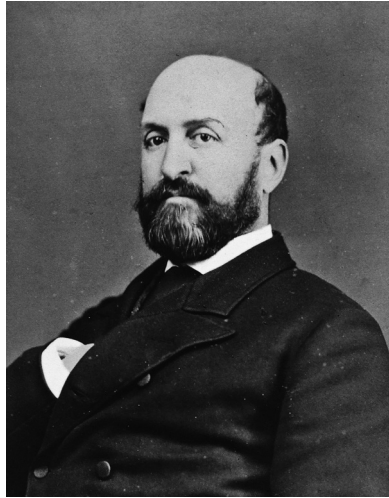
St. George Jackson Mivart (1827-1900), Londra'da koyu dindar bir aileye doğmuştu. Babası uşaklıktan başlayıp yükselerek kentin en büyük otellerinden birinin sahibi olmuştu. Babasının bu pozisyonu, Mivart'a centilmenlik statüsüne erişme fırsatı ve kendi seçimi olan bir kariyere giriş ayrıcalığı tanımıştı. Çağdaşı Charles Darwin gibi, Mivart da doğaya doğuştan tutkundu. Çocukken böcek, bitki ve mineraller biriktirir, sıklıkla ayrıntılı gözlem notları tutar ve sınıflama sistemleri tasarlardı. Kariyerini doğa tarihi alanında yapmak alınına yazılmıştı sanki.

Derken kişisel yaşamının baskın teması girdi araya: otoriteyle mücadele. Mivart onlu yaşlarının başlarında ailesinin Anglikan inancına bağlılığından giderek daha fazla rahatsızlık duymaya başlamıştı. Anne babasını büyük dehşete düşüren bir kararla Katolik oldu. On altı yaşındaki biri için cürekâr sayılabilecek bu geçişin beklenmedik sonuçları olacaktı. O sıralarda İngiliz üniversiteleri Katolikleri almadığından, Mivart'ın Katolik Kilisesi'ne duyduğu bu yeni bağlılık, Oxford ya da Cambridge'e gidemeyeceği anlamına geliyordu. Doğa tarihi alanındaki herhangi bir programa kayıt yaptıramayan Mivart, elindeki tek seçeneğe yönelmek zorunda kaldı: Inns of Court'ta* hukuk eğitimi. Din tercihi burada bir engel oluşturmuyordu. Mivart, böylece avukat oldu.

Mivart'ın fiilen avukatlık yapıp yapmadığı belli değildir ancak doğa tarihinin onda bir tutku olarak kaldığı kesindir. Mivart centilmenlik statüsünden yararlanarak seçkin bilim çevrelerine

* İngiltere ve Galler'deki avukatların bağlı bulunduğu ve tarihsel olarak hukuk eğitimi veren dört farklı kuruluşun oluşturduğu dernek. (ç.n.)

girdi ve zamanın önemli isimleriyle dostluklar kurdu. Bu kişiler arasında en dikkat çekenlerden biri, Thomas Henry Huxley'ydi (1825-95). Kısa süre sonra Darwin'in fikirlerinin önde gelen savunucularından biri haline gelecek olan Huxley, kendi çabalarıyla başarılı bir karşılaştırmalı anatomist konumuna gelmiş ve çevresinde kendisinden öğrenmeye hevesli bir grup toplamıştı. Mivart bu büyük adamın yakın takipçilerinden biri olarak laboratuvarında çalıştı; hatta Huxley'nin aile toplantılarına bile katılır oldu. Huxley'nin gözetiminde, çoğu betimsel de olsa karşılaştırmalı primat anatomisi ile ilgili temel nitelikte çalışmalar ortaya çıkardı. İskeletin bu ayrıntılı açıklamalarından bugün bile yararlanılmaktadır. 1859'da Darwin'in *Türlerin Kökeni* eserinin ilk baskısı yayımlandığında, Mivart da kendini artık Darwin'in bu yeni fikrinin savunucusu saymaktaydı. Bu, büyük ihtimalle Huxley'nin coşkusunun onu da sarmış olmasının bir sonucuydu.



