

# EVOLUTION

## فرگشت

(ویکی پدیا)

برگردان و پانویسی

حسین جرجانی

<https://en.wikipedia.org/wiki/Evolution>

Accessed 2021-03-17

تاریخ دستیابی ۱۷ مارس ۲۰۲۱ (۲۸ اسفند ۱۳۹۹)



## Contents

1.....	مقدمه
5.....	تاریخ افکار فرگشتی
5.....	دوران کلاسیک
5.....	قرون وسطی
6.....	پیش‌داروینی
8.....	انقلاب داروینی
9.....	پن‌جنسیس و ثوارث
11.....	'سنن‌ز نوین'
11.....	سنن‌زهای دیگر
13.....	وراثت
16.....	منابع پراکنده
18.....	جهش
20.....	جنسیت و نوترکیبی
21.....	جریان ژنی
24.....	سازوکارها
24.....	گزینش طبیعی
29.....	مفت‌سواری ژنتیکی
30.....	گزینش جنسی
31.....	رانس ژنتیکی
34.....	جریان ژنی
35.....	جهش سوگیرانه
39.....	پیامدها
41.....	سازگاری
45.....	هم‌فرگشتی
46.....	همکاری
47.....	گونه زایی
52.....	گونه‌مرگی
55.....	تاریخ فرگشتی حیات
55.....	پیدایش حیات
56.....	تبار مشترک
58.....	فرگشت زندگی
61.....	کاربرد
63.....	پاسخ‌های اجتماعی و فرهنگی



## Introduction

### مقدمه

**Evolution** is change in the heritable characteristics of biological populations over successive generations.[1][2] These characteristics are the expressions of genes that are passed on from parent to offspring during reproduction. Different characteristics tend to exist within any given population as a result of mutation, genetic recombination and other sources of genetic variation. [3] Evolution occurs when evolutionary processes such as natural selection (including sexual selection) and genetic drift act on this variation, resulting in certain characteristics becoming more common or rare within a population. [4] It is this process of evolution that has given rise to biodiversity at every level of biological organisation, including the levels of species, individual organisms and molecules. [5][6]

فرگشت تغییر مشخصات ارثی جمعیت‌های زیستی در نسل‌های متوالی است.<sup>1</sup> [۱] [۲] این مشخصات، ترجمان ژن‌هایی<sup>2</sup> هستند که در بازآوری از والدین به نتاج {فرزندان} منتقل می‌شوند. مشخصات مختلف در هر جمعیتی، محصول جهش {mutation}، نوترکیبی ژنتیکی {genetic recombination} و سایر عوامل پراکندگی ژنتیکی {genetic variation} هستند. [۳] فرگشت وقتی اتفاق می‌افتد که روندهای فرگشتی مانند گزینش طبیعی (شامل گزینش جنسی<sup>3</sup>) و رانش ژنتیکی روی پراکندگی ژنتیکی اثر کرده، باعث شوند بعضی از مشخصات در درون جمعیت فراوان‌تر یا نادرتر شوند.<sup>4</sup> [۴] این روند فرگشتی است که به گوناگونی زیستی در همه سطوح ساختارهای زیستی، شامل گونه، موجود {organism<sup>5</sup>} واحد، و مولکول‌ها، منجر می‌شود.<sup>6</sup> [۵] [۶]

The scientific theory of evolution by natural selection was conceived independently by Charles Darwin and Alfred Russel Wallace in the mid-19th century and was set out in detail in Darwin's book On the Origin of Species. [7] Evolution by natural selection was first demonstrated by the observation that more offspring

<sup>1</sup> تعریفی که ویکی‌نویسان از فرگشت آورده‌اند {اولین جمله ی بند بالا} یکی از بهترین تعریف‌هایی است که من دیده‌ام. تعریف من از فرگشت چنین است: "فرگشت، مطالعه‌ی پراکندگی زیستی است." و به انگلیسی "Evolution is the study of biological variation". شرح اینکه چرا تعریف خودم از فرگشت را ساخته‌ام، محتاج بحث طولانی‌تری است که در اینجا نمی‌گنجد.

<sup>2</sup> متاسفانه واژه "ژن" به قدری تعریف‌های متفاوت دارد، که من سال‌هاست از آن استفاده نمی‌کنم. در اینجا چون در متن انگلیسی آمده، ناگزیر از استفاده از آن هستم. یکی از واضح‌ترین سوءتفاهم‌ها در باره واژه "ژن" این است که آن را علاوه بر معنی خود "ژن"، در دو معنی متفاوت "جایگاه = locus" و "الل = allele" هم به کار می‌برند که لاجرم از وضوح متن می‌کاهد. توضیح معنی جایگاه و الل در ادامه خواهد آمد.

<sup>3</sup> برای گزینش جنسی تعریف‌های مختلفی وجود دارد. در بعضی تعریف‌ها، گزینش جنسی جزو گزینش طبیعی محسوب نمی‌شود.

<sup>4</sup> ویکی‌نویسان نوشته‌اند که فرگشت وقتی اتفاق می‌افتد که دو روند گزینش طبیعی و رانش ژنتیکی در کار باشند. حدس می‌زنم که ویکی‌نویسان این دو روند را مهم‌تر دیده‌اند. علاوه بر این دو روند، سه روند دیگر هم وجود دارند که یا از آن‌ها اسمی نیامده، و یا فقط به طور ضمنی از آن‌ها اسمی برده شده است. این سه روند دیگر جهش {mutation}، مهاجرت {migration} و روش‌های آمیزش {mating systems} هستند. هر کدام از این پنج روند می‌توانند به تنهایی، و یا همراه با دیگر روندها، به فرگشت بیانجامند.

<sup>5</sup> در فلسفه‌ی علوم زیستی بحث دامنه‌داری برای تعریف "فرد" وجود دارد. دیوید هول {David Hull} استدلال کرده است که گونه {species} یک فرد {individual} است. صرف‌نظر از اینکه دیگران با او موافق باشند یا نه، نظر هول باعث شده که دیگران در استفاده از واژه "فرد" و موجود {organism} دقت بیشتری به خرج دهند و از آن‌ها جوری استفاده نکنند که معنای "گونه" بدهد. متن این مقاله‌ی ویکی‌پدیا، متاسفانه، دقت لازم را ندارد و واژه‌ی "ارگانیسم" را گاهی بعنوان گونه و گاهی به عنوان فرد به کار برده است.

<sup>6</sup> تعداد سطوح ساختارهای زیستی را، که ویکی‌نویسان از سه سطح آن اسم برده‌اند، به ساده‌گی می‌توان افزایش داد. مثلن می‌توان ارگانل‌های درون سلولی، بافت‌ها، ارگان‌های مختلف بدن، جمعیت‌های یک گونه، و مناطق جغرافیایی چند-گونه را هم جزو این سطوح به حساب آورد. این موضوع از این نظر مهم است که "سطح گزینش طبیعی"، یکی از مباحث مورد مناقشه در بین فرگشتیان است.

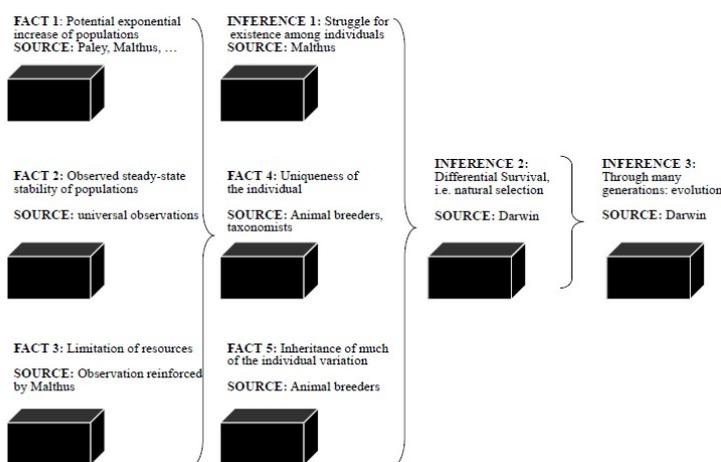
are often produced than can possibly survive. This is followed by three observable facts about living organisms:

نظریه<sup>7</sup> علمی فرگشت با گزینش طبیعی، توسط چارلز رابرت {Charles Darwin} و الفرد راسل والاس {Alfred Russel Wallace}، مستقل از یکدیگر، در میانه قرن ۱۹ مطرح شد و با جزئیات در کتاب داروین "در باره پیدایش گونه‌ها" بیان شد. [۷] فرگشت با گزینش طبیعی در ابتدا، با مشاهده آنکه تعداد نتاجی {فرزندان} که به دنیا می‌آیند بیشتر از آن است که همگی بتوانند زنده بمانند، به نمایش درآمد. سه دانسته‌ی {fact} قابل مشاهده در باره موجودات {organism} زنده وجود دارد:

(1) traits vary among individuals with respect to their morphology, physiology and behaviour (phenotypic variation), (2) different traits confer different rates of survival and reproduction (differential fitness) and (3) traits can be passed from generation to generation (heritability of fitness). [8] Thus, in successive generations members of a population are more likely to be replaced by the progenies of parents with favourable characteristics that have enabled them to survive and reproduce in their respective environments. In the early 20th century, other competing ideas of evolution such as mutationism and orthogenesis were refuted as the modern synthesis reconciled Darwinian evolution with classical genetics, which established adaptive evolution as being caused by natural selection acting on Mendelian genetic variation. [9]

(۱) صفات<sup>۸</sup> افراد مختلف، اعم از صفات ریخت‌شناسی {morphology}، تن‌کارشناسی {physiology} و رفتار {شناسی}، گوناگونی نشان می‌دهند (پراکندگی فنوتیپی)، (۲) صفات مختلف، باعث گوناگونی در میزان ماندگاری {survival} و میزان بازآوری {reproduction} می‌شوند (برازش تفریقی {differential fitness})، و (۳) صفات می‌توانند از نسلی به نسلی دیگر منتقل شوند

<sup>7</sup> ارنست مایر {Ernst Mayr} معتقد است که علی‌رغم تکیه کلام داروین، که مرتب می‌گفت "نظریه من"، نظریه فرگشت داروینی از پنج نظریه مختلف، ولی مرتبط با هم تشکیل شده است: {۱} وجود فرگشت؛ {۲} فرگشت از نیای مشترک؛ {۳} منشا پراکندگی؛ {۴} تدریجی بودن؛ و {۵} گزینش طبیعی. علاوه بر این، مایر با یک تصویر گویا، روند فرگشت را، آنطوریکه داروین احتمالاً می‌فهمیده، نشان داده است (نگاه کنید به شکل زیر).



مایر ادعا نمی‌کند که تصویر بالا از نظر زمانی، مطابق با روند کشف فرگشت توسط داروین است. ولی من این تصویر را گویا می‌دانم. **شرح مبسوط اضافه شود!**

<sup>8</sup> ویکی‌نویسان تا اینجا از واژه "مشخصات" استفاده می‌کردند. اما از این بند استفاده از واژه "صفت" را هم شروع کرده‌اند. اگر من بوم واژه "صفت" را در تمام متن به کار می‌بردم.

وارثت‌پذیری<sup>9</sup> برآزش {heritability of fitness}<sup>10</sup>. [۸] بنابراین، در طی نسل‌های متوالی، احتمالاً بیشتر این است که اعضای یک جمعیت، با نتاج {progeny} والدینی که دارای مشخصات مطلوبی بوده‌اند که آن‌ها را به ماندگاری و بازآوری بیشتر در محیط خود قادر کرده، جایگزین خواهند شد. در اوایل قرن ۲۰ میلادی، ایده‌های رقیب دیگری در باره فرگشت مانند جهش‌انگاری {mutationism} و پیشرفت‌انگاری {orthogenesis} نادرست دانسته شدند و هم‌زمان سنتز نوین {modern synthesis} به آشتی بین فرگشت داروینی و ژنتیک کلاسیک انجامید، که فرگشت سازگاران را به عنوان معلول‌گزینش طبیعی در اثر وجود پراکندگی ژنتیکی مندی، تثبیت کرد<sup>11</sup>. [۹]

All life on Earth shares a last universal common ancestor (LUCA)[10][11][12] that lived approximately 3.5 billion years ago.[13] The fossil record includes a progression from early biogenic graphite,[14] to microbial mat fossils,[15][16][17] to fossilised multicellular organisms. Existing patterns of biodiversity have been shaped by repeated formations of new species (speciation), changes within species (anagenesis) and loss of species (extinction) throughout the evolutionary history of life on Earth.[18] Morphological and biochemical traits are more similar among species that share a more recent common ancestor, and can be used to reconstruct phylogenetic trees.[19][20]

تمام حیات روی زمین دارای یک "آخرین جد مشترک جهانی" (LUCA) است [۱۰] [۱۱] [۱۲] که قریب ۳٫۵ میلیارد سال پیش زندگی می‌کرده است<sup>12</sup>. [۱۳] باقیمانده‌های فسیلی شامل یک توالی از رسوبات زیست‌اندوخت {biogenic} [۱۴] تا فسیل فرش‌های میکروبی {microbial mat} [۱۵] [۱۶] [۱۷]، تا موجودات چندسلولی فسیل شده می‌باشد. الگوهای موجود گوناگونی زیستی {biodiversity} محصول به وجود آمدن مکرر گونه‌های جدید {گونه‌زایی = speciation}، تغییرات درون گونه‌ای {گونه‌گردیسی = anagenesis} و از بین رفتن گونه‌ها {گونه‌مردگی = extinction} در طول تاریخ فرگشتی حیات در زمین است. [۱۸] صفات ریخت‌شناسی {morphology} و زیست‌شیمیایی {biochemistry} در گونه‌هایی که جد مشترک جدیدی دارند، شباهت بیشتری دارند، و می‌توان از آن‌ها برای بازتولید شجره تبارشناسی {phylogenetic} استفاده کرد. [۱۹] [۲۰]

Evolutionary biologists have continued to study various aspects of evolution by forming and testing hypotheses as well as constructing theories based on evidence from the field or laboratory and on data generated by the methods of mathematical and theoretical biology. Their discoveries have influenced not just the development of biology but numerous other scientific and industrial fields, including agriculture, medicine and computer science. [21]

<sup>9</sup> ویکی‌نویسان در این بند از واژه وراثت‌پذیری {heritability} استفاده کرده‌اند. این شکل استفاده از واژه وراثت‌پذیری اشتباه است. به نظر من باید از واژه توارث {inheritance} استفاده می‌کردند.

<sup>10</sup> ویکی‌نویسان تصمیم گرفته‌اند که روند فرگشت داروینی را در ۳ مرحله توضیح بدهند. انتخاب معقول و متعارفی است، ولی کامل‌ترین توضیح نیست. به نظر من تصویری که در ادامه خواهد آمد، توضیح بهتری است.

<sup>11</sup> نظریه‌هایی که رقیب نظریه داروین محسوب شوند خیلی بیشتر از این دو نظریه هستند که ویکی‌نویسان به آنها اشاره کرده‌اند. مهمترین آن‌ها شاید نظریه جهش‌های تصادفی {Neutral mutation theory} از کیمورا {Kimura} و تعادل مقطعی {Punctuated equilibrium} از الدرچ و گولد {Eldredge & Gould} باشند. به نظر من، تئوری کیمورا، کم و بیش برای توضیح پراکنده‌گی‌های در سطح DNA کاربرد دارد و در اساس می‌گوید که کاربرد نظریه فرگشت داروینی و گزینش طبیعی بیشتر در سطح فنوتیپی است و در سطح مولکولی، رانش ژنتیکی و جهش‌های خنثی مهم‌تر هستند. به نظر من نظریه تعادل مقطعی کم و بیش نادرست است و کاربرد محدودی در توضیح شواهد فسیلی دارد. اصرار گولد {ماخذ شماره ۱۶۸} در درست بودن نظریه‌اش در سطح فنوتیپی، به نظر من، ناشی از کمبود اطلاعات او در زمینه ژنتیک و ارتباط ژنتیک با بیوشیمی است.

<sup>12</sup> انتخاب نقطه‌ای در زمان که آن را آغاز حیات بنامیم، کار ساده‌ای نیست. زیرا مشخص نیست که کدام یک از مولکول‌های زیستی را باید آغاز حیات نامید، و یا چه مدت بعد از پیدایش اولین مولکول‌های زیستی، اولین موجوداتی که ساختار سلولی دارند، به وجود آمده‌اند. همچنین به علت تغییرات لایه‌های مختلف سطح زمین، بسیاری از شواهد قدیمی از بین رفته‌اند. بهرجهت ۳٫۵ تا ۳٫۸ میلیارد سال را باید حداقل به حساب آورد.

زیست‌شناسان فرگشتی به مطالعه جنبه‌های پراکنده‌ی فرگشت به وسیله ساخت و آزمون فرضیه‌های مختلف و همچنین ساختن نظریه‌هایی بر پایه شواهدی از طبیعت یا آزمایشگاه و داده‌های بدست آمده از روش‌های ریاضی و نظریه‌های زیست‌شناسانه، ادامه می‌دهند. کشفیات آنها نه تنها بر توسعه زیست‌شناسی، بلکه بر زمینه‌های دیگر علمی و صنعتی، مانند کشاورزی، پزشکی و علوم رایانه‌ای، اثر گذاشته است. [۲۱]

## History of evolutionary thought

### تاریخ افکار فرگشتی

#### Classical times

##### دوران کلاسیک

The proposal that one type of organism could descend from another type goes back to some of the first pre-Socratic Greek philosophers, such as Anaximander and Empedocles. [23] Such proposals survived into Roman times. The poet and philosopher Lucretius followed Empedocles in his masterwork *De rerum natura* (*On the Nature of Things*). [24][25]

پیشنهاد اینکه یک نوع از موجود بتواند از نوع دیگری تبار پیدا کند به فیلسوفان پیش-سقراطی یونان، مثل اناکسیمندر {Anaximander} و امپدوکلس {Empedocles} برمی گردد. [۲۳] چنین پیشنهادهایی تا زمان رومیان نیز باقی ماندند. لوکرتیوس {Lucretius}، شاعر و فیلسوف، نظرات امپدوکلس را در کتاب خود "در باره طبیعت چیزها" (*De rerum natura*) دنبال کرد. [۲۴] [۲۵]



Lucretius  
لوکرتیوس

#### Medieval

##### قرون وسطی

In contrast to these materialistic views, Aristotelianism considered all natural things as actualisations of fixed natural possibilities, known as forms. [26][27] This was part of a medieval teleological understanding of nature in which all things have an intended role to play in a divine cosmic order. Variations of this idea became the standard understanding of the Middle Ages and were integrated into Christian learning, but Aristotle did not demand that real types of organisms always correspond one-for-one with exact metaphysical forms and specifically gave examples of how new types of living things could come to be. [28]

در مقابل این نقطه نظرهای ماده‌گرایانه، مکتب ارسطو تمام چیزهای طبیعی را به جلوه درآمدن ممکن‌های ثابت طبیعی {fixed natural possibilities}، یا "ریخت = شکل = form" در نظر می‌گرفت. [۲۶] [۲۷] این برداشت، بخشی از فهم غایت‌گرایانه

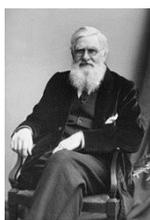
قرون وسطا بود که در آن هر چیزی نقشی غایی را در یک نظم کیهانی الهی بازی می‌کرد. این ایده، در شکل‌های گوناگون، به فهم عادی قرون وسطا تبدیل شد و جزئی از آموزش‌های مسیحی گردید. اما ارسطو، اجباری در اینکه انواع<sup>13</sup> واقعی {real types} موجودات همیشه رابطه تک-به-تک با شکل‌های ماوراطبیعی داشته باشند، نمی‌دید و بطور خاص، مثال‌هایی از چگونگی به وجود آمدن موجودات زنده عرضه کرده بود<sup>14</sup>. [۲۸]

## Pre-Darwinian

### پیش‌داروینی

In the 17th century, the new method of modern science rejected the Aristotelian approach. It sought explanations of natural phenomena in terms of physical laws that were the same for all visible things and that did not require the existence of any fixed natural categories or divine cosmic order. However, this new approach was slow to take root in the biological sciences, the last bastion of the concept of fixed natural types. John Ray applied one of the previously more general terms for fixed natural types, "species", to plant and animal types, but he strictly identified each type of living thing as a species and proposed that each species could be defined by the features that perpetuated themselves generation after generation.[29] The biological classification introduced by Carl Linnaeus in 1735 explicitly recognised the hierarchical nature of species relationships, but still viewed species as fixed according to a divine plan.[30]

در قرن ۱۷، روش جدید علم نوین رویکردهای ارسطویی را مردود شمرد. علم نوین در پی توضیح پدیده‌های طبیعی در قالب قوانین فیزیکی بود که در مورد همه چیزهای قابل دیدن مصداق داشت و احتیاجی به وجود دسته‌بندی‌های ثابت طبیعی {fixed natural categories} یا نظم کیهانی الهی نداشت. اما این رویکرد جدید به کندی در علوم زیستی، که آخرین قلعه مفهوم انواع ثابت طبیعی بود، ریشه دوانید. جان ری {John Ray} یکی از اصطلاح‌های عمومی گذشته برای انواع ثابت طبیعی، "گونه" {species}، را برای انواع گیاهان و حیوانات، به کار برد. اما او با وسواس، هر نوع از موجودات زنده را به عنوان گونه شناسایی کرد و پیشنهاد داد که هر گونه می‌تواند، با ویژگی‌هایی که خود را از نسلی به نسلی دیگر ترویج می‌دهند، تعریف شود. [۲۹] رده‌بندی زیست‌شناسانه‌ی پیشنهادی کارل لینه {Carl Linnaeus} در سال ۱۷۳۵ به طور خاص، سلسله مراتب طبیعی ارتباط گونه‌ها را به رسمیت شناخت، اما گونه را مطابق یک طرح الهی، ثابت می‌دید. [۳۰]



Alfred Russel Wallace

الفرد راسل والاس<sup>15</sup>

<sup>13</sup> واژه نوع "type" را در مفهوم فلسفی آن در نظر بگیرید.

<sup>14</sup> من اگر بودم، به شرح بزرگترین رقیب فلسفی داروین که ذات‌گرایی {essentialism} افلاطونی است، می‌پرداختم. امروز هم، بسیاری از سوءتفاهم‌ها از فرگشت به همین ذات‌گرایی بر می‌گردد. نظریه داروین در حقیقت مرگ ذات‌گرایی است. آنچه را که همه ذات‌گرایان، از افلاطون تا امروز، ذات {essence} خوانده‌اند و غیرقابل تغییر {Immutable} میدانسته‌اند، از نظر داروین تغییرپذیر است.

<sup>15</sup> از لحاظ زمانی درست نیست که عکس پیری والاس را قبل از عکس جوانی داروین قرار داد. والاس ۱۴ سال بعد از داروین به دنیا آمده بود.

Other naturalists of this time speculated on the evolutionary change of species over time according to natural laws. In 1751, Pierre Louis Maupertuis wrote of natural modifications occurring during reproduction and accumulating over many generations to produce new species.[31] Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon suggested that species could degenerate into different organisms, and Erasmus Darwin proposed that all warm-blooded animals could have descended from a single microorganism (or "filament").[32] The first full-fledged evolutionary scheme was Jean-Baptiste Lamarck's "transmutation" theory of 1809,[33] which envisaged spontaneous generation continually producing simple forms of life that developed greater complexity in parallel lineages with an inherent progressive tendency, and postulated that on a local level, these lineages adapted to the environment by inheriting changes caused by their use or disuse in parents.[34] (The latter process was later called Lamarckism.) [34][35][36] These ideas were condemned by established naturalists as speculation lacking empirical support. In particular, Georges Cuvier insisted that species were unrelated and fixed, their similarities reflecting divine design for functional needs. In the meantime, Ray's ideas of benevolent design had been developed by William Paley into the *Natural Theology or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity* (1802), which proposed complex adaptations as evidence of divine design and which was admired by Charles Darwin.[37][38]

طبیعی‌دانان دیگر این دوره، حدس‌هایی را در باره تغییرات فرگشتی گونه‌ها در طول زمان بر اساس قوانین طبیعی<sup>16</sup>، ارائه کردند. در سال ۱۷۵۱، پیر لویی ماورپرتیوس {Pierre Louis Maupertuis} در مورد پیرایش طبیعی در طول بازآوری، و تجمع این پیرایش‌ها در طی نسل‌های فراوان، برای تولید گونه‌های جدید، مطالبی نوشت. [۳۱] نظر ژرژ- لویی لکلرک، کنت بوفون {Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon}، این بود که گونه‌ها می‌توانند به موجودات متفاوتی تقلیل یابند، و ارساموس داروین<sup>17</sup> {Erasmus Darwin} پیشنهاد داد که تمام جانوران خون‌گرم می‌توانند از یک میکروموجود {microorganism} (یا "رشته"ی) واحد تبار یافته باشند. [۳۲] اولین طرح<sup>18</sup> تمام عیار فرگشتی، تئوری تراجهشی {transmutation} ژان-بابتیست لامارک {Jean-Baptiste Lamarck} در سال ۱۸۰۹ [۳۳] بود که تصور می‌کرد زایش خودجوش<sup>19</sup> {خلق الساعه = spontaneous generation} دائم شکل‌های ساده حیات را به وجود می‌آورد. به نظر او شکل‌های ساده در دودمان {lineages}های موازی، با تمایل ذاتی فزاینده‌ای، به پیچیدگی بیشتر می‌انجامند. او همچنین فرض می‌کرد که در هر دودمانی، تغییرات ناشی از استفاده یا عدم استفاده‌ی والدین از اعضا، به فرزندان به ارث می‌رسد [۳۴] و با محیط خود سازگاری پیدا می‌کند (چیزی که بعدها لامارکیسم خوانده شد). [۳۴] [۳۵] [۳۶] نظرات لامارک توسط طبیعی‌دانان جاافتاده، به دلیل نداشتن پشتوانه تجربی، خیال‌بافی قلمداد شدند. بطور مشخص، ژرژ کوویه {Georges Cuvier} اصرار داشت که گونه‌ها ثابت هستند، با هم

<sup>16</sup> به نظر من استفاده از واژه قانون {law}، مخصوصن در زیست‌شناسی، مناسب نیست. این واژه تصویری جزم‌گرایانه را به ذهن می‌آورد که در قرون ۱۵ تا ۱۹ رواج داشت. امروزه روز، بهتر است واژه قانون را فقط در زمینه "حقوق" به کار برد.

<sup>17</sup> البته "گیرم پدر تو بود فاضل ..."، اما ارساموس داروین پذیرزگ چارلز داروین بود.

<sup>18</sup> به نظر می‌رسد که ویکی‌نویسان در بکار بردن کلماتی که ممکن است در فلسفه و مخصوصا فلسفه علم معنی خاصی داشته باشد، دقیق نیستند و آن‌ها را با کلمات معمولی مخلوط میکنند. استفاده از واژه‌ی "scheme" که من به "طرح" ترجمه کردم، فقط یکی از این بی‌دقتی‌هاست.

<sup>19</sup> نظریه زایش خودجوش {spontaneous generation}، تولید هر گونه موجود زنده از مواد غیرزنده را در بر می‌گرفت. لویی پاستور {Louis Pasteur} از یک آزمایش معروف یک نتیجه درست و یک نتیجه غلط گرفت. آزمایش او از این قرار بود. پاستور در سال ۱۸۵۹ نشان داد که اگر آب‌گوشت {broth} را بجوشاند و دسترسی هوا به آب‌گوشت را محدود کند، باکتری‌ها، در کوتاه مدت نمی‌توانند آب‌گوشت را فاسد کنند. نتیجه‌گیری درست او آن بود که فساد مواد غذایی محصول رشد باکتریایی است، و باکتری‌ها در اثر حرارت از بین می‌روند. علاوه بر آن، دور نگه داشتن مواد غذایی از جریان هوا، به طولانی‌تر سالم ماندن مواد غذایی کمک می‌کند. نتیجه‌گیری غلط آن بود که پاستور ادعا کرد که "زایش خودجوش" نمی‌توانسته باعث شروع حیات در زمین در طی یک روند طبیعی باشد. بنابراین با این نتیجه‌گیری غلط به صف مخالفان داروین و فرگشت پیوست. برای من، این آزمایش، درس‌های زیادی دارد. مهمترین این درس‌ها آن است که هر آزمایشی اهداف، و مهمتر از آن حوزه {scope} خود را دارد. تسری و تعمیم نتایج یک آزمایش، به حوزه‌هایی که آن آزمایش برای آن‌ها طراحی نشده، کار اشتباهی است. در چشم من، پاستور با این نتیجه‌گیری غلط، فهم پیدایش حیات روی زمین را به تاخیر انداخت. برای اینکه معلوم شود که نتیجه‌گیری پاستور در مورد شروع حیات در زمین غلط بوده، بشر باید ۹۳ سال صبر می‌کرد تا آزمایش میلر-یوری {Miller-Urey} نشان بدهد که شروع حیات در زمین، و از مواد بی‌جان، در شرایط اولیه زمین بسیار هم واقع‌گرایانه بوده است.

خوبشاوندی ندارند و شباهت‌های آن‌ها ناشی از طرح الهی برای نیازهای کاربردی است<sup>20</sup>. همزمان نظرات جان ری در مورد طرحی خیراندیشانه توسط ویلیام پیلی {William Paley} به "الاهیات طبیعی، یا شواهد وجود و صفات ربوبی" (۱۸۰۲) گسترش داده شد، که سازگاری پیچیده را، که داروین هم تحسین می‌کرد، به عنوان سندی برای طرح الهی ارائه نمود. [۳۷] [۳۸]



In 1842, Charles Darwin penned his first sketch of *On the Origin of Species*. [22]  
در سال ۱۸۴۲ چالرز داروین اولین پیش‌نویس کتاب در باره پیدایش گونه‌ها تهیه کرد [۲۲].

## Darwinian revolution

### انقلاب داروینی

The crucial break from the concept of constant typological classes or types in biology came with the theory of evolution through natural selection, which was formulated by Charles Darwin in terms of variable populations. Darwin used the expression "**descent with modification**" rather than "evolution". [39] Partly influenced by *An Essay on the Principle of Population* (1798) by Thomas Robert Malthus, Darwin noted that population growth would lead to a "struggle for existence" in which favourable variations prevailed as others perished. In each generation, many offspring fail to survive to an age of reproduction because of limited resources. This could explain the diversity of plants and animals from a common ancestry through the working of natural laws in the same way for all types of organism. [40][41][42][43] Darwin developed his theory of "natural selection" from 1838 onwards and was writing up his "big book" on the subject when sent him a version of virtually the same theory in 1858. Their separate papers were Alfred Russel Wallace presented together at an 1858 meeting of the Linnean Society of London. [44] At the end of 1859, Darwin's publication of his "abstract" as *On the Origin of Species* explained natural selection in detail and in a way that led to an increasingly wide acceptance of Darwin's concepts of evolution at the expense of alternative theories. Thomas Henry Huxley applied Darwin's ideas to humans, using paleontology and comparative

---

<sup>20</sup> من اساساً نمی‌فهمم چرا یک نظریه {مثلن لامارکیسم} که با شواهد مختلف ابطال شده، باید در متن ویکی‌پدیا بیاید. توضیح نظریه‌های ابطال شده برای غیر متخصصین به سرگیجی می‌انجامد. از آن بدتر، شرح "دلایل غلط" {مثل آنچه از کوویه نقل می‌شود}، برای رد "نظریه‌های غلط" است. توضیح اینکه چرا لامارک اشتباه می‌کرده احتیاج به فهم آزمایشات وایزمن {Weismann} در دهه ۱۸۸۰ و وادینگتون {Waddington} در دهه ۱۹۵۰ و ژنتیک نوین دارد.

anatomy to provide strong evidence that humans and apes shared a common ancestry. Some were not have a special place in the universe.[45] disturbed by this since it implied that humans did

گسست مهم از مفهوم گروه‌های ثابت ریختی یا نوع‌ها در زیست‌شناسی با نظریه فرگشت از طریق گزینش طبیعی شکل گرفت، که چارلز داروین آنرا بر حسب جمعیت‌های پراکن {variable}، شکل داده بود. داروین از اصطلاح "تبار با پیرایش"<sup>21</sup> {descent with modification} و نه "فرگشت" {evolution}، استفاده کرد.<sup>22</sup> [۳۹] داروین تا حدودی تحت تاثیر کتاب تامس رابرت ملتوس {Thomas Robert Malthus} به نام "مقاله‌ای درباره اصل جمعیت" (۱۷۹۸) بوده است.<sup>23</sup> داروین به این توجه داشت که رشد جمعیت به "تلاش برای بایش" {struggle for existence}<sup>24</sup> می‌انجامد که در آن پراکندگی‌های مطلوب<sup>25</sup> چیره<sup>26</sup> می‌شوند. در هر نسل، تعداد زیادی از نتاج {offspring} به علت کمبود منابع قادر به ماندگاری به سن بازآوری نیستند. این امر می‌تواند گوناگونی {diversity} گیاهان و جانوران از جد مشترک را، از طریق اثر قانون‌های طبیعی که اثر مشابهی بر همه انواع موجودات دارد، توضیح دهد. [۴۰] [۴۱] [۴۲] [۴۳] داروین از سال ۱۸۳۸ نظریه خود "گزینش طبیعی" را توسعه داد و در کار نوشتن "کتاب بزرگ" خود بود که الفرد راسل والاس نسخه‌ای تقریباً همسان با نظریه داروین را در سال ۱۸۵۸ برای او فرستاد. مقالات جداگانه این دو نفر در یکی از جلسه‌های انجمن لینه لندن در سال ۱۸۵۸ ارائه شد. [۴۴] در پایان ۱۸۵۹ داروین در "خلاصه" کتاب خود به نام "درباره پیدایش گونه‌ها"، گزینش طبیعی را با جزئیات توضیح داد که به قبول گسترده مفهوم داروینی فرگشت در مقابل نظریه‌های دیگر انجامید. تامس هنری هاکسلی {Thomas Henry Huxley}<sup>27</sup> نظریه‌های داروین را در مورد انسان به کار برد و با استفاده از دیرینه‌شناسی و کالبدشناسی تطبیقی شواهدی فراهم کرد که نشان از نیای مشترک بین انسان‌ها و میمون‌ها داشت. عده‌ای از این امر آزرده شدند زیرا این شواهد حکایت از این داشت که انسان جایگاه ویژه‌ای در جهان ندارد.<sup>28</sup> [۴۵]

## Pangenesi and heredity

### پن‌جنسیس و توارث

The mechanisms of reproductive heritability and the origin of new traits remained a mystery. Towards this end, Darwin developed his provisional theory of pangenesi.[46] In 1865, Gregor Mendel reported that

<sup>21</sup> "تبار با پیرایش = descent with modification" امروز هم یکی از کوتاه‌ترین و بهترین تعریف‌ها است.  
<sup>22</sup> همان‌طوری که در ایران به اصطلاح "تکامل" ایراداتی وارد شده است، در انگلیسی هم واژه "evolution" خالی از اشکال نیست. البته واژه "تکامل" اشکالات بیشتری نسبت به "evolution" دارد. واژه جدید "فرگشت" به نظر بهتر می‌آید، هر چند که تناسب زیادی با زبان روزمره ندارد (و همین شاید نکته مثبتی برای "فرگشت" باشد).

<sup>23</sup> مطابق یادداشت‌های باقیمانده از داروین، او در روز ۲۸ سپتامبر ۱۸۳۸ شروع به خواندن کتاب کوتاه ملتوس کرد و ۷ روز بعد در ۴ اکتبر خواندن آن را به پایان رساند. داروین در طول این ۷ روز به طرح کلی "تبار با پیرایش" رسید. آن نسخه‌هایی از کتاب ملتوس که من دیده‌ام، بسته به اندازه کاغذ و حروف بکار رفته، حدود بین ۸۰ تا ۱۳۰ صفحه است. این که داروین خواندن کتاب را ۷ روز طول داده، شاید نشانه این باشد که در حین خواندن، مقدار زیادی وقت برای جانداختن مطالب گذاشته باشد.

<sup>24</sup> اصطلاح "تلاش برای بایش = struggle for existence" را در ایران / فارسی بدون استثنا "تنازع بقا" ترجمه کرده‌اند. در حالی که در واژه‌نامه‌ها واژه‌ی "struggle" را بیشتر، مبارزه و تقلا و تلاش معنی می‌کنند، تا "تنازع" به معنی جنگ. اصطلاح "تنازع بقا"، اگرچه از میانه قرن ۱۹ تا میانه قرن بیستم رایج بوده، از فهم داروین و از برداشت امروزی از فرگشت دور است. از آن‌جایی که بیشترین مقدار "از بین رفتن‌ها" درون گروهی و بدون خونریزی است، فکر می‌کنم "تلاش برای بایش" بهتر از "تنازع بقا" است.

<sup>25</sup> به کار بردن واژه "مطلوب" به تنهایی در اینجا به دو دلیل نامناسب است. اول آنکه نوعی از قضاوت ارزشی در واژه‌ی "مطلوب" نهفته است. تو گویی کسی از بیرون تعیین می‌کند که چه چیزی "مطلوب" و چه چیزی "نامطلوب" است. دوم آنکه هر واژه‌ای در اینجا بکار رود، باید مشخص شود که بحث راجع به یک امر موضعی و موقتی است. آن صفتی که در این محل و این نسل تواتر بالاتری پیدا می‌کند، در محل و نسلی دیگر ممکن است به تواتر پایین‌تر بیانجامد.

<sup>26</sup> منظور از چیره شدن، بالا رفتن تواتر است.

<sup>27</sup> هاکسلی بعد از مدتی به خاطر دفاع جانانه و تهاجمی از نظریه‌های داروین به "بولداگ داروین = Darwin's bulldog" معروف شد.

<sup>28</sup> اینکه "انسان جایگاه ویژه‌ای در جهان ندارد"، مطلبی نبود که داروین در مورد آن با صراحت سخن گفته باشد. ولی هر کس توضیحات "مکانیکی و دینامیکی" داروین را می‌شنید، خود به خود، همین نتیجه را می‌گرفت. یک نتیجه دیگر که دیگران می‌گرفتند این بود که در دنیای داروینی همه چیز بهم‌ریخته و تصادفی بود و در آن از "نظم الهی" خبری نبود.

traits were inherited in a predictable manner through the independent assortment and segregation of elements (later known as genes). Mendel's laws of inheritance eventually supplanted most of Darwin's pangenesis theory.[47] August Weismann made the important distinction between germ cells that give rise to gametes (such as sperm and egg cells) and the somatic cells of the body, demonstrating that heredity passes through the germ line only. Hugo de Vries connected Darwin's pangenesis theory to Weismann's germ/soma cell distinction and proposed that Darwin's pangenes were concentrated in the cell nucleus and when expressed they could move into the cytoplasm to change the cell's structure. De Vries was also one of the researchers who made Mendel's work well known, believing that Mendelian traits corresponded to the transfer of heritable variations along the germline.[48] To explain how new variants originate, de Vries developed a mutation theory that led to a temporary rift between those who accepted Darwinian evolution and biometricians who allied with de Vries.[49][50] In the 1930s, pioneers in the field of population genetics, such as Ronald Fisher, Sewall Wright and J. B. S. Haldane set the foundations of evolution onto a robust statistical philosophy. The false contradiction between Darwin's theory, genetic mutations, and Mendelian inheritance was thus reconciled.[51]

مکانیسم‌های وارثت پذیری<sup>29</sup> بازآوری و پیدایش صفات جدید به صورت معما باقی ماند. داروین برای حل این مشکل نظریه موقت پن‌جنسیس {pangeneses} را ارائه داد<sup>30</sup>. [۴۶] در سال ۱۸۶۵ گریگور مندل {Gregor Mendel} گزارش کرد که انتقال صفات به صورتی قابل پیش‌بینی از طریق تفکیک مستقل {independent assortment} و تفریق {segregation} عناصر {ارثی} صورت می‌گیرد (که بعدها ژن نامیده شدند). قوانین توارث مندل نهایتن جایگزین پیشینه‌ی بخش‌های نظریه پن‌جنسیس داروین شد. [۴۷] آوگوست وایزمن بین سلول‌های جنسی که به تولید گامت‌ها (مانند اسپرم و تخمک) می‌انجامند و سلول‌های جسمی بدن تفکیک قائل شد، و نشان داد که وراثت فقط از طریق سلول‌های جنسی صورت می‌گیرد. هوگو دوریس {Hugo de Vries} نظریه پن‌جنسیس داروین را با تفکیک وایزمن بین سلول‌های جنسی و جسمی به هم ارتباط داد و پیشنهادی مبنی بر تجمع پن‌جن‌های داروینی در هسته سلول را مطرح کرد. به پیشنهاد او وقتی پن‌جن‌ها بروز می‌کردند، آن‌ها از هسته سلول به سیتوپلاسم حرکت می‌کردند تا ساختار سلول را تغییر دهند. دوریس همچنین یکی از محققانی بود که نتایج مندل را به شهرت رساند، و معتقد بود که صفات مندلی با انتقال تغییرات ارثی به وسیله سلول‌های جنسی مطابقت دارند<sup>31</sup>. [۴۸] دوریس برای تشریح چگونگی پیدایش پراکند {variant}‌های جدید نظریه جهش را پایه گذاشت، که باعث شکافی موقتی بین دو گروه شد: کسانی که فرگشت داروینی را پذیرفته بودند و متخصصین بیومتری که با دوریس متحد شده بودند<sup>32</sup>. [۴۹] [۵۰] در سال‌های ۱۹۳۰ پیشگامان رشته ژنتیک جمعیت مانند رونالد {ایلمر} {Fisher} {Ronald Aylmer}، سیوال رایت {Sewall Wright} و جی. بی. اس. هلدین {J. B. S. Haldane} فرگشت بر مبنای فلسفه قدرتمند آمار را پایه‌ریزی کردند<sup>33</sup>. به این ترتیب، تناقض ظاهری نظریه داروین، جهش ژنتیکی و توارث مندلی را با دستاوردهای خود حل کردند. [۵۱]

<sup>29</sup> به کار بردن واژه "heritability" در اینجا نشان می‌دهد که ویکی‌نویسان از بار مفهومی این واژه در ژنتیک کنی اطلاعی ندارند. "وراثت‌پذیری" یک مفهوم پیچیده است که یک تعریف "مفهومی" {conceptual} و حداقل ۴ تعریف "اجرایی" {operational} دارد. تعریف مفهومی وراثت‌پذیری عبارت است از "رگرسیون ارزش اثر افزایشی ژنی بر ارزش فنوتیپی در یک جمعیت". فعلا از ارائه تعریف‌های اجرایی خودداری می‌کنم تا درازگویی نشود.  
<sup>30</sup> از دید من، مقاله‌ای ویکی‌پدیایی درباره فرگشت، لازم نیست به شرح تاریخ نظریه‌های از اعتبار افتاده ژنتیکی بپردازد.  
<sup>31</sup> هوگو دوریس، که خود را بسیار پیرو داروین می‌دانست، برای احترام به داروین واژه داروین-ساخته پن‌جنسیس را اول به پن‌جین {pangene} و بعد جین {gene} [ژن] خلاصه کرد.

<sup>32</sup> اشاره به حمایت متخصصین بیومتریکی از دوریس بطور واضحی یک سوءتفاهم است و ویکی‌نویسان دچار بدفهمی شده‌اند. به علاوه، منبع شماره ۵۰ چیزی در این مورد ندارد. ماخذ شماره ۴۹ (فصل ۲ و ۳) به وضوح شرح می‌دهد که دو طرف دعوی فرگشتی که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۱۸ در جریان بود، "مندلی"‌ها و "بیومتریست"‌ها بودند. دوریس محققن یکی از "مندلی"‌ها بوده است و هیچ بیومتریستی با او همفکری نداشت.  
<sup>33</sup> در این زمینه اولین مقاله ی فیشر در ۱۹۱۸، اولین مقاله ی رایت در ۱۹۲۱ و اولین مقاله ی هلدین در ۱۹۲۴ منتشر شدند. بنابراین گفتن "سال‌های ۱۹۲۰" صحیح‌تر است.