Evrim tartışmasının bütün taraflarını karşısına almayı başaran St. George Jackson Mivart

Ancak gençliğinin Anglikan öğretileriyle olduğu gibi, Mivart Darwin'in fikirleri hakkında da derin kuşkular duymaya başladı, Darwin'in kademeli değişim fikrine düşünsel boyutta karşı çıktı. Düşüncelerini ortalıkta önce tevazuyla, sonraları hararetle dile getirirken, muhalif görüşlerini destekleyen kanıtlar sunarak *Türlerin Kökeni*'ne yanıt niteliğinde bir eser kaleme aldı. Doğru tarihi camiasındaki eski arkadaşlarından iki üç kişi kalmışsa bile onları da Darwin'in başlığından tek sözcükle ayrılan bu eserle kaybedecekti: *On the Genesis of Species*.

Mivart bundan sonra Katolik Kilisesi'nin de başını ağrıtmaya başladı. Kilise dergilerine bakire doğum kavramı ve kilise doktrininin şaşmazlığı düşüncesinin, Darwin'in fikirleri kadar akla aykırı olduğunu yazıyordu. *On the Genesis of Species*'in yayımlanmasıyla Mivart bilim dünyasından fiilen aforoz edilmişti. Yazdıkları, 1900'deki ölümünden altı hafta önce Katolik Kilisesi'nin de onu resmen aforoz etmesine neden oldu.

Mivart'ın Darwin'e karşı çıkışı, Victoria dönemi İngiltere'sinin sahne olduğu entelektüel düellolara bir pencere aralar ve bugün bile birçok kişinin Darwin'in fikirleri karşısında tökezlemesine neden olan bir engeli ortaya koyar. Mivart, saldırısının açılışında kendini üçüncü tekil şahısla ifade etmiş, açık fikirli biri olarak güvenilirliğini ortaya koymayı amaçlayan bir dil kullanmıştı: "Başlangıçta Darwin'in büyüleyici kuramını reddetmek gibi bir eğilim içinde değildi."

Mivart iddiasını, Darwin'in ölümcül kusuru olarak gördüğü durumu ana hatlarıyla açıklayan temel bir bölümle kurmaya başlamıştır. Başlıkla vurgulanan bu kusur, "doğal seçilimin, yararlı yapıların belirmeye başladıkları aşamaları açıklamadaki yetersizliği"dir. Sözcük bakımından hayli kalabalık olan bu başlık, aslında can alıcı bir nokta içerir: Darwin evrimi bir türden diğerine giden yolda sayısız ara aşama içeren bir olgu olarak görüyordu. Evrimin

işlemesi için bu ara aşamalardan her birinin uyumsal (adaptif) olması ve bireyin yaşamsal becerisini artırması gerekiyordu. Mivart'a göre bu ara aşamalar sıklıkla inandırıcılıktan uzak kalıyordu. Uçmanın başlangıcını ele alalım. Kanatların gelişim sürecinde kendini gösteren bir erken aşama, nasıl bir yarar sağlayabilirdi örneğin? Yakın geçmişte kaybettiğimiz paleontolog Stephen Jay Gould, bu meseleyi "kanadın yüzde 2'si problemi" olarak nitelendirmişti: Bir kuş atasında belirecek çok küçük bir kanadın ilgili canlıya herhangi bir yararı olamazdı. Belirli bir noktada hayvanın *süzülmesine* yardımcı olacak boyuta ulaşabilirdi belki ama çok küçük bir kanat, güç kullanımını gerektiren herhangi bir uçuş tipinde kullanılamazdı.