## The 'modern synthesis'

### 'سنتز نوین'

In the 1920s and 1930s, the so-called modern synthesis connected natural selection and population genetics, based on Mendelian inheritance, into a unified theory that applied generally to any branch of biology. The modern synthesis explained patterns observed across species in populations, through fossil transitions in palaeontology.[51]

در سال‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ سنتز نوین {modern synthesis} گزینش طبیعی و ژنتیک جمعیت را، بر پایه توارث مندلی، در یک نظریه واحد به هم وصل کرد تا بتواند در هر زمینه از زیست‌شناسی به کار رود. سنتز مدرن الگوهای مشاهده شده در گونه‌های مختلف در جمعیت را از طریق توالی فسیل‌ها در دیرینه‌شناسی توضیح دهد<sup>34</sup>. [۵۱]

## Further syntheses

### سنتزهای دیگر

Since then, the modern synthesis has been further extended in the light of numerous discoveries, to explain biological phenomena across the full and integrative scale of the biological hierarchy, from genes to populations.[52]

از آن موقع {احتمالاً منظور سال‌های ۱۹۳۰ به بعد است} سنتز نوین در پرتو کشف‌های فراوان گسترش پیدا کرده، تا تشریح پدیده‌های زیستی را در همه سطح‌های سلسله مراتب زیستی، از ژن تا جمعیت، انجام دهد. [۵۲]

The publication of the structure of DNA by James Watson and Francis Crick with contribution of Rosalind Franklin in 1953 demonstrated a physical mechanism for inheritance.[53] Molecular biology improved understanding of the relationship between genotype and phenotype. Advances were also made in phylogenetic systematics, mapping the transition of traits into a comparative and testable framework through the publication and use of evolutionary trees. [54] In 1973, evolutionary biologist Theodosius Dobzhansky penned that "nothing in biology makes sense except in the light of evolution," because it has brought to light the relations of what first seemed disjointed facts in natural history into a coherent explanatory body of knowledge that describes and predicts many observable facts about life on this planet.[55]

انتشار ساختار مولکولی DNA توسط جیمز واتسون {James Watson} و فرنسیس کریک {Francis Crick} با مشارکت رزالیند فرنکلین<sup>35</sup> {Rosalind Franklin} در سال ۱۹۵۳ ساز و کار مادی توارث را نشان داد<sup>36</sup>. [۵۳] زیست‌شناسی مولکولی درک رابطه بین ژنوتیپ و فنوتیپ را بهبود بخشید. همچنین در زمینه رده‌بندی تبارشناسانه پیشرفت‌هایی حاصل شد، که گذار از مطالعه صفت‌ها به مقایسه تطبیقی را تسهیل کرده و چهارچوبی آزمون‌پذیر را از طریق انتشار و استفاده از شجره‌های فرگشتی [۵۴]

---

<sup>34</sup> خیلی خنده‌دار است که ویکی‌نویسان برای موضوع مهمی مثل "سنتز نوین" فقط ۴ خط نوشته‌اند.  
<sup>35</sup> برعکس! اگر قرار باشد کسی در کار دیگری "مشارکت" کرده باشد، واتسون و کریک هستند که در کار فرنکلین "مشارکت" کرده‌اند. اول این که، کار اصلی را در آزمایشگاه‌ها، دانشجویان دوره دکترا انجام داده بودند. دوم اینکه یکی از دانشجویان روزالیند فرنکلین اولین فردی بوده که از DNA، آن عکس معروف را گرفت. مردسالاری در جامعه علمی هم وجود داشته و دارد و "حق" زنان زیادی در علم پایمال شده است. روزالیند فرنکلین تنها یکی از این زنان است.

<sup>36</sup> کاشفین ساختار مولکول DNA "مکانیسم توارث" را نشان ندادند، بلکه فقط ساختار این مولکول را نشان دادند.

میسر ساخت. در سال ۱۹۷۳، زیست‌شناس فرگشتی تئودوسیوس دوبژنسکی {Theodosius Dobzhansky} نوشت که "هیچ چیز در زیست‌شناسی معقول به نظر نمی‌آید مگر در پرتو فرگشت"<sup>37</sup> زیرا فرگشت نوری بر ارتباط بین دانسته‌های تاریخ طبیعی که در ابتدا متفرق به نظر می‌رسیدند انداخته است و آن‌ها را در مجموعه‌ای منسجم از دانش توضیحی ترکیب نموده و بسیاری از دانسته‌های {facts} قابل مشاهده از حیات بر روی زمین را پیش‌بینی می‌کند. [۵۵]

One extension, known as evolutionary developmental biology and informally called "evo-devo," emphasizes how changes between generations (evolution) acts on patterns of change within individual organisms (development). [56][57] Since the beginning of the 21st century and in light of discoveries made in recent decades, some biologists have argued for an extended evolutionary synthesis, which would account for the effects of non-genetic inheritance modes, such as epigenetics, parental effects, ecological inheritance and cultural inheritance, and evolvability. [58][59]

یک افزونه، به نام زیست‌شناسی فرگشتی رشد، که به صورت غیر رسمی "رشدگشت" {evo-devo}<sup>38</sup> خوانده می‌شود، بر اینکه تغییرات بین نسل‌ها (فرگشت) چگونه بر الگوی تغییرات درون یک نمونه از موجودات (رشد) اثر می‌گذارد، تاکید دارد. [۵۶] [۵۷] از شروع قرن ۲۱ و در پرتو کشف‌های دهه‌های اخیر، برخی زیست‌شناسان برای ایجاد سنتز افزونی فرگشت {extended evolutionary synthesis}، که می‌تواند توضیح اثرهای غیرژنتیکی، مانند اپیژنتیک {epigenetic}، اثر والدین، توارث بوم‌شناسانه و توارث فرهنگی و فرگشت‌پذیری را در بر بگیرد، استدلال کرده‌اند<sup>39</sup>. [۵۸] [۵۹]

---

<sup>37</sup> با یک مراجعه ساده به لیست ماخذهای این مقاله می‌توانید ببینید که دوبژنسکی این جمله معروف خود در مقاله‌ای در مجله آموزگاران زیست‌شناسی نوشته است.

<sup>38</sup> اصطلاح "evo-devo" آنچنان هم غیررسمی نیست و در مقاله‌ها و کتاب‌های علمی به فراوانی دیده می‌شود. در ماخذ شماره ۵۷ هیچ اسمی از "evo-devo" نیامده. بطور کلی، محققان مختلف ممکن است تعریف‌های مختلفی از "evo-devo" داشته باشند و بعضی تعریف‌ها هم ممکن است افراطی باشند. بهر جهت بعید میدانم که اویز {Avisé} و ایالا {Ayala}، مثل خود من، نظر خوشی به "evo-devo" در شکل افراطی‌اش داشته باشند.

<sup>39</sup> به نظر من برای برخی زمینه‌های نامبرده شده در جمله آخر این بند، هنوز شواهد کافی وجود ندارد. همچنین برخی از شواهد ادعایی ممکن است در واقع امر "سرابی" {artefact} باشند.

## وراثت

Evolution in organisms occurs through changes in heritable traits—the inherited characteristics of an organism. In humans, for example, eye colour is an inherited characteristic and an individual might inherit the "brown-eye trait" from one of their parents.[60] Inherited traits are controlled by genes and the complete set of genes within an organism's genome (genetic material) is called its genotype. [61]

فرگشت در موجودات از طریق تغییر صفت‌های قابل ارث به وقوع می‌پیوندد – منظور مشخصات به ارث رسیده یک موجود است.<sup>40</sup> برای مثال در انسان‌ها، رنگ چشم یک مشخصه ارثی است و یک فرد ممکن است "صفت رنگ چشم قهوه‌ای" را از یکی از والدین به ارث برده باشد<sup>41</sup>. [۶۰] صفت‌های ارثی به وسیله ژن‌ها کنترل می‌شوند و یک دست کامل از ژن‌ها در ژنوم {genome} (مواد ژنتیکی) یک موجود ژنوتیپ<sup>42</sup> {genotype} [۶۱] خوانده می‌شود.

The complete set of observable traits that make up the structure and behaviour of an organism is called its phenotype. These traits come from the interaction of its genotype with the environment.[62] As a result, many aspects of an organism's phenotype are not inherited. For example, sun tanned skin comes from the interaction between a person's genotype and sunlight; thus, suntans are not passed on to people's children. However, some people tan more easily than others, due to differences in genotypic variation; a striking example are people with the inherited trait of albinism, who do not tan at all and are very sensitive to sunburn. [63]

یک دست کامل صفت‌های قابل مشاهده که ساختار و رفتار<sup>43</sup> یک موجود را تشکیل می‌هند فنوتیپ<sup>44</sup> {phenotype} نام دارد. این صفت‌ها محصول برهم‌کنش {interaction} ژنوتیپ و محیط هستند<sup>45</sup>. [۶۲] در نتیجه، جنبه‌های بسیاری از فنوتیپ یک موجود به ارث نمی‌رسند. برای مثال، برنزه شدن پوست، محصول برهم‌کنش ژنوتیپ یک فرد و نور آفتاب است، بنابراین فرد برنزه شده، رنگ پوست برنزه خود را به فرزندانش خود منتقل نمی‌کند. اما، برخی از مردم، به دلیل تفاوت‌های

<sup>40</sup> تعریفی که در اولین عبارت این بند آمده یک تفاوت جزئی با تعریفی که در ابتدای مقاله آمده، دارد. در آنجا از "تغییر مشخصات ارثی یک جمعیت" نام برده شد که درست است، زیرا واژه "مشخصات" میانگین و پراکنش (واریانس) را نیز در بر می‌گیرد و واژه "جمعیت" به "جمعیتی = گروهی" بودن فرگشت انگشت می‌گذارد. در اینجا، بکار نبردن واژه "جمعیت"، امکان بدفهمی را بالا می‌برد. بهرجهت، تاکید می‌کنم که فرگشت پدیده‌ای انفرادی نیست. فرد، فرگشت نمی‌کند.

<sup>41</sup> از دیدگاه من، که یک دیدگاه ژنتیک کتی است، هیچ صفت زیست‌شناسانه‌ای وجود ندارد که تحت کنترل یک ژن تنها باشد. به عبارت دیگر "مدل تک جایگاهی (ژنی)" {single locus (gene) model} فقط و فقط مصرف آموزشی-مدل‌سازانه دارد، و بر هیچ واقعیت بیولوژیک استوار نیست. برای رد نظریه "مدل تک جایگاهی (ژنی)" از روش زیر استفاده کنید. سعی کنید آنزیم مرتبط با هر صفتی را که فکر می‌کنید تحت کنترل یک ژن است، پیدا کنید. سپس آن آنزیم را روی یک نگاره زیست‌شیمیایی {biochemical chart} پیدا کنید و نشان بدهید که آن آنزیم، با هیچ آنزیم دیگری ارتباط ندارد. من تضمین می‌کنم که حتی اگر ۳ روز به نگاره خیره شوید، هیچ آنزیمی که مستقل از دیگر آنزیم‌ها باشد، پیدا نمی‌کنید. چرا همچنین سوءتفاهمی این قدر رایج است؟ برای اینکه نشان دادن اثر آنزیم‌های دیگر، که تحت کنترل ژن‌های دیگر هستند، غالباً احتیاج به آزمایشات بزرگتر و مخارج بیشتر دارد. بنابراین "مدل تک جایگاهی (ژنی)" یک تقریب از واقعیت است که در تعداد معدودی از موارد کار می‌کند.

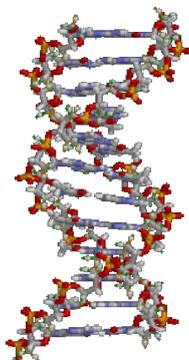
<sup>42</sup> واژه "ژنوتیپ" انعطاف دارد (!) و می‌تواند راجع به یک لوکوس، یک صفت یا کل ژنوم یک موجود به کار رود.

<sup>43</sup> برای من مشخص نیست که آیا واژه "رفتار" در اولین جمله این بند شامل "کارکرد" هم میشود یا نه. بهرجهت کارکرد هم جزو فنوتیپ است.

<sup>44</sup> واژه "فنوتیپ"، مانند واژه "ژنوتیپ" انعطاف دارد (!) و می‌تواند راجع به یک صفت یا کل یک موجود به کار رود.

<sup>45</sup> مفاهیمی مانند "فنوتیپ" یا "ژنوتیپ" به تدریج به مفاهیمی ریاضی-آماري تبدیل شده‌اند. در این صورت، و به عنوان مثال، فنوتیپ یک فرد، بر حسب مدل آماری به کار رفته در تحلیل آماری، می‌تواند با آن چیزی که مشاهده می‌شود فرق کند.

ژنوتیپی، راحت‌تر از دیگران برنزه می‌شوند. یک مثال در همین زمینه این است که افراد با زالی {albinism} ارثی در زیر آفتاب برنزه نمی‌شوند، ولی حساسیت زیادی نسبت به آفتاب‌سوختگی دارند<sup>46</sup> [۶۳].



DNA structure. Bases are in the centre, surrounded by phosphate–sugar chains in a double helix. ساختار DNA. بازهای آلی در میانه ساختار و در بین دو زنجیره‌ی نردبانی مارپیچی از فسفات-قند قرار دارند.

Heritable traits are passed from one generation to the next via DNA, a molecule that encodes genetic information.[61] DNA is a long biopolymer composed of four types of bases. The sequence of bases along a particular DNA molecule specify the genetic information, in a manner similar to a sequence of letters spelling out a sentence. Before a cell divides, the DNA is copied, so that each of the resulting two cells will inherit the DNA sequence. Portions of a DNA molecule that specify a single functional unit are called genes; different genes have different sequences of bases. Within cells, the long strands of DNA form condensed structures called chromosomes. The specific location of a DNA sequence within a chromosome is known as a locus. If the DNA sequence at a locus varies between individuals, the different forms of this sequence are called alleles. DNA sequences can change through mutations, producing new alleles. If a mutation occurs within a gene, the new allele may affect the trait that the gene controls, altering the phenotype of the organism.[64] However, while this simple correspondence between an allele and a trait works in some cases, most traits are more complex and are controlled by quantitative trait loci (multiple interacting genes).[65][66]

صفات توارثی توسط DNA، مولکولی که اطلاعات ژنتیکی را در خود دارد، از یک نسل به نسل بعد منتقل می‌شوند. [۶۱] DNA یک پلیمر زیستی دراز و تشکیل شده از چهار باز آلی است. توالی بازهای آلی در طول یک مولکول خاص DNA، همانند توالی حروفی که یک جمله را می‌سازند، اطلاعات ژنتیکی را مشخص می‌کند. پیش از تقسیم سلول، DNA رونوشت می‌شود تا آنکه هر یک از دو سلولی که از تقسیم سلولی به وجود آمده‌اند، توالی DNA را به ارث ببرند. بخش‌هایی از مولکول DNA که یک واحد کاربردی منفرد<sup>47</sup> را مشخص می‌کنند ژن {gene} خوانده می‌شود و ژن‌های مختلف، توالی مختلف بازهای آلی را

<sup>46</sup> این حرف که فرد برنزه، رنگ برنزه خود را به فرزندانش منتقل نمی‌کند، درست است. ولی همین فرد ژن‌های مسئول برنزه شدن، یعنی قابلیت برنزه شدن، را به فرزندانش منتقل می‌کند.

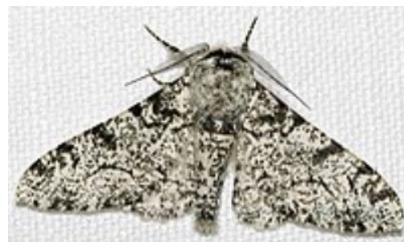
<sup>47</sup> یکی از دلایل من برای پرهیز از استفاده از واژه‌ی "ژن"، و یکی از بزرگترین مشکلات تعریف واژه‌ی "ژن"، در عبارت "واحد کاربردی منفرد" {single functional unit} نهفته است. ریشه این تعریف به سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ برمی‌گردد. امروز می‌دانیم که همه ژن‌ها "کاربردی" نیستند و نقش کنترل‌کننده یا تنظیمی یا نقش‌های دیگر دارند. حتی بخش‌هایی از مولکول DNA که در گذشته آشغال {junk} خوانده می‌شدند، امروزه به نظر می‌آید نقشی داشته باشند. سال‌های درازی است که فکر می‌کنم واژه "جایگاه" (یا "جایگاه ژنی") از واژه "ژن" بهتر است.

دارند. درون سلول، رشته‌های دراز DNA، ساختارهای فشرده‌ای به نام کروموزوم {chromosome} را می‌سازند. محلی خاص از یک توالی DNA در طول یک کروموزوم به نام لوکوس {جایگاه ژنی = locus} شناخته می‌شود. اگر توالی DNA در یک جایگاه در افراد مختلف فرق کند، شکل‌های مختلف آن توالی ال {allele} خوانده می‌شوند. توالی DNA به وسیله جهش {mutation} می‌تواند تغییر کند و ال‌های جدید ساخته شود. اگر یک جهش درون یک ژن اتفاق بیافتد، ال جدید ممکن است بر صفتی که آن ژن زیر کنترل دارد تاثیر بگذارد و فنوتیپ موجود را عوض کند. [۶۴] علیرغم این که این‌همانی ساده، بین ال و صفت، در برخی موارد کارکرد دارد، بیشتر صفت‌ها پیچیده‌تر هستند و به وسیله جایگاه‌های صفت‌های کتی (ژن‌های متعدد با اثر برهم‌کنشی) کنترل می‌شوند. [۶۵] [۶۶]

## منابع پراکندگی

Evolution can occur if there is enough genetic variation within a population. Variation comes from mutations in the genome, reshuffling of genes through sexual reproduction and migration between populations (gene flow). Despite the constant introduction of new variation through mutation and gene flow, most of the genome of a species is identical in all individuals of that species.[73] However, even relatively small differences in genotype can lead to dramatic differences in phenotype: for example, chimpanzees and humans differ in only about 5% of their genomes.[74]

فرگشت وقتی اتفاق می افتد که پراکندگی ژنتیکی کافی درون یک جمعیت وجود داشته باشد. پراکندگی از جهش در ژنوم، در هم ریختگی ژن‌ها در بازآوری جنسی، و مهاجرت بین جمعیت‌ها (جریان ژنی {gene flow}) ناشی می‌شود<sup>48</sup>. علیرغم بروز دائمی پراکندگی جدید از طریق جهش و جریان ژنی، بیشینه‌ی ژنوم یک گونه، در تمام افراد آن گونه، همسان است [۷۳]. با این حال، حتی تفاوت‌های نسبتاً کوچک در ژنوتیپ می‌توانند به تفاوت‌های بزرگ در فنوتیپ بیانجامند، مثلن ژنوم شامپانزه و انسان فقط در حدود ۵٪ تفاوت دارند<sup>49</sup>. [۷۴]



White peppered moth

پروانه فلفلی سفید

<sup>48</sup> اگر من می‌خواستم این بخش را بنویسم، جهش و نوترکیبی (در هم ریختگی ژن‌ها) و مهاجرت و جریان ژنی را به این صورت کنار هم نمی‌گذاشتم. این‌ها از نظر مفهومی در یک سطح نیستند. جهش در کنار گزینش، مهاجرت، روند‌های تصادفی و روشهای آمیزشی نیروهای اصلی فرگشت هستند (رجوع کنید به حاشیه‌های که بعد از بند اول نوشته‌ام). از نظر من، پراکندگی فقط یک منبع دارد و آن هم جهش است. هر "اشتباهی" در رونویسی یا تعمیر، و هر "آسیبی" در ساختار DNA را باید جهش به حساب آورد. جهش می‌تواند در هر سطحی از ساختار DNA اتفاق بیفتد. وقتی جهش اتفاق افتاد، تاکید می‌کنم، وقتی جهش اتفاق افتاد، ساز و کارهای گوناگونی وجود دارد که آنرا در ترکیب تازه قرار دهد (نوترکیبی=در هم ریختگی ژن‌ها)، درون جمعیت گسترش دهد (تولیدمثل)، و یا به جمعیت‌های دیگر منتقل کند (مهاجرت). هر کدام از این ساز و کارها را هم میتوان به روشهای مختلف اندازه زد. مثلن برای انتقال جهش از یک جمعیت به جمعیت دیگر روشهای مختلفی وجود دارد، که یکی از آنها روش "جریان ژنی" است.

<sup>49</sup> تفاوت ۵٪ بین انسان و شامپانزه از رقم‌هایی که من معمولاً با آنها برخورد می‌کنم (حدود ۱٪)، بسیار بالاتر است. رقم ۵٪ که در ماخذ شماره ۷۴ آمده، مربوط به گروه خاصی از توالی‌های DNA است و قابل تعمیم به کل ژنوم نیست. ژنوم مرجع انسان حدود ۳ میلیارد نوکلئوتید دارد. هر انسانی از هر کجای کره زمین آمده باشد بین ۴/۱ میلیون تا ۵/۰ میلیون تفاوت با ژنوم مرجع دارد. این تفاوت تقریباً برابر است با ۰/۱۶٪ یعنی حدود یک ششم یک درصد. بنابراین اگر تفاوت با شامپانزه ۱٪ باشد، یعنی تفاوت انسان-شامپانزه شش برابر تفاوت انسان-انسان است



### Black morph in peppered moth evolution

شکل سیاه در فرگشت پروانه فلفلی<sup>50</sup>

An individual organism's phenotype results from both its genotype and the influence of the environment it has lived in. A substantial part of the phenotypic variation in a population is caused by genotypic variation.[66]The modern evolutionary synthesis defines evolution as the change overtime in this genetic variation. The frequency of one particular allele will become more or less prevalent relative to other forms of that gene. Variation disappears when a new allele reaches the point of fixation— when it either disappears from the population or replaces the ancestral allele entirely.[75]

فنوتیپ یک موجود منفرد، هم تحت تاثیر ژنوتیپ او، و هم تحت تاثیر محیطی است که در آن زندگی کرده است. بخش بزرگی از پراکندگی فنوتیپی در یک جمعیت ناشی از پراکندگی ژنوتیپی است<sup>51</sup>. [۶۶] سنتز نوین فرگشتی، فرگشت را به صورت تغییرات پراکندگی ژنتیکی در طول زمان تعریف می کند<sup>52</sup>. تواتر یک الل خاص در طول زمان به نسبت الل های دیگر آن ژن بالا یا پایین می رود. هنگامی که یک الل جدید به تثبیت در جمعیت می رسد {تواتر آن ۱۰۰٪ یا ۰٪ می شود} پراکندگی، در آن جایگاه از بین می رود. به عبارت دیگر، وقتی الل جدید یا از بین می رود یا کاملن جایگزین الل اجدادی می شود، پراکندگی ژنتیکی در آن جایگاه وجود ندارد<sup>53</sup>. [۷۵]

<sup>50</sup> دو شکلی که در بالا آمده اند، یک نمونه معروف از فرگشت (سریع) است. معلوم نیست چرا در صفحه بندی ویکی پدیا، این دو شکل اینجا قرار گرفته اند. توضیحی ناکافی هم در قسمت "مکانیسم ها" داده شده که حق مطلب را ادا نمی کند. خلاصه داستان از این قرار است. پیش از انقلاب صنعتی، در انگلیس، پروانه فلفلی بیشتر سفید بوده و فرم سیاه رنگ آن بسیار نادر بوده است. بعد از انقلاب صنعتی و در مناطق جنگلی که در نزدیکی کارخانه ها بوده اند، به تدریج رنگ تنه برخی درختان به علت وجود دوده و گازهای صنعتی به تیره گی می گراید. همزمان تواتر پروانه های سیاه رنگ بالا می رود. این پدیده که از آن با نام "ملانیسم صنعتی" {industrial melanism} یاد می شود اینطور توضیح داده می شود: پروانه های فلفلی سیاه پیش از انقلاب صنعتی به راحتی توسط پرندگان دیده شده و شکار می شدند. بعد از انقلاب صنعتی، پرنده ها نمیتوانستند پروانه های فلفلی سیاه را روی درختان تنه سیاه تشخیص داده و شکار کنند. در نتیجه تواتر پروانه های فلفلی سیاه بالا رفته است.

<sup>51</sup> لطفا به جمله دوم دقت نمایید زیرا جمله بسیار مهمی است. می گوید: "بخش بزرگی از پراکندگی فنوتیپی در یک جمعیت ناشی از پراکندگی ژنوتیپی است". اول آنکه عبارت "بخش بزرگی"، عبارت دقیقی نیست، زیرا اندازه آن بخش از پراکندگی فنوتیپی که ناشی از پراکندگی ژنوتیپی است، ممکن است بزرگ یا کوچک باشد. دوم، دقت کنید که دو پراکندگی را به هم ربط می دهد: "پراکندگی فنوتیپی" و "پراکندگی ژنوتیپی". آنچه نمی گوید هم مهم است، منجمله نمی گوید که "پراکندگی فنوتیپی" ناشی از "ژنوتیپ" است. همچنین نمی گوید "فنوتیپ" ناشی از "پراکندگی ژنوتیپی" است. از این دو باری که واژه "پراکندگی" به کار رفته، هر کدام را که حذف کنید، امکان سوء تفاهم بالا می رود.

<sup>52</sup> تعریف فرگشت به صورت "تغییرات پراکندگی ژنتیکی در طول زمان" برای کسانی که در زمینه های دیگر زیست شناسی فرگشتی کار می کنند، این تعریف را ممکن است واضح و مبرهن جلوه کند. اما اطمینان دارم بسیاری از کسانی که در زمینه های دیگر زیست شناسی فرگشتی کار می کنند، این تعریف را ممکن است "تقلیل گرایانه {reductionistic} قلمداد کنند. این تعریف یک اشکال دیگر هم دارد و آن فراموش کردن پراکندگی جغرافیایی است. قبل از داروین طبیعی دانان یا پراکندگی را "در طول زمان" مطالعه می کردند، مثلن با مطالعه فسیل ها، یا "در طول مکان"، مثلن با مطالعه تنوع جغرافیایی. یکی از نکات قوت داروین مطالعه همزمان پراکندگی در دو بعد زمان و مکان بود.

<sup>53</sup> حالا که راجع به این دو "پراکندگی" گفتیم، می توانیم یکی از تعریف های اجرایی "وراثت پذیری" را هم مطرح کنیم. اگر پراکنش {variance} ژنوتیپی را با  $V_G$  نشان دهیم و پراکنش فنوتیپی را با  $V_P$  نشان دهیم، آن موقع "وراثت پذیری عام" {broad sense heritability} (که با  $H^2$  نشان داده می شود) از فرمول  $H^2 = V_G/V_P$  به دست می آید. اگر بخشی از پراکنش ژنوتیپی را که ناشی از "اثر افزایشی الل ها" است با  $V_A$  نشان دهیم، آن موقع "وراثت پذیری خاص" {narrow sense heritability} (که با  $h^2$  نشان داده می شود) از فرمول  $h^2 = V_A/V_P$  به دست می آید. دقت کنید که این فقط یکی از تعریف های اجرایی "وراثت پذیری" است. یک نکته دیگر که می شود مطرح کرد این است که علم امروزی فرگشت، فقط توصیف کلامی تغییرات طبیعی نیست، بلکه استفاده زیاد از مدل های ریاضی و آماری جزئی جداناپذیر از آن است.

Before the discovery of Mendelian genetics, one common hypothesis was blending inheritance. But with blending inheritance, genetic variation would be rapidly lost, making evolution by natural selection implausible. The Hardy-Weinberg principle provides the solution to how variation is maintained in a population with Mendelian inheritance. The frequencies of alleles (variations in a gene) will remain constant in the absence of selection, mutation, migration and genetic drift.[76]

قبل از کشف ژنتیک مندلی، یک فرضیه عمومی "وراثت آمیختگی" {blending inheritance} بود<sup>54</sup>. اما در وراثت آمیختگی پراکندگی به سرعت ناپدید می‌شود و فرگشت با گزینش طبیعی را غیر محتمل می‌سازد. اصل هاردی-واینبرگ<sup>55</sup> {Hardy-Weinberg} راه حلی برای چگونگی حفظ پراکندگی در یک جمعیت در چهارچوب ژنتیک مندلی فراهم می‌کند. تواتر ال‌ها (پراکندگی در یک ژن) در غیبت گزینش، جهش، مهاجرت و رانش ژنتیکی ثابت خواهند ماند. [۷۶]

## Mutation

### جهش

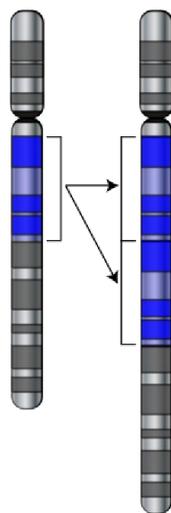
Mutations are changes in the DNA sequence of a cell's genome. When mutations occur, they may alter the product of a gene, or prevent the gene from functioning, or have no effect. Based on studies in the fly *Drosophila melanogaster*, it has been suggested that if a mutation changes a protein produced by a gene, this will probably be harmful, with about 70% of these mutations having damaging effects, and the remainder being either neutral or weakly beneficial.[77]

جهش تغییر توالی DNA در ژنوم یک سلول است. وقتی جهش اتفاق می‌افتد ممکن است محصول یک ژن را تغییر بدهد، یا مانع کارکرد ژن بشود، یا هیچ اثری نداشته باشد. بر اساس مطالعات بر روی مگس سرکه، اگر جهشی، پروتئین تولید شده توسط یک ژن را تغییر دهد، این تغییر احتمالاً مضر می‌باشد. تقریباً ۷۰٪ چنین جهش‌هایی اثر مخرب دارند، و باقی آنها یا اثری خنثی دارند یا بطور مختصری سودمند هستند<sup>56</sup>. [۷۷]

---

<sup>54</sup> اینجا هم من نمی‌فهمم چه لزومی به نقل نظریه ابطال شده وراثت آمیختگی است.  
<sup>55</sup> البته "اصل" هاردی-واینبرگ، که علاوه بر "اصل" با واژه‌های دیگری هم توصیف می‌شود، شرایط مفصل‌تری دارد، منجمله آمیزش تصادفی. در ضمن اصل هاردی-واینبرگ برای موجودات "دیپلوئید" ساخته شده است (هر چند که در کلیات تا حدی قابل تعمیم است).

<sup>56</sup> باز تاکید می‌کنم که گاهی در این مقاله ویکی‌پدیا مطالبی نوشته شده که حداقل "بوی سوء تفاهم" می‌دهد. در مورد این بند باید گفت که هر ژنی به تولید پروتئین نمی‌انجامد. به عنوان مثال، یکی از قسمت‌های کروموزوم‌ها که میزان بالای جهش را نشان می‌دهند، "پراکندگی تعداد رونوشت" {Copy Number Variation = CNV} هست. این نوع توالی‌ها مسئولیت مشخص پروتئین‌سازی ندارند، ولی جهش در آنها می‌تواند اثرات زیادی داشته باشد.



### Duplication of part of a chromosome

دو برابر شدن بخشی از یک کروموزوم

Mutations can involve large sections of a chromosome becoming duplicated (usually by genetic recombination), which can introduce extra copies of a gene into a genome.[78] Extra copies of genes are a major source of the raw material needed for new genes to evolve.[79] This is important because most new genes evolve within gene families from pre-existing genes that share common ancestors.[80] For example, the human eye uses four genes to make structures that sense light: three for colour vision and one for night vision; all four are descended from a single ancestral gene.[81]

جهش می‌تواند شامل دونسخه شدن بخش بزرگی از یک کروموزوم باشد (معمولاً با نوترکیبی ژنتیکی)، که می‌تواند رونوشت‌های اضافی یک ژنی را به ژنوم بیافزاید. [۷۸] نسخه‌های اضافی ژن‌ها منبع مهم مواد خام لازم برای فرگشت ژن‌های جدید هستند. [۷۹] این بسیار مهم است، زیرا بیشتر ژن‌های جدید، از درون خانواده‌های ژنی، از ژن‌های از قبل موجود که اجداد مشترک دارند، فرگشت پیدا می‌کنند. [۸۰] برای مثال، چشم انسان از چهار ژن برای ساختار حس نور استفاده می‌کند: سه ژن برای رنگ‌بینی و یک ژن برای شب‌بینی، که هر چهار ژن از یک ژن منفرد اجدادی تبار یافته‌اند. [۸۱]

New genes can be generated from an ancestral gene when a duplicate copy mutates and acquires a new function. This process is easier once a gene has been duplicated because it increases the redundancy of the system; one gene in the pair can acquire a new function while the other copy continues to perform its original function.[82][83] Other types of mutations can even generate entirely new genes from previously noncoding DNA.[84][85]

ژن‌های جدید می‌توانند از یک ژن اجدادی، در اثر جهش در نسخه اضافی و به دست آوردن کارکرد جدید، به وجود آیند. این روند وقتی ژنی نسخه اضافی دارد راحت‌تر صورت می‌گیرد زیرا این امر افزونگی {redundancy} سیستم را بالا می‌برد: یک نسخه از ژن کارکرد جدید پیدا می‌کند در حالیکه نسخه دیگر همان ژن به کارکرد اولیه ادامه می‌دهد. [۸۲] [۸۳] نوع‌های دیگر جهش می‌توانند از توالی‌های DNA که در گذشته نقش کدگذاری نداشته‌اند، ژن کاملن جدیدی بسازند. [۸۴] [۸۵]

The generation of new genes can also involve small parts of several genes being duplicated, with these fragments then recombining to form new combinations with new functions.[86][87] When new genes are assembled from shuffling pre-existing parts, domains act as modules with simple independent functions, which can be mixed together to produce new combinations with new and complex functions.[88] For example, polyketide synthases are large enzymes that make antibiotics; they contain up to one hundred independent domains that each catalyse one step in the overall process, like a step in an assembly line.[89]

تولید ژن‌های جدید می‌تواند شامل بخش‌های کوچکی از ژن‌های مختلف باشد که نسخه برداری شده‌اند و بعداً این بخش‌ها با نو ترکیبی به ایجاد ترکیبات جدید با کارکرد جدید می‌انجامند. [۸۶] [۸۷] وقتی ژن‌های جدید از در هم آمیختگی بخش‌های از قبل موجود ساخته می‌شوند، دامنه‌های {ژنی-پروتئینی} قبلی مانند قالب {module}هایی با کارکرد ساده و مستقل عمل می‌کنند، که می‌توانند با هم مخلوط شده تا ترکیب‌های تازه‌ای با کارکردهای جدید و پیچیده بسازند. [۸۸] برای مثال، پلی‌کتید سینتاز {polyketide syntase}ها آنزیم‌های بزرگی هستند که آنتی‌بیوتیک‌ها را می‌سازند.<sup>57</sup> آن‌ها حامل صد دامنه مستقل هستند که هر کدام، مانند یک مرحله در یک خط مونتاژ، بخشی از کل روند کاتالیز را به انجام می‌رسانند.<sup>58</sup> [۸۹]

## Sex and recombination

### جنسیت و نو ترکیبی

In asexual organisms, genes are inherited together, or *linked*, as they cannot mix with genes of other organisms during reproduction. In contrast, the offspring of sexual organisms contain random mixtures of their parents' chromosomes that are produced through independent assortment. In a related process called homologous recombination, sexual organisms exchange DNA between two matching chromosomes.[90] Recombination and reassortment do not alter allele frequencies, but instead change which alleles are associated with each other, producing offspring with new combinations of alleles.[91] Sex usually increases genetic variation and may increase the rate of evolution.[92][93]

در موجودات غیرجنسی ژن‌ها با هم به ارث می‌رسند، به عبارتی ژن‌ها به یک دیگر پیوند دارند، چون نمی‌توانند با ژن‌های موجود دیگر در بازآوری مخلوط شوند. در مقابل، نتایج موجودات جنسی، مخلوطی تصادفی از کروموزوم‌های والدین خود را که از طریق تفکیک مستقل بوجود آمده‌اند، دارا هستند. در موجودات با تولیدمثل جنسی، در روندی مشابه به نام نو ترکیب همخوان {homologous recombination}، تبادل DNA بین دو کروموزوم مشابه صورت می‌گیرد. [۹۰] نو ترکیبی و ترکیب مستقل، تواتر الل‌ها را تغییر نمی‌دهند، اما در عوض در اینکه کدام یک از الل‌ها با هم پیوسته باشند، تغییر ایجاد می‌کنند،

---

<sup>57</sup> باز هم من قاصرم از فهم اینکه نقش این پارگراف، با این زبان مغلق، چیست. احتمال می‌دهم نویسنده یا نویسندگان خواسته باشند به مطلب عمومیت ببخشند و در نتیجه خود را در سختی گرفتار کرده‌اند. به کار بردن کلماتی مانند "domain" و "module" ظن مرا به این امر قوی می‌کند. اگر قرار بود من این پارگراف را بنویسم، نتیجه این می‌شد: "پروتئین‌ها از یک یا چند زنجیره ی متشکل از تعدادی اسید آمینه ساخته میشوند. معمولاً آن بخش‌هایی از کروموزوم که مسئولیت ساخت زنجیره‌های مختلف یک پروتئین پیچیده را دارند، در کنار هم، در یک "ژن" یا در یک "کمپلکس ژنی" قرار دارند. یک ژن تازه می‌تواند از کنار هم قرار گرفتن بخش‌های مختلف از ژن‌های مختلفی که حالا دو نسخه از آن‌ها وجود دارد، ساخته شود. به این ترتیب زنجیره‌های مختلف اسید آمینه که پیش از این هم تولید می‌شده‌اند، در ترکیبی تازه در کنار هم قرار می‌گیرند و کارکرد تازه‌ای پیدا می‌کنند."

<sup>58</sup> الان به این نتیجه رسیدم که نویسنده یا نویسندگان باید اول یک تصویر ساده از فرگشت ترسیم می‌کردند و بعد به ترمیم ایرادات احتمالی این تصویر می‌پرداختند. سپس، توضیح به وجود آمدن کارکرد جدید، مطابق یافته‌های علم ژنتیک مدرن، می‌توانست مطرح شود.

که به ایجاد نتاج با ترکیبی نوین از اللها می‌انجامد. [۹۱] جنسیت معمولن پراکندگی ژنتیکی را افزایش می‌دهد و ممکن است میزان {سرعت} فرگشت را زیاد کند. [۹۲] [۹۳]

The two-fold cost of sex was first described by John Maynard Smith.[94] The first cost is that in sexually dimorphic species only one of the two sexes can bear young. This cost does not apply to hermaphroditic species, like most plants and many invertebrates. The second cost is that any individual who reproduces sexually can only pass on 50% of its genes to any individual offspring, with even less passed on as each new generation passes [50.0% to the 1<sup>st</sup> generation, 25.0% to the 2<sup>nd</sup> generation, 12.% to the 3<sup>rd</sup> generation, and so on].[95] Yet sexual reproduction is the more common means of reproduction among eukaryotes and multicellular organisms. The Red Queen hypothesis has been used to explain the significance of sexual reproduction as a means to enable continual evolution and adaptation in response to coevolution with other species in an ever-changing environment.[95][96][97][98]

هزینه دوبرابر برای جنسیت اولین بار توسط جان مینارد سمیت {John Maynard Smith} شرح داده شد. [۹۴] هزینه اول آن است که در گونه‌های با دوشکلی جنسی فقط یکی از جنس‌ها می‌تواند فرزندآوری کند. موجودات دوجنسی {hermaphrodite}، مانند بیشتر گیاهان و بسیاری از بی‌مهره‌گان، این هزینه را نمی‌پردازند. هزینه دوم آن است که هر فردی که بازآوری جنسی دارد فقط ۵۰٪ ژن‌های خود را به یک هر یک از نتاج خود منتقل می‌کند، و در هر نسل بعد این مقدار کمتر هم می‌شود {۵۰٪ به نسل اول، ۲۵٪ به نسل دوم، ۱۲/۵٪ به نسل سوم، ...}. [۹۵] با این حال بازآوری جنسی روش معمول‌تر برای بازآوری در بین هسته‌داران {eukaryotes} و موجودات چندسلولی است. فرضیه شهبانوی سرخ<sup>59</sup> {Red Queen hypothesis} برای توضیح اهمیت بازآوری جنسی در محیطی که دائمی در حال تغییر است، به عنوان وسیله‌ای برای تضمین ادامه فرگشت، و سازگاری در پاسخ به هم‌فرگشت با گونه‌های دیگر، به کار رفته است. [۹۵] [۹۶] [۹۷] [۹۸]

## Gene flow

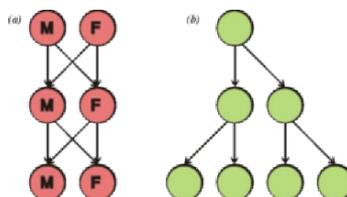
### جریان ژنی

Gene flow is the exchange of genes between populations and between species.[99] It can therefore be a source of variation that is new to a population or to a species. Gene flow can be caused by the movement of individuals between separate populations of organisms, as might be caused by the movement of mice between inland and coastal populations, or the movement of pollen between heavy-metal-tolerant and heavy-metal-sensitive populations of grasses.

---

<sup>59</sup> "شهبانوی سرخ" اشاره به بخشی از داستان "از میان آینه" {Through the Looking Glass} نوشته "لوئیس کرول" {Lewis Carroll} دارد. در بخشی از داستان، الیس {Alice} و شهبانوی سرخ {Red Queen} با سرعت زیاد می‌دوند، ولی در جا می‌زنند. الیس در حالی که نفس نفس می‌زند به شهبانوی سرخ می‌گوید "در سرزمین من، اگر زمانی طولانی به آن سرعتی که ما دویدیم، بدوی، معمولن به جایی دیگر می‌رسی." شهبانوی سرخ در پاسخ، و با لحنی تمسخرآمیز، می‌گوید "چه سرزمین آهسته‌ای! بین! در اینجا هر چقدر می‌توانی باید بدوی، تا در یک جا باقی بمانی." فرضیه شهبانوی سرخ اشاره به تغییرات سریع محیطی و تغییرات سریع تواترهای ژنی در پاسخ به تغییرات محیطی دارد. در رشته ژنتیک جمعیت، مخصوصن در بین آنهایی که با فرگشت زیاد کار می‌کنند، و همچنین در برخی رشته‌های نزدیک به آن، از اینجور نام‌گذاری‌ها (مثل شهبانوی سرخ) بر روی فرضیه‌ها و نظریه‌ها زیاد دیده می‌شود. من از اینجور نام‌گذاری‌ها "خوشم" نمی‌آید.

جریان ژنی تبادل ژن‌ها بین جمعیت‌ها و گونه‌ها است<sup>60</sup>. [۹۹] بنابراین می‌تواند یک منبع پراکندگی باشد که برای جمعیت یا گونه تازگی دارد. جریان ژنی می‌تواند ناشی از حرکت افراد بین جمعیت‌های یک موجود [گونه] باشد، مانند حرکت موش‌ها بین جمعیت درونکشوری و جمعیت ساحلی، و یا حرکت گرده بین جمعیت‌های چمن که در برابر فلزات سنگین مقاوم یا حساس هستند.



This diagram illustrates the *twofold cost of sex*. If each individual were to contribute to the same number of offspring (two), (a) the sexual population remains the same size each generation, where the (b) asexual reproduction population doubles in size each generation.

این تصویر هزینه دوبرابر جنسیت را نشان می‌دهد. اگر هر فرد قرار باشد تعداد مساوی نتاج (دو) تولید کند، (a) اندازه جمعیت با زادآوری جنسی در هر نسل ثابت می‌ماند، در حالی که (b) در جمعیت با زادآوری غیرجنسی اندازه جمعیت در هر نسل دو برابر می‌شود.