Mivart böylece ara aşamaların akla aykırı görüldüğü örnekleri birbiri arkasına sıralıyordu. Yassı balıklarda iki göz de vücudun bir tarafındaydı, zürafalar uzun boyunlara sahipti, bazı balinaların ağızlarında tarak benzeri çubuklu yapılar vardı, çeşitli böcekler görünümleriyle ağaç kabuğunu taklit ediyorlardı vs. Gözlerdeki küçücük yer değiştirmelerin, boynun uzamasının ya da belli belirsiz renk değişimlerinin nasıl bir yararı olabilirdi? Ya koskoca balinanın sadece ağızlarındaki incecik bir dizi balenle besleniyor olmasına ne demeliydi? Görünüşe bakılırsa evrim, temel nitelikteki herhangi bir dönüşümün uç noktaları arasında sayısız çıkmaz barındırmaktaydı.

Mivart evrimdeki temel geçişlerin tek bir organdaki değişimi değil, vücudun dört bir yanındaki birçok özelliğin uyum içinde değiştiği bir süreci kapsadığı gözlemine dikkat çeken ilk biliminsanlarından biriydi. Havayı soluyacak akciğerlerden yoksun bir canlıda, karada yürümek için bacakların evrimleşmesi neye yarardı? Ya da bir başka örnek olarak kuşlarda uçmanın başlangıcını düşünün. Güç destekli uçuş, birçok farklı icat gerektirir: kanatlar, tüyler, içi boş kemikler, yüksek metabolizma hızı. Kemikleri bir filinki kadar ağır ya da metabolizması bir semenderinki kadar yavaş bir canlıda kanatların evrimleşmesi işe yaramayacaktır. Büyük bir dönüşüm

için bütün vücut değişime uğrayacak ve birçok özellik eşzamanlı olarak değişecekse geçişin temel unsurları nasıl kademeli olarak ortaya çıkabilirdi?

Mivart'ın fikirleri, yayımlanmalarının üzerinden geçen bir buçuk yüzyıl içinde evrimi eleştirenler için mihenk taşı olarak kullanılmakla birlikte, Darwin'in büyük fikirlerinden biri için bir kata-lizör olarak da hizmet etmiştir.

Darwin, Mivart'ı ciddi önemsemeye değer bir eleştirmen olarak görmekteydi. *Türlerin Kökeni* ilk baskısını 1859'da yapmış, Mivart'ın eseri ise 1871'de ortaya çıkmıştı. Darwin *Türlerin Kökeni*'nin 1872'de yapılan altıncı ve nihai baskısına, Mivart'ın başı çektiği eleştirmenlerine yanıt niteliğinde yeni bir bölüm ekledi.

Darwin, Victoria döneminin tartışma geleneğine uygun biçimde, şöyle yapmıştı açılışını: “Mr. Wallace ile ortaya atmış olduğumuz doğal seçim kuramına karşı hem kendim hem başkalarınca şu ana kadar ileri sürülmüş bütün itirazları bir süre önce bir araya getirmiş olan seçkin zoolog Mr. St. George Mivart, bunları takdir edilesi bir ustalık ve güçle gözler önüne sermiştir.” Ve devam ediyordu: “Bu şekilde sunulduklarında, oldukça güçlü ve zorlu bir listeyle karşı karşıya kalırız.”

Ardından kendi örneklerinden bolca sıralayarak desteklediği tek bir ifadeyle Mivart'ın eleştirisine karşılık veriyordu: “Mr. Mivart'ın itirazlarının hepsi, bu ciltte ele alınmış ya da alınacaktır. Birçok okuyucuya çarpıcı geldiği anlaşılan tek yeni nokta, ‘doğal seçilimin, yararlı yapıların belirme aşamalarını açıklamada yetersiz kalışı’dır. Bu konu özelliklerin, sıklıkla da *işlev değişimi* eşliğindeki kademeli gelişimleriyle çok yakından ilişkilidir.”

Son cümledeki bu iki sihirli sözcüğün bilim için taşıdığı önem ne kadar vurgulansa azdır. Bunlar, yaşamın tarihinde gerçekleşmiş temel dönüşümlere bakmanın yeni bir yolunu sunan tohumları taşırlar.