Gene transfer between species includes the formation of hybrid organisms and horizontal gene transfer. Horizontal gene transfer is the transfer of genetic material from one organism to another organism that is not its offspring; this is most common among bacteria. [100] In medicine, this contributes to the spread of antibiotic resistance, as when one bacteria acquires resistance genes it can rapidly transfer them to other species. [101] Horizontal transfer of genes from bacteria to eukaryotes such as the yeast Saccharomyces cerevisiae and the adzuki bean weevil Callosobruchus chinensis has occurred. [102][103] An example of larger-scale transfers are the eukaryotic bdelloid rotifers, which have received a range of genes from bacteria, fungi and plants. [104] Viruses can also carry DNA between organisms, allowing transfer of genes even across biological domains. [105]

جریان ژنی بین دو گونه شامل موجودات آمیخته و انتقال ژنی افقی است. انتقال افقی، انتقال مواد ژنتیکی از یک موجود به موجود دیگری است که نتاجش نباشد، که این بیشتر بین باکتری‌ها اتفاق می‌افتد. [۱۰۰] در پزشکی، این نوع از جریان ژنی در گسترش مقاومت در برابر آنتی‌بیوتیک، نقش دارد، مثلن هنگامی که یک باکتری ژن مقاومت را بدست می‌آورد، می‌تواند با سرعت آن را به گونه‌های دیگر منتقل کند [۱۰۱]. انتقال افقی ژن‌ها از باکتری‌ها به هسته‌دارانی مانند قارچ ساکارومایسس سرویسیائه {Saccharomyces cerevisiae} و قارچ شیشک {weevil} لوبیای ادزوک {adzuki} به نام کلسوبروکوس چاپنسیس {Callosobruchus chinensis}، به وقوع پیوسته است. [۱۰۲] [۱۰۳] مثالی از انتقال در مقیاس وسیع‌تر در هسته‌داری به نام روتیفرهای بدللوئید {bdelloid rotifers} اتفاق افتاده که ژن‌های مختلفی را از باکتری‌ها، قارچ‌ها و گیاهان گرفته است [۱۰۴]. ویروس‌ها هم می‌توانند DNA را بین موجودات حمل کنند و انتقال ژن بین دامنه‌های زیستی را فراهم کنند<sup>61</sup>. [۱۰۵]

<sup>60</sup> پیش از این نظرم را گفته‌ام. جریان ژنی "منبع پراکندگی" نیست و فقط روشی برای اندازه‌گیری انتقال "پراکندگی" است.

<sup>61</sup> این مثال‌های "چپ اندر قیچی" کمکی به خواننده غیر متخصص نمی‌کند. کسی که مطلب را برای خودش "جا انداخته" باشد، باید بتواند مطلب را با چنان بیان ساده‌ای بگوید که فهم آن برای غیر متخصصین ممکن شود. در طبیعت اتفاقات زیادی می‌افتد. برخی اتفاقات به فراوانی دیده می‌شوند و برخی

Large-scale gene transfer has also occurred between the ancestors of eukaryotic cells and bacteria, during the acquisition of chloroplasts and mitochondria. It is possible that eukaryotes themselves originated from horizontal gene transfers between bacteria and archaea. [106]

انتقال ژنی در مقیاس بالا همچنین در اجداد سلول‌های هسته‌داران و باکتری‌ها، در حین اخذ کلروپلاست {chloroplast} و میتوکندری {mitochondria}، صورت پذیرفته است. خود هسته‌داران می‌توانند محصول انتقال ژنی بین باکتری‌ها و ارکائیا {archaea=باکتری‌های اولیه} باشند [۱۰۶].

---

به ندرت، برخی قاعده هستند، برخی استثنا. نظریه‌ها و فرضیه‌ها هم با هم تفاوت دارند. برخی تعداد زیادی پدیده را توضیح می‌دهند و برخی تعداد کمی را توضیح می‌دهند. در مطلبی مانند یک مقاله ویکی‌پدیا، و حتی یک کتاب، انتخاب اتفاقات طبیعت و نظریه‌ها و فرضیه‌ها باید متناسب خواننده باشد. مثال می‌زنم: اگر انتقال افقی ژن‌ها یک‌دهم درصد از تمام انتقال‌هاست، نباید در اینجا به آن پرداخته شود. اشاره به آن در اینجا بدون ذکر و فور آن، این شائبه را در خواننده به وجود می‌آورد که انتقال افقی ژن‌ها هم مهم است و هم به وفور اتفاق می‌افتد. البته که این طور نیست.

## Mechanisms

### سازوکارها

From a neo-Darwinian perspective, evolution occurs when there are changes in the frequencies of alleles within a population of interbreeding organisms,[76] for example, the allele for black colour in a population of moths becoming more common. Mechanisms that can lead to changes in allele frequencies include natural selection, genetic drift, gene flow and mutation bias.

از دیدگاه نئوداروینی<sup>62</sup>، فرگشت وقتی اتفاق می‌افتد که تغییراتی در تواتر ال‌ها در یک جمعیت از موجودات درون‌آمیزش [interbreeding] صورت گیرد [۷۶]، برای مثال، وقتی که ال‌ ایجاد رنگ سیاه در یک جمعیت از پروانه فلفلی شایع‌تر شود<sup>63</sup>. سازوکارهایی که می‌توانند به تغییر تواتر ال‌ها بیانجامند شامل گزینش طبیعی، رانش ژنتیکی، جریان ژنتیکی و جهش سوگیرانه {mutation bias} هستند<sup>64</sup>.

## Natural selection

### گزینش طبیعی

Evolution by means of natural selection is the process by which traits that enhance survival and reproduction become more common in successive generations of a population. It has often been called a "self-evident" mechanism because it necessarily follows from three simple facts:[8]

- Variation exists within populations of organisms with respect to morphology, physiology, and behaviour (phenotypic variation).
- Different traits confer different rates of survival and reproduction (differential fitness).
- These traits can be passed from generation to generation (heritability of fitness).

فرگشت از طریق گزینش طبیعی روندی است که در آن صفتهایی که ماندگاری و بازآوری را بالا می‌برند، در طول نسل‌های متوالی یک جمعیت، رایج‌تر می‌شوند. بسیاری اوقات گزینش طبیعی را مکانیسم "بدیعی" خوانده‌اند زیرا گزینش طبیعی لزوماً سه دانسته {fact} ساده را دنبال میکند: [۸]

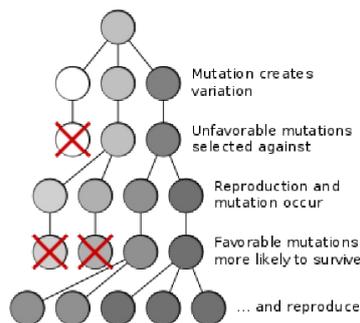
- درون جمعیت‌های موجودات، پراکندگی ریخت شناسی، تن کار شناسی، و رفتار {شناس} وجود دارد (پراکندگی فنوتیپی).
- درجات مختلف صفتهای مختلف، میزان ماندگاری و بازآوری متفاوتی را باعث می‌شوند (برازش تفریقی {differential fitness}).
- این صفتهای از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند (وراثت پذیری<sup>65</sup> برازش {heritability of fitness}).

<sup>62</sup> نئوداروینیسم اسم دیگری برای سنتز نوین است.

<sup>63</sup> در اینجا هم یکی نویسان فراموش کرده‌اند از تواتر ژنوتیپی در کنار تواتر ال‌ها اسم بیاورند.

<sup>64</sup> تکرار می‌کنم که نپروها یا روندهای فرگشتی عبارتند از گزینش طبیعی، جهش، مهاجرت، رانش ژنتیکی و سیستم‌های آمیزش.

<sup>65</sup> همان طوری که قبلاً هم گفته ام، استفاده از واژه "وراثت پذیری" اشتباه است و باید از واژه "توارث" استفاده شود.



Mutation followed by natural selection results in a population with darker colouration.

جهش و در دنبال آن گزینش طبیعی به جمعیتی با رنگ تیره‌تر می‌انجامد.

More offspring are produced than can possibly survive, and these conditions produce competition between organisms for survival and reproduction. Consequently, organisms with traits that give them an advantage over their competitors are more likely to pass on their traits to the next generation than those with traits that do not confer an advantage.[107] This teleonomy is the quality whereby the process of natural selection creates and preserves traits that are seemingly fitted<sup>66</sup> for the functional roles they perform.[108] Consequences of selection include nonrandom mating[109] and genetic hitchhiking.

در این روند نتایج بیشتری از آن که امکان زنده ماندن داشته باشند به دنیا می‌آیند، و این شرایط، در ماندگاری و بازآوری بین موجودات، رقابت ایجاد می‌کند. در نتیجه، موجوداتی با صفتهایی که به آن‌ها مزیتی بیشتر از رقیب‌ها می‌دهد<sup>67</sup>، با احتمال بالاتری صفتهای خود را به نسل بعدی منتقل می‌کنند، تا آن موجوداتی که دارای صفتهایی هستند که مزیتی نمی‌دهند<sup>68</sup> [۱۰۷]. این دورشناسی اقتصادی {teleonomy} کیفیتی است که با آن گزینش طبیعی صفتهایی را که به نظر می‌رسد برای

<sup>66</sup> من با استفاده از واژه‌های هم خانواده با "fitness" مانند "fit, fitter, fittest, fitted" در مباحث فرگشتی مخالفم. علت آن است که واژه برازش {fitness} یک مفهوم ریاضی در فرگشت است و نباید با واژه {fit} در معنای محاوره‌ای آن مخلوط شود.

<sup>67</sup> در این بند یک اشکال زبانی-منطقی وجود دارد که به واژه "صفت" برمیگردد. اول اینکه باید بین "صفت" در مفهوم عادی و در مفهوم فرگشتی-ژنتیکی تفاوت بگذاریم. برای مثال وقتی می‌گوییم "موجوداتی با صفتهایی که به آن‌ها مزیتی بیشتر از رقیب‌ها می‌دهد"، منظور این نیست که موجودی این صفت را دارد و موجود دیگر ندارد. بلکه منظور این است که "اندازه یک صفت" در این دو موجود متفاوت است. فرض کنید وقتی که راجع به "قد" و در مفهوم فرگشتی-ژنتیکی صحبت می‌کنیم، منظور این نیست که یکی "قد دارد" و دیگری "قد ندارد". بلکه منظور این است اندازه قد این دو موجود متفاوت است و یکی بلندتر از دیگری است.

<sup>68</sup> در ضمن دقت کنید که در یک موجودی و در یک نسلی و در یک محیطی قد کوتاه ممکن است مزیت "سازگارانه" داشته باشد و در نسلی و محیطی دیگر، قد بلند مزیت "سازگارانه" پیدا کند. آن چه هم که برای این موجود از این گونه مزیت دارد، ممکن است برای موجودی از گونه دیگر هیچ مزیتی نداشته باشد. حالا که این را گفتیم، یک چیز دیگر هم بگویم و آن اینکه در مباحث فرگشتی نباید از لغاتی که "بار ارزشی" دارند استفاده کنیم. خود واژه "مزیت" واژه مناسبی نیست. موضوع این است که صفتی را اندازه زده‌ایم و آن را با عددی نشان می‌دهیم.

نقش کاربردی خود برآزش دارند خلق کرده و نگهداری می‌کند<sup>69</sup>. [۱۰۸] عواقب گزینش شامل آمیزش غیرتصادفی<sup>70</sup> [۱۰۹] و مفت‌سواری ژنتیکی {hitchhiking} است.

The central concept of natural selection is the evolutionary fitness of an organism.[110] Fitness is measured by an organism's ability to survive and reproduce, which determines the size of its genetic contribution to the next generation.[110] However, fitness is not the same as the total number of offspring: instead fitness is indicated by the proportion of subsequent generations that carry an organism's genes.[111] For example, if an organism could survive well and reproduce rapidly, but its offspring were all too small and weak to survive, this organism would make little genetic contribution to future generations and would thus have low fitness.[110]

برآزش فرگشتی {evolutionary fitness} یک موجود، جایگاهی مرکزی در مفهوم گزینش طبیعی دارد. [۱۱۰] برآزش با قابلیت یک موجود برای ماندگاری و بازآوری اندازه‌گیری می‌شود، که مقدار مشارکت آن موجود در نسل بعد را معلوم می‌کند. [۱۱۰] با این حال، برآزش برابر با تعداد فرزندان نیست، در عوض برآزش برابر است با نسبت افرادی از نسل آینده که ژن‌های این موجود را حمل می‌کنند. [۱۱۱]. برای مثال، اگر موجودی بتواند به خوبی زنده بماند و سریع بازآوری کند، اما نتاج او کوچکتر یا ضعیف‌تر از آن باشند که زنده بمانند، این موجود سهم ناچیزی در {ترکیب ژنتیکی} نسل‌های آینده داشته و در نتیجه برآزش پایینی خواهد داشت [۱۱۰].

If an allele increases fitness more than the other alleles of that gene, then with each generation this allele will become more common within the population. These traits are said to be "selected *for*." Examples of traits that can increase fitness are enhanced survival and increased fecundity. Conversely, the lower fitness caused by having a less beneficial or deleterious allele results in this allele becoming rarer—they are "selected *against*." [112] Importantly, the fitness of an allele is not a fixed characteristic; if the environment changes, previously neutral or harmful traits may become beneficial and previously beneficial traits become harmful.[64] However, even if the direction of selection does reverse in this way, traits that were lost in the past may not re-evolve in an identical form (see Dollo's law).[113][114] However, a re-activation of dormant genes, as long as they have not been eliminated from the genome and were only suppressed perhaps for hundreds of generations, can lead to the re-occurrence of traits thought to be lost like hind legs in dolphins, teeth in chickens, wings in wingless stick insects, tails and additional nipples in humans etc.[115] "Throwbacks" such as these are known as atavisms.

---

<sup>69</sup> من با جمله‌ای که پیش از ماخذ شماره ۱۰۸ آمده مخالفم و به شدت هم مخالفم و آن را ناشی از بدفهمی از فرگشت می‌دانم. اول: ماخذ شماره ۱۰۸ کتاب پیدایش انواع داروین است و برای من خواننده روشن نیست که من کجای این کتاب ۵۰۰ صفحه‌ای را باید نگاه کنم، تا این جمله پیدا شود. دوم: حتی اگر داروین هم چنین چیزی گفته، اشتباه کرده. علم امروز چنین چیزی را تایید نمی‌کند. سوم: زبان و کلمات غایت‌گرایانه {teleologic} حتی از نوع ارسطویی‌اش ممکن است امروز هم به کار رود، اما نه داروین و نه علم امروز "غایت‌گرا" نبوده و نیستند. چهارم: گزینش طبیعی در پاسخ به نیازهای "مقطعی" عمل می‌کند و هدف دار نیست. اگر به صورت موقتی "جهتی" در آن دیده شود، فقط یک توهم است و با تغییر محیط، "جهت" عوض می‌شود. پنجم: هر اشاره‌ای به اینکه "فرگشت" خطی و رو به "بالا" است، یک دانستان‌سرایی است که مبنای علمی ندارد.

<sup>70</sup> خود گزینش طبیعی هم می‌تواند نوعی از آمیزش غیرتصادفی محسوب شود. بهر جهت، در متون کلاسیک، آمیزش‌های غیرتصادفی را جدای از گزینش بررسی می‌کنند.

اگر یک الل برازش<sup>71</sup> را بیشتر از الل دیگر آن ژن افزایش دهد، آن الل در نسل های بعدی در جمعیت رایج تر می شود. اصطلاحن گفته می شود که چنین الل هایی "گزیده" شدند. مثال هایی از صفت هایی که می توانند برازش را افزایش دهند آن هایی هستند که ماندگاری و باروری را بالا می برند. برعکس، برازش کمتر، که از داشتن الل های کمتر سودمند یا مضر باشد، به نادرتر شدن آن الل ها می انجامد – این ها "ناگزیده" میشوند. [۱۱۲] مهمتر اینکه برازش یک الل، یک مشخصه ثابت نیست و اگر محیط تغییر کند الل هایی که پیش از این اثر خنثی یا زیان بخش داشتند ممکن است سودمند شده و الل های پیش از این سودمند ممکن است زیان بخش شوند [۶۴]. با این حال، حتی اگر جهت گزینش به این صورت برعکس شود، صفت هایی که در گذشته از دست رفته بودند، ممکن است دوباره به شکل گذشته فرگشت نکنند (نگاه کنید به قانون دوللو [Dollo law] [۱۱۳] [۱۱۴]). اما فعال کردن دوباره ژن های خفته، تا زمانی که از ژنوم ناپدید نشده باشند و فقط شاید برای چند صد نسل سرکوب شده باشند، می تواند به ظهور دوباره صفتی که تصور می شده از بین رفته باشد بیانجامد، مانند پاهای عقب در دلفین، دندان در مرغ، بال در حشرات بی بال، دم و نوک پستان اضافی در انسان و غیره<sup>72</sup>. [۱۱۵] "پرتاب به گذشته" از این نوع با نام اتاویسم [atavism] شناخته می شود.

Natural selection within a population for a trait that can vary across a range of values, such as height, can be categorised into three different types. The first is directional selection, which is a shift in the average value of a trait over time—for example, organisms slowly getting taller.[116] Secondly, disruptive selection is selection for extreme trait values and often results in two different values becoming most common, with selection against the average value. This would be when either short or tall organisms had an advantage, but not those of medium height. Finally, in stabilising selection there is selection against extreme trait values on both ends, which causes a decrease in variance around the average value and less diversity.[107][117] This would, for example, cause organisms to eventually have a similar height.

گزینش طبیعی در درون یک جمعیت برای صفتی که می تواند اندازه های متفاوتی داشته باشد، مثل اندازه قد، می تواند در سه نوع دسته بندی شود<sup>73</sup>. دسته اول، گزینش جهت دار<sup>74</sup> {directional selection} است، که تغییر اندازه میانگین یک صفت در طول زمان<sup>75</sup> است، برای مثال، موجودات به تدریج قد بلندتر {یا کوتاه تر} پیدا میکنند. [۱۱۶] دسته دوم، گزینش ناپایاساز<sup>76</sup> {disruptive selection} است که افراد با اندازه های بسیار کم و زیاد، گزیده می شوند و منجر به فراوانی دو اندازه متفاوت شده، و اندازه های نزدیک به میانگین ناگزیده می شوند. در این حالت موجودات با قد بلند یا کوتاه مزیتی دارند که موجودات با قد متوسط ندارند. دسته سوم گزینش پایاساز<sup>77</sup> {stabilising selection} است که گزینش به زیان اندازه های بسیار کم و بسیار زیاد در دو انتها صورت می گیرد، که باعث کم شدن پراکنش {variance} در حول میانگین و کم شدن گوناگونی می شود. [۱۰۷] [۱۱۷] برای مثال، این نوع گزینش میتواند باعث شود که موجودات نهایتن قد مشابه داشته باشند.

<sup>71</sup> در این متن بارها از برازش "یک" الل نام برده شده است. اما مثال زدن از "یک" الل باید به "تعداد زیادی" الل تعمیم داده شود. دقت کنید برازش در مفهوم داروینی-فرگشتی آن حاصل ضرب ماندگاری و بازآوری است. هم ماندگاری و هم بازآوری اجزاء بسیار زیادی دارند و هر جزء تحت تاثیر تعداد زیادی جایگاه ژنی است.

<sup>72</sup> ویکی نویسان در این بند واژه های صفت و الل را چنان به کار می برند که گویی هر صفت فقط توسط یک جایگاه ژنی و الل های موجود در آن تعیین میشوند. به عبارت دیگر، ویکی نویسان مدل تک جایگاهی (ژنی) را به همه صفت ها تعمیم میدهند. این اشتباه، به اشتباه دیگری هم میانجامد (نگاه کنید به حاشیه بعدی).

<sup>73</sup> برای درک ساده تر این بخش در نظر بگیرید که توزیع {distribution} اندازه صفت افراد مختلف یک جمعیت را با منحنی نرمال {بهنجار=normal} نشان دهیم. با تعریف مناسب و یا با تکنیک های دیگرگونی آماری {transformation} تقریب هر صفتی را می توان با یک منحنی نرمال نشان داد.

<sup>74</sup> گزینش جهت دار، گزینش افرادی است که در یک سر منحنی قرار دارند.

<sup>75</sup> در مباحث فرگشتی "در طول زمان" به معنی "در طی نسل ها" است.

<sup>76</sup> گزینش ناپایاساز، گزینش افراد دو سر منحنی است.

<sup>77</sup> گزینش پایاساز، گزینش افراد نزدیک به وسط منحنی (نزدیک به میانگین) است.

Natural selection most generally makes nature the measure against which individuals and individual traits, are more or less likely to survive. "Nature" in this sense refers to an ecosystem, that is, a system in which organisms interact with every other element, physical as well as biological, in their local environment. Eugene Odum, a founder of ecology, defined an ecosystem as: "Any unit that includes all of the organisms in a given area interacting with the physical environment so that a flow of energy leads to clearly defined trophic structure, biotic diversity, and material cycles (i.e., exchange of materials between living and nonliving parts) within the system." [118] Each population within an ecosystem occupies a distinct niche, or position, with distinct relationships to other parts of the system. These relationships involve the life history of the organism, its position in the food chain and its geographic range. This broad understanding of nature enables scientists to delineate specific forces which, together, comprise natural selection.

گزینش طبیعی عمومن برای طبیعت معیاری را می‌سازد که احتمال کم یا بیش زنده ماندن افراد و صفت‌ها را با آن بسنجد. "طبیعت" در این مفهوم به اکوسیستم اشاره دارد، یعنی سیستمی که موجودات در برهم کنش با هر عنصر {element} دیگر، چه از نوع فیزیکی یا زیستی، در محیط پیرامون آن‌ها قرار دارد. یوجین اودوم {Eugene Odum}، یکی از بنیان‌گذاران بوم‌شناسی، اکوسیستم را چنین تعریف کرد: "هر واحدی که شامل تمام موجودات ... در حوزه‌ای خاص که در برهم کنش با محیط فیزیکی باشند، به نحوی که یک جریان انرژی، به سمت ایجاد ساختار مشخص غذایی، گوناگونی زیستیک {biotic} و چرخش درون سیستمی مواد (مانند تبادل مواد بین بخش‌های زنده و غیر زنده) باشد ...". [118] هر جمعیتی درون یک اکوسیستم یک niche یا محل متمایزی را اشغال می‌کند که روابط متمایزی با دیگر بخش‌های اکوسیستم دارد. این روابط شامل تاریخ زندگی<sup>80</sup> {life history} موجودات، موقعیت موجودات در زنجیره غذایی و دامنه جغرافیایی گسترش آن موجودات است. این درک کلی از طبیعت، دانشمندان را قادر می‌سازد تا بین نیروهایی که با هم گزینش طبیعی را می‌سازند، تفکیک قائل شوند.<sup>81</sup>

Natural selection can act at different levels of organisation, such as genes, cells, individual organisms, groups of organisms and species. [119][120][121] Selection can act at multiple levels simultaneously. [122] An example of selection occurring below the level of the individual organism are genes called transposons, which can replicate and spread throughout a genome. [123] Selection at a level above the individual, such as group selection, may allow the evolution of cooperation. [124]

گزینش طبیعی می‌تواند در سطوح مختلف ساختاری عمل کند، مانند ژن‌ها، سلول‌ها، موجودات منفرد، گروه‌های موجودات و گونه. [119] [120] [121] گزینش می‌تواند همزمان در چند سطح عمل کند. [122] یک مثال از گزینش در سطح پایین‌تر

<sup>78</sup> معمولن وقتی تعریفی {مثل تعریف نقل شده در مورد اکوسیستم} طولانی و مغلق میشود، هنوز بختی لازم را پیدا نکرده است.

<sup>79</sup> واژه "niche" می‌تواند به جایگاه {فضای حیاتی} ترجمه شود. ولی در مباحث فرگشتی، "niche" یک جایگاهی است که در ابتدا "خالی" است و بعدا موجودی آن را "اشغال" می‌کند. شاید یک مثال بتواند در فهم این مفهوم مهم کمک کند. فرض کنید که در رودخانه‌ای با عمق حداکثر دو متر، انواع گیاهان و جانوران زندگی می‌کنند. سپس در اثر یک حادثه طبیعی {مثل ریزش کوه} یا یک حادثه غیرطبیعی {مثل ساختن یک سد} مسیر آب تا حدودی بسته شده و دریاچه‌ای به عمق ۱۰۰ متر ایجاد شود. مناطق عمیق این دریاچه در ابتدا یک جایگاه خالی است. جمعیت‌های گیاهی و جانوری که بتوانند سریع به این جایگاه خالی رفته و با شرایط آن جایگاه "سازگاری" پیدا کنند، آن جایگاه را "اشغال" کرده‌اند. بنابراین "niche" یک جایگاه خالی است که زود، پر می‌شود. همین حالت در اجتماع و اقتصاد هم وجود دارد. اختراع تلفن "موبایل" یک "niche" تازه می‌سازد و فروشندگان را به آنجا می‌کشاند. من این را به ایجاد رخنه در یک سیستم موجود تشبیه می‌کنم و به همین دلیل واژه "رنخه" را ترجمه "niche" گرفتم.

<sup>80</sup> "تاریخ زندگی" {life history} یک مفهوم محوری در بوم‌شناسی است.

<sup>81</sup> این بند احتمال اینکه ویکی نویسان، پیشینه بوم‌شناسی داشته باشند را بالا می‌برد. بنابراین، بی‌دقتی‌های ژنتیکی آن‌ها قابل فهم‌تر می‌شود. دقت کنید که فرگشت ملک اختصاصی ژنتیک‌دانان نیست و آن را از منظر شاخه‌های مختلف علمی می‌توان مطالعه کرد.

از سطح موجودات منفرد، ژن‌هایی هستند که ترنس‌پوزان<sup>82</sup> {tansposan} نامیده می‌شوند که می‌توانند در تمام طول ژنوم تکثیر پیدا کرده و گسترش یابند [۱۲۳]. گزینش در سطح بالاتر از فرد، مانند گزینش گروهی، ممکن است اجازه فرگشت همکاری را بدهد<sup>83</sup> [۱۲۴].

## Genetic hitchhiking

### مفت‌سواری ژنتیکی

Recombination allows alleles on the same strand of DNA to become separated. However, the rate of recombination is low (approximately two events per chromosome per generation). As a result, genes close together on a chromosome may not always be shuffled away from each other and genes that are close together tend to be inherited together, a phenomenon known as linkage. [125] This tendency is measured by finding how often two alleles occur together on a single chromosome compared to expectations, which is called their linkage disequilibrium. A set of alleles that is usually inherited in a group is called a haplotype. This can be important when one allele in a particular haplotype is strongly beneficial: natural selection can drive a selective sweep that will also cause the other alleles in the haplotype to become more common in the population; this effect is called genetic hitchhiking or genetic draft. [126] Genetic draft caused by the fact that some neutral genes are genetically linked to others that are under selection can be partially captured by an appropriate effective population size. [127]

نوترکیبی به ال‌ها مجال می‌دهد روی یک رشته DNA از یکدیگر جدا شوند. با این حال، میزان نوترکیبی پایین است (تقریباً دو نوترکیبی در هر کروموزوم در هر نسل). در نتیجه، ژن‌های نزدیک به هم روی یک کروموزوم همیشه از هم جدا نمی‌شوند و معمولاً با هم به ارث می‌رسند، پدیده‌ای که به آن پیوستگی {ژنی} {genetic linkage} می‌گویند<sup>84</sup>. [۱۲۵] این گرایش را از راه پیدا کردن دفعاتی که دو ژن روی یک کروموزوم با هم به ارث می‌رسند و مقایسه آن با تعداد مورد انتظار، اندازه می‌زنند، که عدم تعادل پیوستگی {linkage disequilibrium} نامیده می‌شود. تعدادی ال که معمولاً با هم به ارث می‌رسند هپلوتیپ {haplotype} خوانده می‌شود. پیوستگی ژنی می‌تواند مهم باشد زیرا وقتی یکی از ال‌های یک هپلوتیپ قویاً سودمند باشد، گزینش طبیعی می‌تواند یک گزینش جمعی {selective sweep} را به پیش ببرد که باعث می‌شود دیگر ال‌های آن هپلوتیپ در جمعیت رایج‌تر شوند. این اثر، مفت‌سواری ژنتیکی {genetic hitchhiking} یا رانش ژنتیکی نام دارد<sup>85</sup>. [۱۲۶] اینکه رانش ژنتیکی، ناشی از

<sup>82</sup> ترنس‌پوزان نام دیگر ژن‌های جهنده {jumping genes} است.

<sup>83</sup> در یکی از حاشیه‌ها گفته بودم که سطوح مختلف ساختار ژنتیکی بیش از این‌ها است که در این بند آمده.

<sup>84</sup> گاهی غر زدن به سلامت عقل کمک می‌کند! اگر من بخواهم راجع به کشف اتصال ژنی ماخدی بیاورم، احتمالاً خیلی در زمان عقب نمی‌روم و در سال‌های ۱۹۲۰ (!) و کارهای مورگان توقف می‌کنم. اشاره به ماخد شماره ۱۲۵ که در سال ۲۰۰۰ منتشر شده و پیوستگی ژنی موضوع اصلی آن نیست، قدری غریب است.

<sup>85</sup> برابر دانستن "مفت‌سواری ژنتیکی" و "رانش ژنتیکی"، به این شکلی که در اینجا آمده، محققان غلط است و بسیار هم غلط است. در ماخد شماره ۱۲۶ اندازه اثر این دو پدیده مقایسه شده‌اند، ولی این‌همانی بین آن‌ها وجود ندارد. این سوءتفاهمی بیش نیست. اثر ده‌ها روند مختلف روی تواتر ال‌ها را می‌توان اندازه زد، ولی این به آن معنی نیست که آن روندها این‌همانی دارند.

پیوستگی ژنتیکی برخی ژن‌های خنثی باشد که تحت تاثیر گزینش باشند را، می‌توان تا حدودی با اندازه موثر جمعیت {effective population size} مناسب توضیح داد<sup>86</sup>. [۱۲۷].<sup>87</sup>

## Sexual selection

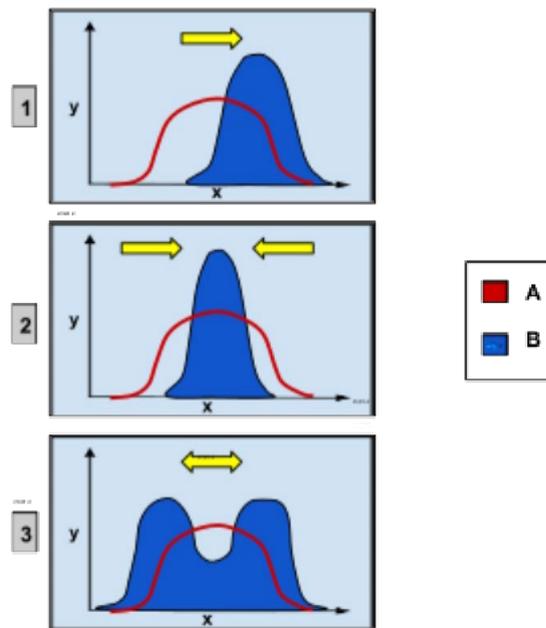
### گزینش جنسی

A special case of natural selection is sexual selection, which is selection for any trait that increases mating success by increasing the attractiveness of an organism to potential mates.[128] Traits that evolved through sexual selection are particularly prominent among males of several animal species. Although sexually favoured, traits such as cumbersome antlers, mating calls, large body size and bright colours often attract predation, which compromises the survival of individual males.[129][130] This survival disadvantage is balanced by higher reproductive success in males that show these hard-to-fake, sexually selected traits.[131]

نوع خاصی از گزینش طبیعی گزینش جنسی<sup>88</sup> است که گزینش برای هر صفتی است که موفقیت آمیزشی را به وسیله افزایش جذابیت یک موجودات برای جفت‌های احتمالی، بالا ببرد [۱۲۸]. صفت‌های که از راه گزینش جنسی فرگشت پیدا می‌کنند در نرهای برخی موجودات بروز خاصی دارند. صفاتی مانند شاخ‌های بزرگ در هم‌پیچیده، آوازهای آمیزشی، اندازه بدن بزرگ و رنگ‌های زیبا اگرچه از نظر جنسی ممکن است پسندیده باشند، توجه موجودات شکارگر را جلب می‌کنند که ماندگاری افراد نر را به خطر می‌اندازند. [۱۲۹] [۱۳۰] اثر منفی بر ماندگاری در نرهایی که این صفات پرهزینه گزینش جنسی شده را نشان می‌دهند با موفقیت بالاتر بازآوری جبران می‌شود [۱۳۱].

---

<sup>86</sup> نکته جالب اینکه جمله آخر در تناقض با ادعای برابری "مفت‌سواری ژنتیکی" و "رانش ژنتیکی" است. ماخذ شماره ۱۲۷ هم ادعای ویکی‌نویسان را رد می‌کند. در خلاصه ماخذ ۱۲۷ آمده: "Moreover, these rates are only weakly dependent on population size, again contrary to the strong dependency of drift-based dynamics" که ترجمه‌اش می‌شود "مضافاً، این میزان‌ها فقط به صورتی ضعیف به اندازه جمعیت وابسته هستند، برخلاف وابستگی شدید این پدیده به دینامیک‌های رانش بنیاد". نتیجه کلی اینکه ویکی‌نویسان در درک این موضوع دچار سوءتفاهم هستند.<sup>87</sup> این اختلاف نظری که بین من و ویکی‌نویسان مشاهده می‌کنید، بخشی طبیعی از مباحثات علمی است. اگر قرار بود ما این بحث را بجای ویکی‌پدیا در محافل علمی انجام می‌دادیم، آزمایش و فرمول و عدد و رقم به حل اختلاف نظر کمک می‌کرد. بهر جهت علم است و ساختن یک نظریه، رد کردن آن و ساختن یک نظریه بهتر، و ادامه این روند. هر نظریه‌ی تازه قدری از نادانی ما کم می‌کند و قدری به تعداد سوالات ما اضافه می‌کند.<sup>88</sup> از نظر داروین گزینش جنسی نوعی از گزینش بود که ربطی به گزینش طبیعی نداشت، به این معنی که داروین تصور می‌کرد صفت‌های مورد نظر ربطی به برازش نداشتند. اما بعدها نشان داده شد که برخی از مثال‌هایی که او و دیگران استفاده کرده‌اند، در واقع به برازش ربط داشته‌اند. اینکه برای این قبیل صفت‌ها، اصطلاح گزینش جنسی را بکار ببریم یا نه، تا حدی بستگی به سلیقه دارد!



These charts depict the different types of genetic selection. On each graph, the x-axis variable is the type of phenotypic trait and the y-axis variable is the number of organisms. Group A is the original population and Group B is the population after selection.

Graph 1 shows directional selection, in which a single extreme phenotype is favoured.

Graph 2 depicts stabilizing selection, where the intermediate phenotype is favoured over the extreme traits.

Graph 3 shows disruptive selection, in which the extreme phenotypes are favoured over the intermediate.

شکل‌های بالا انواع گزینش ژنتیکی را نمایش می‌دهند.

در هر شکل متغیر محور x نوع صفت فنوتیپی را نشان می‌دهد و متغیر محور y تعداد موجودات را نشان می‌دهد.

رنگ قرمز جمعیت را پیش از گزینش و رنگ آبی جمعیت را پس از گزینش نشان می‌دهد.

شکل ۱ گزینش جهت دار را نشان می‌دهد، که در آن فنوتیپ انتهایی گزینش می‌شود.

شکل ۲ گزینش پایاساز را نشان می‌دهد، که در آن فنوتیپ میانی بر فنوتیپ‌های انتهایی ترجیح دارند.

شکل ۳ گزینش ناپایاساز را نشان می‌دهد، که در آن فنوتیپ‌های انتهایی بر فنوتیپ‌های میانی ترجیح دارند.

## Genetic drift

### رانس ژنتیکی

Genetic drift is the random fluctuations of allele frequencies within a population from one generation to the next.[132] When selective forces are absent or relatively weak, allele frequencies are equally likely to *drift* upward or downward at each successive generation because the alleles are subject to sampling error.[133] This drift halts when an allele eventually becomes fixed, either by disappearing from the population or replacing the other alleles entirely. Genetic drift may therefore eliminate some alleles from a population due to chance alone. Even in the absence of selective forces, genetic drift can cause two

separate populations that began with the same genetic structure to drift apart into two divergent populations with different sets of alleles.[134]

رانش ژنتیکی نوسانات تصادفی تواتر ال‌ها درون یک جمعیت از نسلی به نسل دیگر است<sup>89</sup>. [۱۳۲] وقتی نیروهای گزینشی غایب یا نسبتاً ضعیف هستند، تواتر ال‌ها با احتمال برابر به بالا یا به پایین رانش دارد، زیرا ال‌ها در معرض خطای نمونه‌گیری {sampling error} هستند. [۱۳۳] وقتی یک ال نهایتاً تثبیت شود، یا با ناپدید شدن از جمعیت یا با جایگزینی کامل ال دیگر، رانش باز می‌ایستد. بنابراین رانش ژنتیکی، برخی ال‌ها را تنها بر حسب تصادف از جمعیت حذف می‌کند. حتی در غیبت نیروهای گزینشی، رانش ژنتیکی می‌تواند باعث شود دو جمعیت که از یک ساختار ژنتیکی شروع شده‌اند، شروع به رانش کرده و به دو جمعیت واگرا با تواتر ال<sup>90</sup> متفاوت تبدیل می‌شوند [۱۳۴].

The neutral theory of molecular evolution proposed that most evolutionary changes are the result of the fixation of neutral mutations by genetic drift.[135] Hence, in this model, most genetic changes in a population are the result of constant mutation pressure and genetic drift.[136] This form of the neutral theory is now largely abandoned, since it does not seem to fit the genetic variation seen in nature.[137][138] However, a more recent and better-supported version of this model is the nearly neutral theory, where a mutation that would be effectively neutral in a small population is not necessarily neutral in a large population.[107] Other alternative theories propose that genetic drift is dwarfed by other stochastic forces in evolution, such as genetic hitchhiking, also known as genetic draft.[133][127][139]

نظریه فرگشت مولکولی خنثی<sup>91</sup> {neutral theory of molecular evolution} مدعی است که بیشتر تغییرات فرگشتی محصول تثبیت جهش‌های خنثی توسط رانش ژنتیکی است. [۱۳۵] از این رو، در این مدل، بیشتر تغییرات ژنتیکی در یک جمعیت محصول فشار دائمی جهش و رانش ژنتیکی است. [۱۳۶] این شکل از نظریه خنثی در حال حاضر تا حد زیادی متروک است<sup>92</sup>، زیرا به نظر می‌رسد که با مشاهدات تغییرات ژنتیکی در طبیعت هم‌خوانی ندارد. [۱۳۷] [۱۳۸] با این حال، طرحی تازه‌تر و پش‌توانه‌دارتر از این مدل به نام نظریه تقریباً خنثی، که در آن یک جهش، در یک جمعیت کوچک عمل خنثی و در یک جمعیت بزرگ لزوماً خنثی نیست، به وجود آمده است. [۱۰۷] نظریه‌های جایگزین دیگر، مانند مفت‌سواری ژنتیکی که با نام

<sup>89</sup> تعریف رانش ژنتیکی به فصل سوم ماخذ شماره ۱۳۲ ارجاع داده شده. ارجاع صحیح، فصل هفتم است.

<sup>90</sup> در این مقاله تغییر تواتر ژنوتیپ‌ها {ترکیب دو ال در یک جایگاه} کاملن فراموش شده است. توصیه من این است که هرجایی که صحبت از تواتر ال‌هاست، به تواتر ژنوتیپ‌ها هم فکر کنید.

<sup>91</sup> نظر من در باره نظریه جهش‌های خنثی همان است که پیش از این گفته‌ام. اینجا باید توضیح بدهم که در تاریخ علم زیاد اتفاق افتاده است که یافته‌های یک شاخه از علم با تاخیر به دانشمندان شاخه‌های دیگر برسد (این را در نکته ۷؟؟ باز می‌کنم). این اتفاق هم که از گفته‌ها و یافته‌های دگران سوء برداشت داشته باشند، و بعد سوء برداشت خود را به گردن آن دیگری انداخته و رد کنند، زیاد اتفاق می‌افتد.

<sup>92</sup> نباید فراموش کنیم که دانشمندان هم انسان هستند و مثل هر انسان دیگری ضعف‌های خود را دارند. مثلن اگر کسی بتواند حرفی را که یک دانشمند بزرگ گفته ابطال کند، فکر می‌کند برای خود جایگاهی والا ساخته است. مثل آنکه داروین با رد نظریات دانشمندان پیشین نام خود را آوازه زبان‌ها ساخت، یا کیمورا با محدود کردن نظریات داروین دانشمندی شناخته شده گردید. بنابراین تلاش زیادی هم صورت می‌گیرد که نظریات دانشمندان پیشین را رد کنند تا نامی برای خود بسازند. سرنوشت بیشترین این تلاش‌ها همان سرنوشتی است که کیمورا برای ژن‌ها توصیف کرده: درصد زیادی از آن‌ها هیچ اثر قابل توجهی ندارند (خنثی هستند)، برخی اثرات مضر کوچکی دارند، و گاه گاهی هم (به ندرت) تلاشی به بهبود نظریات و یا ایجاد نظریه جدید و بهتری می‌انجامد. نکته بالا رمز موفقیت علم است. کسی از تأیید نظریات قبلی به نام و نان نمی‌رسد. اما تردید در نظریه‌های پیشین و سعی و تلاش برای ابطال و یا بهبود آن‌ها به پیشرفت دائمی علم می‌انجامد. اینجاست که باید فهمید که "همه نظریه‌های علمی غلط هستند" و اثبات غلط بودن آن‌ها زمان می‌برد، گاهی کم و گاهی زیاد. در ضمن، هم اینجاست که باید فهمید که "همه نظریات علمی برای مدتی و با گوشه‌ای سودمند هستند".

وزش ژنتیکی<sup>93</sup> هم خوانده می‌شود، پیشنهاد می‌کنند که رانش ژنتیکی کم اثرتر از دیگر نیروهای تصادفی فرگشت، مانند مفت‌سواری ژنتیکی، است<sup>94</sup>. [۱۳۳] [۱۲۷] [۱۳۹]<sup>95</sup>

The time for a neutral allele to become fixed by genetic drift depends on population size, with fixation occurring more rapidly in smaller populations.[140] The number of individuals in a population is not critical, but instead a measure known as the effective population size.[141] The effective population is usually smaller than the total population since it takes into account factors such as the level of inbreeding and the stage of the lifecycle in which the population is the smallest.[141] The effective population size may not be the same for every gene in the same population.[142]

زمان لازم برای تثبیت یک الل خنثی از راه رانش ژنتیکی به اندازه جمعیت بستگی دارد، و در جمعیت‌های کوچک سریعتر اتفاق می‌افتد. [۱۴۰] تعداد افراد در جمعیت اهمیت ثانوی دارد، در عوض مفهوم اندازه موثر جمعیت<sup>96</sup> {effective population size} نقش مهمی دارد. [۱۴۱] اندازه موثر جمعیت معمولاً کمتر از تعداد افراد جمعیت است زیرا عواملی مانند سطح هم‌آمیزی و آن مرحله از تاریخ زندگی<sup>97</sup> که جمعیت کوچکترین اندازه را داشته، در نظر می‌گیرد. [۱۴۱] اندازه موثر جمعیت ممکن است برای ژن‌های مختلف در آن جمعیت فرق کند.

---

<sup>93</sup> اول یک توضیح لغوی: واژه "رانش" drift" واژه ای است که در رابطه با آب به کار می‌رفته است، مثلن در مورد قایقی که روی آب سرگردان است و یا تنه شکسته درخت که آب دریا با خود آورده. ترکیب رانش ژنتیکی "genetic drift" نزدیک به ۱۰۰ سال سابقه دارد. حال که می‌خواهند تغییری در این "مفهوم" به وجود بیاورند، می‌خواهند اسم "مفهوم" را هم کمی عوض کنند و به جای واژه ی "drift" از واژه ی "draft" استفاده کنند. البته که واژه "draft" واژه ای است که در رابطه با هوا به کار می‌رود، مثلن هوایی که از درز پنجره می‌آید و یا بادی که در یک راهرو بپیچد. به نظرم تبدیل رانش به ورزش، قدری "لوس" است!

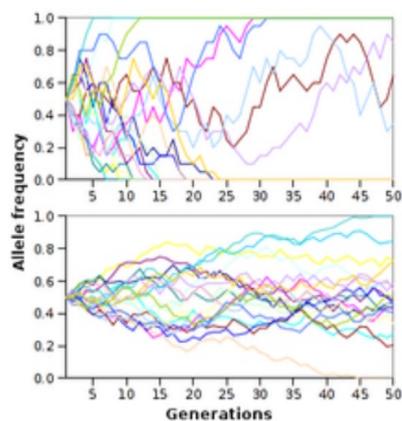
<sup>94</sup> با عرض معذرت باید بگویم که در این بند چنان آسمان-ریسمان بافی شده که نمی‌دانم از کجا شروع کنم.

<sup>95</sup> بهر جهت، در اینجا نظریه جهش‌های خنثی و بانی آن، کیمورا {Kimura}، قربانی یک سوء برداشت شده‌اند. یک دانشمند دیگر ژاپنی به نام اوتا {Ohta} و کیمورا، که با هم همکاری زیادی داشته اند، از سال ۱۹۷۱ حضور جهش‌های تقریباً خنثی و مختصرن مضر را در چهارچوب نظریه جهش‌های خنثی گنجانده بودند. به نظر می‌رسد ویکی‌نویسان با تاخیر با نظرات اوتا آشنا شده‌اند.

از نظر من پدیده "مفت‌سواری ژنتیکی" را با استفاده از پدیده "همبستگی ژنتیکی" {genetic correlation} و پاسخ وابسته‌گزینش {correlated selection response} در چهارچوب ژنتیک کتی، و با استفاده از پدیده "عدم تعادل پیوستگی" {linkage disequilibrium} در چهارچوب ژنتیک جمعیت، به راحتی می‌توان توضیح داد. به این "اکروبات بازی‌های" ویکی‌نویسان هم احتیاجی نیست. بهر جهت، مفت‌سواری ژنتیکی، رانش ژنتیکی نیست و بجز رانش ژنتیکی نیروی تصادفی دیگری وجود ندارد.

<sup>96</sup> اندازه موثر جمعیت {effective population size} یک مفهوم کلیدی و مرکزی در ژنتیک جمعیت و ژنتیک کتی است. همان طوری که "وراثت‌پذیری" یک تعریف مفهومی و چهار تعریف اجرایی داشت، اندازه موثر جمعیت یک تعریف مفهومی و شاید ده‌ها تعریف اجرایی داشته باشد. تعریف مفهومی آن را در این عبارت خنده‌دار می‌بینید: "اندازه موثر جمعیت برای یک جمعیت واقعی، تعداد افراد یک جمعیت آرمانی {idealized population} است که نرخ هم‌آمیزی آن مساوی با نرخ هم‌آمیزی جمعیت واقعی باشد." برپایه این تعریف مفهومی، که واقعاً پیچیده است، ده‌ها تعریف اجرایی وجود دارد. شرح کامل اندازه موثر جمعیت، و روش‌های اندازه‌گیری آن، هفتاد من کاغذ لازم دارد. آن چیزی که بند بالا می‌خواهد بگوید این است که محاسبه اندازه موثر جمعیت، در یک نسل تابعی از ساختار آمیزشی (تعداد موجودات نر و ماده و نسبت نر به ماده) و واریانس اندازه خانواده است. اندازه موثر جمعیت برای نسل‌های متوالی از روی میانگین هندسی نسل‌های مختلف به دست می‌آید.

<sup>97</sup> استفاده از عبارت "آن مرحله از تاریخ زندگی" در جمله ماقبل آخر، اشتباه است. درست آن است که مینوشتند "آن نسلی".



Simulation of genetic drift of 20 unlinked alleles in populations of 10(top) and 100 (bottom). Drift to fixation is more rapid in the smaller population.

شبهیه سازی رانش ژنتیکی برای ۲۰ ال ناپیوسته در یک جمعیت با ۱۰ فرد (شکل بالا) و ۱۰۰ فرد (شکل پایین). رانش به تثبیت، در جمعیت کوچک تر، سریع تر صورت می گیرد.

It is usually difficult to measure the relative importance of selection and neutral processes, including drift.[143] The comparative importance of adaptive and non-adaptive forces in driving evolutionary change is an area of current research. [144]

معمولن اندازه گیری اهمیت نسبی گزینش و روندهای خنثی، شامل رانش، دشوار است<sup>98</sup>. [۱۴۳] اهمیت مقایسه ای نیروهای سازگارانه و ناسازگارانه در پیشبرد فرگشت یکی از زمینه های تحقیقاتی کنونی است<sup>99</sup>. [۱۴۴]

## Gene flow

### جریان ژنی

Gene flow involves the exchange of genes between populations and between species.[99] The presence or absence of gene flow fundamentally changes the course of evolution. Due to the complexity of organisms, any two completely isolated populations will eventually evolve genetic incompatibilities through neutral processes, as in the Bateson-Dobzhansky-Muller model, even if both populations remain essentially identical in terms of their adaptation to the environment.

<sup>98</sup> خنثی بودن و در معرض رانش بودن دو مفهوم جدا هستند. هر ژنی، صرف نظر اینکه اثرش مثبت، منفی یا خنثی باشد، در جمعیت های کوچک در معرض رانش قرار دارد.

<sup>99</sup> اول آنکه ماخذ ۱۴۴ مربوط است به سال ۲۰۰۵ است، وقدری قدیمی شده و دیگر نمی تواند برای زمینه های "کنونی" تحقیقات به کار رود. دوم آنکه مطالعه مقایسه ای نیروهای فرگشتی بیش از ۱۶۰ سال است که موضوع داغ تحقیقاتی است!!

جریان ژنی مبادله ژنی بین جمعیت‌ها و بین گونه‌ها را در بر می‌گیرد. [۹۹] حضور و غیبت جریان ژنی تغییر اساسی در مسیر فرگشت ایجاد می‌کند. به علت پیچیدگی موجودات، دو جمعیت کاملن مجزا، حتی اگر هر دو جمعیت در سازگاری با محیط همسان باقیمانده باشند، از طریق روندهای خنثی، مانند مدل بیتسون-دوبزینسکی-مولر {Bateson – Dobzhansky - Muller}، نهایتن ناهمخوانی‌های ژنتیکی پیدا می‌کنند.

If genetic differentiation between populations develops, gene flow between populations can introduce traits or alleles which are disadvantageous in the local population and this may lead to organisms within these populations evolving mechanisms that prevent mating with genetically distant populations, eventually resulting in the appearance of new species. Thus, exchange of genetic information between individuals is fundamentally important for the development of the *Biological Species Concept* (BSC).

اگر انشعاب ژنتیکی بین جمعیت‌ها گسترش یابد، جریان ژنی بین جمعیت‌ها می‌تواند به ورود صفات یا ال‌هایی که در جمعیت محلی مضر هستند بیانجامد و این باعث شود که موجودات درون این جمعیت‌ها سازوکارهایی فرگشتی ایجاد کنند که از آمیزش بین جمعیت‌هایی که از نظر ژنتیکی از هم دور هستند، جلوگیری کنند، که ناچاراً به پیدایش گونه‌ای جدید می‌انجامد. به این ترتیب تبادل اطلاعات ژنتیکی بین افراد اساسن برای توسعه مفهوم گونه زیست‌شناسانه {Biological Species Concept} BSC = مهم است.

During the development of the modern synthesis, Sewall Wright developed his *shifting balance theory*, which regarded gene flow between partially isolated populations as an important aspect of adaptive evolution. [145] However, recently there has been substantial criticism of the importance of the shifting balance theory. [146]

در طول توسعه نظریه سنتز نوین، سیوال رایت<sup>100</sup> {Sewall Wright} نظریه تعادل انتقالی {shifting balance theory} خود را ارائه کرد، که جریان ژنی بین جمعیت‌هایی را که بطور نسبی مجزا هستند، عاملی مهم در فرگشت سازگاران می‌شناخت. [۱۴۵] با این حال، این اواخر نظریه تعادل انتقالی با انتقاداتی روبرو شده است<sup>101</sup>. [۱۴۶]

## Mutation bias

### جهش سوگیرانه

Mutation bias is usually conceived as a difference in expected rates for two different kinds of mutation, e.g., transition-transversion bias, GC-AT bias, deletion-insertion bias. This is related to the idea of developmental bias.

<sup>100</sup> مقاله اول رایت در این زمینه، در سال ۱۹۳۲ نوشته شده است.

<sup>101</sup> ماخذ شماره ۱۴۶ که با واژه "اواخر" به آن اشاره شده، مربوط است به سال ۱۹۹۷.

جهش سوگیرانه<sup>102</sup> معمولن تفاوت در میزان مورد انتظار دو نوع مختلف جهش است، مثلن سوگیری باهم-بایکدیگر {transition-transversion}، سوگیری GC-AT، سوگیری افزوده-کاسته<sup>103</sup> {deletion-insertion}، جهش سوگیرانه به مفهوم سوگیری رشدی {developmental bias} مربوط است<sup>104</sup>.

Haldane[147] and Fisher[148] argued that, because mutation is a weak pressure easily overcome by selection, tendencies of mutation would be ineffectual except under conditions of neutral evolution or extra ordinarily high mutation rates. This opposing-pressures argument was long used to dismiss the possibility of internal tendencies in evolution,[149] until the molecular era prompted renewed interest in neutral evolution.

هلدین [۱۴۷] و فیشر [۱۴۸] استدلال کردند که به علت آنکه نیروی گزینش به راحتی بر نیروی ضعیف جهش غلبه می کند، اثرات جهش، به جز تحت شرایط فرگشت خنثی یا میزان بسیار بالای جهش، ناموثر خواهد بود. تقابل نیروهای مختلف فرگشتی، برای مدتی طولانی برای رد امکان تمایلات درونی {internal tendencies} برای فرگشت [۱۴۹] استفاده می شد، تا آن که فرارسیدن دوران مولکولی علاقه به فرگشت خنثی را دوباره زنده کرد<sup>105</sup>.

Noboru Sueoka[150] and Ernst Freese[151] proposed that systematic biases in mutation might be responsible for systematic differences in genomic GC composition between species. The identification of a

---

<sup>102</sup> باز هم ویکی نویسان بدون شرح مقدمات، به شرح جرئیات پرداخته اند. بازهای آلی موجود در DNA در دو گروه پیریمیدین (تک حلقه ای شامل سیتوزین C و تیمن T) و پیریمیدین (دو حلقه ای شامل ادنین A و گوانین G) هستند. سوگیری باهم-بایکدیگر تفاوت در میزان جهش از یک باز آلی به باز آلی دیگر درون گروه خود (با هم) و جهش از یک باز آلی به باز آلی دیگر در گروه دیگر (با یکدیگر) است. سوگیری GC-AT مربوط است به تفاوت تعداد دو باز آلی C و G به نسبت تعداد دو باز آلی A و T.

<sup>103</sup> سوگیری deletion-insertion که نوشتن آن به صورت insertion-deletion معمول تر است، اضافه شدن یا کم شدن بخشی از کروموزوم است. بخش افزوده-کاسته می تواند از یک تا میلیون ها نوکلئوتید باشد.

<sup>104</sup> از دیدگاه من، این بخش {جهش سوگیرانه} را باید وارد شدن در موضوعاتی فرعی و بسیار کم اهمیت قلمداد کرد که در مورد آن ها هیچ توافق عمومی وجود ندارد، و همچنین جایی در یک مقاله ویکی پدیایی ندارند. اگر بنا باشد موضوعاتی شبیه این در اینجا بیاید، آموغ طول این مقاله به هزاران صفحه خواهد رسید. به عنوان مثال در ماخذ شماره ۳ که کتابی بیش از ۷۰۰ صفحه است به موضوع جهش سوگیرانه اصلن اشاره ای نشده است.

<sup>105</sup> این بند هم از آن بندهایی است که هم با بندهای پیشین تناقض دارد و هم تناقض درونی دارد. ویکی نویسان، پیش از این دو مدل مختلف فرگشت با روندهای تصادفی از راه جهش های خنثی را که رایت (۱۹۳۲) و کیمورا (۱۹۶۸) مطرح کرده بودند، رد کرده اند. اما دوباره آن را به شکلی نامشخص در اینجا به پیش می کشند. از آن گذشته، تا به اینجا هیچ اشاره ای به "تمایلات درونی" هم نشده بود. معلوم هم نیست که منشاء "تمایلات درونی" چیست و کیست! ژن است، فرد است یا جمعیت؟ و چگونه؟ آیا غایت طلبانه است؟ یک مشکل اینجور استدلال است این است که تکلیف خود را با لامارک و تمایلات درونی که او به آن ها معتقد بود، روشن نکرده اند. به چشم و گوش من ادعای این بند بسیار شبیه استدلال غیر علمی قرن های ۱۷ و ۱۸ است. مشکل دیگر این بند آنست که فکر می کند پراکندگی در همه سطوح را باید با یک نظریه واحد توضیح بدهد. اما چنین اجباری وجود ندارد. در بعضی سطوح و بعضی صفات و بعضی شرایط زمانی-مکانی این نظریه درست است، و در بعضی نظریه ای دیگر. یادآوری می کنم که در فیزیک هنوز یک نظریه که چهار نیروی طبیعت (ضعیف، قوی، برقاطیس و گرانش) را با هم توضیح بدهد، نداریم. بگذریم از اینکه فرضیاتی هم هست که احتمال یک نیروی پنجم را هم در نظر میگیرند. در زیست شناسی و فرگشت هم نظریه ای وجود ندارد که همه چیز را در همه سطوح توضیح دهد.

GC-biased *E.coli* mutator strain in 1967,[152] along with the proposal of the neutral theory, established the plausibility of mutational explanations for molecular patterns, which are now common in the molecular evolution literature.

نوبورو سووکا [۱۵۰] و ارنست فریز<sup>106</sup> [۱۵۱] پیشنهاد کردند که سوگیری‌های سیستماتیک جهشی ممکن است مسئول تفاوت‌های سیستماتیک ترکیب ژنومیک GC بین گونه‌ها باشند. شناسایی سوگیری GC در اشریشیا کولی سویه-جهشی در سال ۱۹۶۷ [۱۵۲]، به همراه پیشنهاد نظریه خنثی، امکان توضیح جهشی برای الگوهای مولکولی را پایه ریزی کرد، که اکنون در انتشارات فرگشت مولکولی به فراوانی دیده می‌شوند.

For instance, mutation biases are frequently invoked in models of codon usage.[153] Such models also include effects of selection, following the mutation-selection-drift model,[154] which allows both for mutation biases and differential selection based on effects on translation. Hypotheses of mutation bias have played an important role in the development of thinking about the evolution of genome composition, including isochores.[155] Different insertion vs. deletion biases in different taxa can lead to the evolution of different genome sizes.[156][157] The hypothesis of Lynch regarding genome size relies on mutational biases toward increase or decrease in genome size.

برای مثال، سوگیری‌های جهشی، به تکرار در مدل‌های استفاده کدون {codon = رمزژن} به کار می‌رود [۱۵۳]. این مدل‌ها شامل اثر گزینش هم می‌شوند، که دنباله‌روی از مدل گزینش-رانس [۱۵۴]، که اثر سوگیری جهشی و گزینش تفریقی بر ترجمه ژنی را مجاز می‌دارد. فرضیه‌های سوگیری جهشی نقش مهمی را در توسعه تفکر درباره فرگشت ترکیب بندی ژنوم {genomic composition}، شامل ایزکورها {isochore}، ایفا کرده‌اند. [۱۵۵] سوگیری افزوده-کاسته در تکسون‌های مختلف می‌تواند به فرگشت اندازه متفاوت ژنوم منجر گردد. [۱۵۶] [۱۵۷] فرضیه لینچ {Lynch} در باره اندازه ژنوم، به سوگیری جهشی به سمت افزایش یا کاهش اندازه ژنوم بستگی دارد<sup>107</sup>.

However, mutational hypotheses for the evolution of composition suffered a reduction in scope when it was discovered that (1) GC-biased gene conversion makes an important contribution to composition in diploid organisms such as mammals[158] and (2) bacterial genomes frequently have AT-biased mutation.[159]

با این حال، فرضیه‌های جهشی برای فرگشت ترکیب بندی، گستردگی خود را در اثر دو کشف جدید از دست دادند: (۱) تبدیل ژنی مبتنی بر سوگیری GC سهم مهمی در ترکیب بندی {ژنتیکی} در موجودات دیپلوئید مانند پستانداران دارد [۱۵۸] و (۲) ژنوم باکتری‌ها غالباً جهش‌های با سوگیری AT دارند. [۱۵۹]

Contemporary thinking about the role of mutation biases reflects a different theory from that of Haldane and Fisher. More recent work[149] showed that the original "pressures" theory assumes that evolution is

<sup>106</sup> ماخذ ۱۵۰ و ماخذ ۱۵۱ چاپ ۱۹۶۲ هستند!

<sup>107</sup> به نظر من، در این چند بند، رشته کلام از دست ویکی‌نویسان در رفته است! معلوم نیست که فرگشت اندازه ژنوم، که به خودی خود موضوع جالب و مهمی است، چه نقشی در این مقاله ویکی‌پدیایی دارد؟ هزیان‌های یکی دو بند بعدی هم همین را نشان می‌دهد!

based on standing variation: when evolution depends on the introduction of new alleles, mutational and developmental biases in the introduction can impose biases on evolution *without requiring neutral evolution or high mutation rates*.

اندیشه‌های معاصر درباره جهش سوگیرانه منعکس کننده نظریه‌ای متفاوت از آن چیزی است که هلدین و فیشر عرضه کرده بودند. تحقیقات جدیدتر [۱۴۹] نشان داده است که نظریه ابتدایی "فشارها" فرض را بر این دارد که فرگشت بر اساس پراکندگی پایدار بنا شده: هنگامی که فرگشت به وجود ال‌های تازه وابسته باشد، سوگیری‌های جهشی و رشدی می‌توانند سوگیری‌هایی را بر فرگشت اعمال کنند بدون این که به فرگشت خنثی یا میزان بالای جهش نیازی باشد<sup>108</sup>.

Several recent studies report that the mutations implicated in adaptation reflect common mutation biases[160][161][162] though others dispute this interpretation.[163]

چند تحقیق جدیدتر گزارش کرده‌اند که جهش‌هایی که به نظر می‌رسد در سازگاری نقش داشته‌اند، منعکس کننده کارکرد جهش‌های سوگیرانه هستند [۱۶۰] [۱۶۱] [۱۶۲] ، اگر چه دیگران در این تفسیر تردید کرده‌اند [۱۶۳].

---

<sup>108</sup> یاد چند نکته مهم و بسیار مهم افتادم. بنگت مولندر {Bengt Molander}، یک فیلسوف علم از کشور سوئد، می‌گوید "دانشمندان به آن روشی کار می‌کنند که خودشان می‌خواهند"، به این مفهوم که دانشمندان معمولاً موقع انجام تحقیق در فکر این نیستند که فیلسوفان علم چه نظری راجع به روش‌های تحقیقی آن‌ها دارند. من هم با مولندر موافقم. خوب است که دانشمندان به فلسفه علم آگاهی داشته باشند، اما دانشمندان نباید خیلی در وسواس قضاوت فیلسوفان علم باشند. بالاخره روند این است که دانشمندان کار خود را می‌کنند و بعد فیلسوفان علم روش‌های کاری دانشمندان را "تئوریزه" می‌کنند.

اما بسیار اهمیت دارد که دانشمندان هر چه زودتر "تحلیل استدلال" {argumentation analysis} را، که باید بخشی از منطق {logic} به حساب آورد، خوب بدانند. در غیر این صورت، حرف دیگر دانشمندان را بد می‌فهمند و بد عرضه می‌کنند و بعد به آن بد حمله می‌کنند و حتی از نظر خودشان بد دفاع می‌کنند. اشاره به هلدین و فیشر مرا به یاد این داستان انداخت که گزینش طبیعی یک روند دو مرحله‌ای است. در مرحله اول، در اثر به وجود آمدن جهش (و گسترش و انتقال آن)، پراکندگی فنوتیپی پایدار در جمعیت بروز می‌کند. سپس در مرحله دوم، آن فنوتیپ‌هایی که در سازگاری با محیط باشند، امکان برازش {= ماندگاری x باروری} بالاتری پیدا می‌کنند. هر دانشمندی، خواه داروین باشد، خواه هلدین یا فیشر، می‌تواند در مورد یکی از این دو مرحله نظری اشتباه داشته باشد، بدون آنکه نظریش در مورد مرحله دیگر اشتباه باشد. اساساً، استدلال‌هایی که راجع به بخش‌های مختلف یک روند پیچیده وجود دارد، لازم نیست که وابسته به هم باشند. مثلاً، داروین یک نظر غلط اندر غلط راجع به ایجاد پراکندگی ژنتیکی و راجع به توارث داشت. آیا این اشتباه ربطی به نظر او راجع به سازگاری با محیط و یا مفهوم برازش {fitness} دارد؟ نه! ندارد! بنابراین، من به شما توصیه می‌کنم، اگر آب در دست دارید، آن را به زمین بگذارید، و بروید سراغ یادگیری "تحلیل استدلال". آن ضرب‌المثل شیرین فارسی که می‌گوید "چه ربطی هست بین آقای گودرزی و آقای شقایق؟" راجع به بسیاری از بندهای این مطلب ویکی‌پدیا مصداق دارد و پر واضح است که ویکی‌نویسان "تحلیل استدلال" را رعایت نکرده‌اند. این مطلب ویکی‌پدیا پر است از جملاتی که نهاد و گزاره آن با هم نمی‌خواند. آنچه هلدین و فیشر راجع به "به وجود آمدن پراکندگی پایدار" گفته‌اند با آنچه راجع به "اثر وجود پراکندگی پایدار" گفته‌اند، دو موضوع مختلف است.

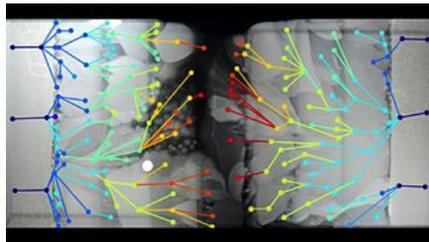
حیف از این فرصتی که ویکی‌پدیا در اختیار ما گذاشته و ما خوب از آن استفاده نمی‌کنیم.

## Outcomes

### پیامدها

Evolution influences every aspect of the form and behaviour of organisms. Most prominent are the specific behavioural and physical adaptations that are the outcome of natural selection. These adaptations increase fitness by aiding activities such as finding food, avoiding predators or attracting mates. Organisms can also respond to selection by cooperating with each other, usually by aiding their relatives or engaging in mutually beneficial symbiosis. In the longer term, evolution produces new species through splitting ancestral populations of organisms into new groups that cannot or will not interbreed.

فرگشت بر تمام جنبه‌های ریخت و رفتار موجودات تاثیر می‌گذارد. بارزترین اثرها به سازگاری‌های رفتاری و بدنی مربوط است که پیامد گزینش طبیعی هستند. سازگاری‌ها از راه کمک به فعالیت‌هایی مانند پیدا کردن غذا، پرهیز از شکارگران یا جلب جفت، برایش را افزایش می‌دهند. موجودات همچنان می‌توانند به گزینش برای همکاری با یکدیگر، معمولن به صورت کمک به خویشاوندان خود، یا شرکت در همزیستی متقابل، پاسخ دهند. در دراز مدت، فرگشت، گونه‌های جدید را از راه تقسیم جمعیت‌های نیایی موجودات به گروه‌هایی که نمی‌توانند یا نمی‌خواهند درون‌آمیزی کنند، به وجود می‌آورد<sup>109</sup>.



A visual demonstration of rapid antibiotic resistance evolution by *E. coli* growing across a plate with increasing concentrations of trimethoprim.[164]

نمایش تصویری فرگشت سریع مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتک در اشریشیا کولی بر سطحی شیشه‌ای با غلظت افزایشی تریمتوپریم {trimethoprim}. [۱۶۴]

These outcomes of evolution are distinguished based on time scale as macroevolution versus microevolution. Macroevolution refers to evolution that occurs at or above the level of species, in particular speciation and extinction; whereas microevolution refers to smaller evolutionary changes within a species or population, in particular shifts in allele frequency and adaptation.[165] In general, macroevolution is regarded as the outcome of long periods of microevolution.[166] Thus, the distinction between micro- and macroevolution is not a fundamental one—the difference is simply the time involved.[167] However, in macroevolution, the traits of the entire species may be important. For instance, a large amount of variation among individuals allows a species to rapidly adapt to new habitats, lessening the chance of it going extinct, while a wide geographic range increases the chance of speciation, by

---

<sup>109</sup> گونه زایی لازم نیست که همیشه با تقسیم یک جمعیت نیایی رخ دهد. گاهی اوقات تغییرات درون یک جمعیت به حدی می‌رسد که آن را باید گونه ای جدید به حساب آورد.

making it more likely that part of the population will become isolated. In this sense, microevolution and macroevolution might involve selection at different levels—with microevolution acting on genes and organisms, versus macroevolutionary processes such as species selection acting on entire species and affecting their rates of speciation and extinction.[168][169][170]

پیامدهای فرگشت بر اساس مقیاس زمانی به بزرگ‌فرگشت {macroevolution} در مقابل کوچک‌فرگشت {microevolution} تقسیم‌بندی می‌شوند. بزرگ‌فرگشت به فرگشتی اشاره دارد که در سطح گونه یا بالاتر از آن اتفاق می‌افتد، مخصوصاً گونه‌زایی و گونه‌مرگی. در مقابل، کوچک‌فرگشت اشاره به تغییرات کوچک‌تر فرگشتی درون یک گونه یا جمعیت، به خصوص درباره جابجایی تواتر ال‌ها و سازگاری، می‌باشد. [۱۶۵] به طور کلی، بزرگ‌فرگشت پیامد دوران طولانی کوچک‌فرگشت قلمداد می‌شود. [۱۶۶] به این ترتیب، تفکیک بین کوچک‌فرگشت و بزرگ‌فرگشت یک تفکیک اساسی نیست، تفاوت فقط شامل زمان است [۱۶۷]. با این حال، در بزرگ‌فرگشت، تمامی صفات‌های یک گونه ممکن است مهم باشد. برای مثال، مقدار زیادی از پراکندگی بین افراد مجال سازگاری سریع به زیستگاه‌های جدید را فراهم می‌کند، و احتمال منقرض شدن را کم می‌کند، در حالی که دامنه گسترده جغرافیایی احتمال گونه‌زایی را، از راه بالا بردن احتمال جدا شدن بخشی از جمعیت، افزایش می‌دهد. در این معنی، کوچک‌فرگشت و بزرگ‌فرگشت ممکن است شامل گزینش در سطوح متفاوت باشد، به این شکل که کوچک‌فرگشت روی ژن‌ها و موجودات عمل کند، در مقابل روندهای بزرگ‌فرگشتی مانند گونه‌گزینی {species selection} روی گونه‌ها و میزان گونه‌زایی و گونه‌مرگی آن‌ها عمل کند<sup>110</sup>. [۱۶۸] [۱۶۹] [۱۷۰]

A common misconception is that evolution has goals, long-term plans, or an innate tendency for "progress", as expressed in beliefs such as orthogenesis and evolutionism; realistically however, evolution has no long-term goal and does not necessarily produce greater complexity.[171][172][173] Although complex species have evolved, they occur as a side effect of the overall number of organisms increasing and simple forms of life still remain more common in the biosphere.[174] For example, the overwhelming majority of species are microscopic prokaryotes, which form about half the world's biomass despite their small size,[175] and constitute the vast majority of Earth's biodiversity.[176] Simple organisms have therefore been the dominant form of life on Earth throughout its history and continue to be the main form of life up to the present day, with complex life only appearing more diverse because it is more noticeable. [177] Indeed, the evolution of microorganisms is particularly important to modern evolutionary research, since their rapid reproduction allows the study of experimental evolution and the observation of evolution and adaptation in real time.[178][179]

یک بدفهمی متداول آن است که فرگشت، هدف یا طرح درازمدت یا یک تمایل درونی برای "پیشرفت" دارد، مانند آنچه که در عقایدی مانند اورتوژنسیس {orthogenesis} و فرگشت‌گیری<sup>111</sup> {evolutionism} بیان می‌شود، اما با یک دید واقع‌بینانه، فرگشت مقاصد درازمدت ندارد و لزومن پیچیده‌گی بیشتر ایجاد نمی‌کند. [۱۷۱] [۱۷۲] [۱۷۳] اگر چه گونه‌های پیچیده، فرگشت کرده‌اند، آن‌ها اثر جانبی تعداد فزاینده‌ی کلی موجودات<sup>112</sup> هستند و شکل‌های ساده حیات هنوز در زیست‌کره {biosphere} فراوان‌تر هستند. [۱۷۴] برای مثال، اکثر قریب به اتفاق گونه‌ها، موجودات میکروسکوپی بی‌هستگان هستند که، علیرغم جثه کوچک شان، حدود نیمی از جرم زیستی دنیا را تشکیل می‌دهند [۱۷۵]، و بیشتر گوناگونی زیستی زمین را در بر دارند. [۱۷۶]

<sup>110</sup> در اینجا، اشاره به ماخذ شماره ۱۶۸ مرا به یاد این انداخت که من در عمرم، فقط یک بار از خواندن یک کتاب حالتی نیمه‌پشیمان داشتم و یک بار هم حالتی پشیمان. کتابی که موقع خواندنش نیمه‌پشیمان بودم و هستم، ماخذ شماره ۱۶۸، کتاب تقریباً ۱۵۰۰ صفحه‌ای گولد [Gould] است!  
<sup>111</sup> "فرگشت‌گیری" اشاره به نظریه‌ای در قرن ۱۸ و ۱۹ دارد که موجودات را قادر به تغییر ارادی خود می‌دانست.

<sup>112</sup> فهم این مطلب که پیدایش گونه‌های پیچیده "اثر جانبی تعداد فزاینده کلی موجودات {است}" ساده نیست. اما امیدوارم تمام تلاش خود را برای فهم این مطلب به کار ببرید.

بنابراین موجودات ساده تا امروز شکل غالب زندگی بر روی زمین بوده‌اند، و زندگی پیچیده فقط در ظاهر گوناگون تر به نظر می‌آیند، چون قابل توجه‌تر هستند. [۱۷۷] در حقیقت، فرگشت موجودات کوچک از نظر تحقیقات جدید فرگشتی اهمیت خاصی دارند، زیرا تولیدمثل سریع آن‌ها مجال مطالعه فرگشت آزمایشی و مشاهده فرگشت و سازگاری در زمان جاری را، ممکن می‌سازد. [۱۷۸] [۱۷۹]

## Adaptation

### سازگاری

Adaptation is the process that makes organisms better suited to their habitat.[180][181] Also, the term adaptation may refer to a trait that is important for an organism's survival. For example, the adaptation of horses' teeth to the grinding of grass. By using the term *adaptation* for the evolutionary process and *adaptive trait* for the product (the bodily part or function), the two senses of the word may be distinguished. Adaptations are produced by natural selection.[182] The following definitions are due to Theodosius Dobzhansky

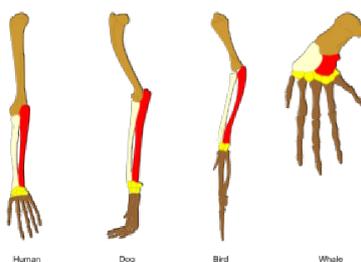
- *Adaptation* is the evolutionary process where by an organism becomes better able to live in its habitat or habitats.[183]
- *Adaptedness* is the state of being adapted: the degree to which an organism is able to live and reproduce in a given set of habitats.[184]
- An *adaptive trait* is an aspect of the developmental pattern of the organism which enables or enhances the probability of that organism surviving and reproducing.[185]

سازگاری {adaptation} روندی است که باعث می‌شود موجودات با زیستگاه خود تناسب بهتری پیدا کنند. [۱۸۰] [۱۸۱] همچنین، اصطلاح سازگاری ممکن است به یک صفت که برای ماندگاری موجود مهم باشد به کار رود. برای مثال، سازگاری دندان‌های اسب برای آسیا کردن علف. به وسیله به کار بردن اصطلاح سازگاری برای روند فرگشتی و صفت سازگارانگی برای محصول آن (بخشی یا کارکردی از بدن)، دو معنای مختلف این اصطلاح را می‌توان تفکیک کرد. سازگاری‌ها محصول گزینش طبیعی هستند. [۱۸۲] تقسیم‌بندی زیر پیشنهاد تئودوسیوس دوبژنسکی است:

- سازگاری روند فرگشتی است که یک موجود بتواند به زندگی بهتر در زیستگاه یا زیستگاه‌هایش، قادر شود<sup>113</sup>. [۱۸۳]
- سازگارانگی حالت سازگار شدن است: درجه‌ای که موجودات را به زندگی و بازآوری در یک زیستگاه مشخص قادر می‌شود. [۱۸۴]
- یک صفت سازگارانگی جنبه‌ای از الگوی رشد موجود است که احتمال ماندگاری و بازآوری آن موجود را ممکن کرده و یا بهبود بخشد. [۱۸۵]

---

<sup>113</sup> اجازه بدهید قدری موشکافی کنم و بگویم که اولین جمله در باره جزئیات و ترکیب یک "جمعیت" طی نسل‌های متوالی است، بدین ترتیب که تواتر الل‌ها، ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها تغییر می‌کند. جمعیت است که سازگاری میکند. یک موجود منفرد در سراسر زندگی همان الل‌ها و ژنوتیپ را دارد، که تغییر نمی‌کنند.



Homologous bones in the limbs of tetrapods. The bones of these animals have the same basic structure, but have been adapted for specific uses.

استخوان‌های همسان در اندام‌های چهارپایان<sup>114</sup> [tetrapods]. استخوان‌های این حیوانات دارای ساختار بنیادی همانندی هستند، اما برای مصارف خاصی سازگار شده‌اند.

Adaptation may cause either the gain of a new feature, or the loss of an ancestral feature. An example that shows both types of change is bacterial adaptation to antibiotic selection, with genetic changes causing antibiotic resistance by both modifying the target of the drug, or increasing the activity of transporters that pump the drug out of the cell.[186] Other striking examples are the bacteria *Escherichia coli* evolving the ability to use citric acid as a nutrient in a long-term experiment,[187] *Flavobacterium* evolving a novel enzyme that allows these bacteria to grow on the by-products of nylon manufacturing,[188][189] and the soil bacterium *Sphingobium* evolving an entirely new metabolic pathway that degrades the synthetic pesticide pentachlorophenol.[190][191] An interesting but still controversial idea is that some adaptations might increase the ability of organisms to generate genetic diversity and adapt by natural selection (increasing organisms' evolvability).[192][193][194][195][196]

سازگاری ممکن است باعث کسب ویژگی جدید، یا حذف یک ویژگی اجدادی بشود. مثالی که هر دو نوع تغییر را نشان می‌دهد سازگاری باکتریایی به گزینش آنتی‌بیوتیک است {مقاومت در مقابل آنتی‌بیوتیک}. {در ایجاد مقاومت} تغییر ژنتیکی باعث می‌شود مقاومت در مقابل آنتی‌بیوتیک {از دو راه} پیرایش هدف دارو، یا افزایش فعالیت ناقل‌های مسئول پمپ کردن دارو از سلول، به وجود آید. [۱۸۶] مثال‌های برجسته دیگر مربوط هستند به {۱} باکتری اشریشیا کولی که توانسته توانایی مصرف اسید سیتریک را به عنوان یک ماده غذایی در یک آزمایش درازمدت فرگرد کند [۱۸۷]، {۲} فلاوباکتری {flavobacterium} که یک آنزیم تازه را فرگرد کرده که اجازه می‌دهد این باکتری‌ها روی بستری از محصولات جنبی تولید نایلون رشد کنند [۱۸۸] [۱۸۹]، و {۳} باکتری خاکی سفینگوبیوم {Sphingobium} که در یک مسیر متابولیک کاملن جدید، حشره‌کش پنتاکلروفنول {pentachlorophenol} را تخریب می‌کند. [۱۹۰] [۱۹۱] یک اندیشه جالب، اما بحث‌انگیز<sup>115</sup>، آن است که برخی سازگاری‌ها

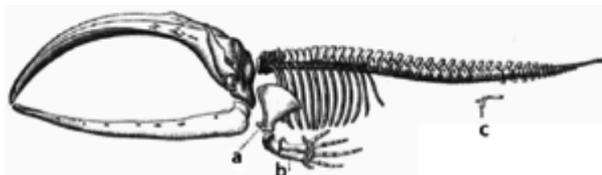
<sup>114</sup> میتوانستیم به جای چهارپایان، بنویسم چهارپایان! اما از آن جایی که در دام داری و دام پزشکی چهار پا {به معنی اسب و گاو ...} ممکن است در مقابل دو پا {به معنی مرغ و غاز ...} به کار رود، فکر کردن چهارپایان بهتر است!

<sup>115</sup> دیده‌ام که در ایران واژه‌هایی را که با "انگیز" ساخته میشوند، تقریباً همیشه "برانگیز" می‌نویسند. دوستی دارم که با این کار مخالف است، با این استدلال که "انگیز" در معنی "انگیختن" در درون خود مفهوم "بر" را دارد. بنابراین نوشتن "برانگیز" درست نیست. در نتیجه "بحث‌انگیز" درست است.

ممکن است توانایی موجودات برای ایجاد گوناگونی ژنتیکی و سازگاری توسط گزینش طبیعی را، بالا ببرند (افزایش فرگشت‌پذیری<sup>116</sup> {evolvability} موجودات<sup>117</sup>). [۱۹۲] [۱۹۳] [۱۹۴] [۱۹۵] [۱۹۶]

Adaptation occurs through the gradual modification of existing structures. Consequently, structures with similar internal organisation may have different functions in related organisms. This is the result of a single ancestral structure being adapted to function in different ways. The bones within bat wings, for example, are very similar to those in mouse feet and primate hands, due to the descent of all these structures from a common mammalian ancestor. [198] However, since all living organisms are related to some extent, [199] even organs that appear to have little or no structural similarity, such as arthropod, squid and vertebrate eyes, or the limbs and wings of arthropods and vertebrates, can depend on a common set of homologous genes that control their assembly and function; this is called deep homology. [200] [201]

سازگاری از راه پیرایش تدریجی ساختارهای موجود اتفاق می‌افتد. در نتیجه، ساختارهای با سازمان درونی همسان، ممکن است کارکردها متفاوتی در موجودات خویشاوند داشته باشند. این نتیجه‌ی آن است که یک ساختار اجدادی از راه‌های مختلف به سازگاری برای کاری برسد. برای مثال، استخوان‌های درون بال خفاش، به علت اینکه تبار ساختار آن به ساختار جد مشترک پستانداران می‌رسد، خیلی شبیه پای موش و دست نخستی‌ها {انسان نماها} است. [۱۹۸] با این حال، از آنجاییکه تمام موجودات زنده تا حدی به هم مربوطند، [۱۹۹] حتی ارگان‌هایی که به نظر می‌رسد شباهت ساختاری کم یا هیچ با یکدیگر دارند، مانند چشم بندپایان، ماهی مرکب و مهره‌داران، یا دست و پا و بال بندپایان و مهره‌داران، می‌توانند به دسته‌ای از ژن‌های همسان که سرهم‌بندی و کارکرد آن‌ها را کنترل می‌کنند، وابستگی داشته باشند. این پدیده همسانی عمیق {deep homology} خوانده می‌شود. [۲۰۰] [۲۰۱]



A baleen whale skeleton. Letters *a* and *b* label flipper bones, which were adapted from front leg bones, while *c* indicates vestigial leg bones, both suggesting an adaptation from land to sea. [197] اسکلت نهنگ بلین. حرف‌های *a* و *b* استخوان‌های باله {flipper} را نشان می‌دهند که سازگاری استخوان‌های دست است. حرف *c* بازمانده‌های استخوان‌های پا را نشان می‌دهد. هر دو مورد سازگاری از خشکی به دریا را خاطر نشان می‌کنند. [۱۹۷]

During evolution, some structures may lose their original function and become vestigial structures. [202] Such structures may have little or no function in a current species, yet have a clear function in ancestral

<sup>116</sup> برای کسانی که با اصلاح دام یا نبات کار کرده باشند، موضوع فرگشت‌پذیری بسیار پذیرفتنی است، به این صورت که ضریب پراکنش {coefficient of variation} ژنتیکی در خانواده‌های مختلف یا جمعیت‌های مختلف بسیار متفاوت است.

<sup>117</sup> در عبارت آخر "افزایش فرگشت‌پذیری {evolvability} موجودات" استفاده از واژه موجودات به اشتباه صورت گرفته و باید با واژه گونه عوض شود.

species, or other closely related species. Examples include pseudogenes, [203] the non-functional remains of eyes in blind cave-dwelling fish, [204] wings in flightless birds, [205] the presence of hip bones in whales and snakes, [197] and sexual traits in organisms that reproduce via asexual reproduction. [206] Examples of vestigial structures in humans include wisdom teeth, [207] the coccyx, [202] the vermiform appendix, [202] and other behavioural vestiges such as goose bumps [208] [209] and primitive reflexes. [210] [211] [212]

در طول فرگشت، برخی ساختارها ممکن است کارکرد اولیه خود را از دست بدهند و به ساختارهای بازمانده‌ای {vestigial} تبدیل شوند. [۲۰۲] چنین ساختارهایی ممکن است هیچ کارکردی یا کارکرد کمی، در گونه فعلی داشته باشند، ولی کارکرد مشخصی در گونه اجدادی، یا در گونه‌های خویشاوند، داشته باشند. مثال‌های این پدیده شامل شبه‌ژن {pseudogene} [۲۰۳]، باقیمانده‌های بی‌کارکرد چشم در ماهی‌های غارزیست [۲۰۴]، بال پرنده‌گان بی‌پرواز [۲۰۵]، استخوان‌های لگن خاصره در نهنگ‌ها و مارها [۱۹۷]، و صفات جنسی در موجودات با بازآوری غیرجنسی هستند. [۲۰۶] مثال‌های ساختارهای بازمانده‌ای در انسان شامل دندان عقل [۲۰۷]، دنبالچه [۲۰۲]، آپاندیس کرم‌شکل [۲۰۲]، و دیگر بازمانده‌های رفتاری مانند سیخ‌شدن موها [۲۰۸] [۲۰۹]، و رفلکس‌های غریزی است. [۲۱۰] [۲۱۱] [۲۱۲]

However, many traits that appear to be simple adaptations are in fact exaptations: structures originally adapted for one function, but which coincidentally became somewhat useful for some other function in the process. [213] One example is the African lizard *Holaspis guentheri*, which developed an extremely flat head for hiding in crevices, as can be seen by looking at its near relatives. However, in this species, the head has become so flattened that it assists in gliding from tree to tree—an exaptation. [213] Within cells, molecular machines such as the bacterial flagella [214] and protein sorting machinery [215] evolved by the recruitment of several pre-existing proteins that previously had different functions. [165] Another example is the recruitment of enzymes from glycolysis and xenobiotic metabolism to serve as structural proteins called crystallins within the lenses of organisms' eyes. [216] [217]

اما، بسیاری از صفت‌هایی که به نظر می‌رسد سازگاری‌های ساده باشند در واقع دگرسازگاری<sup>118</sup> {exaptation} هستند، یعنی ساختاری که در آغاز برای یک کارکرد سازگار شده بوده، ولی از قضا برای یک کارکرد دیگر مفید واقع شده باشد. [۲۱۳] یک مثال مارمولک آفریقایی هولاسپیس گوئنتری {*Holaspis guentheri*}، در مقایسه با آنچه که از مشاهده خویشاوندانش دیده میشود، سری بسیار مسطح پیدا کرده تا بتواند در شکاف سنگ‌ها مخفی شود. با این حال، در این گونه، سر چنان مسطح شده که به دگرسازگاری برای بادسواری {gliding} بین درختان به کار می‌آید. [۲۱۳] درون سلول‌ها، ماشین‌های مولکولی مانند تازک باکتری‌ها [۲۱۴] و ماشین‌های مرتب‌سازی پروتئین [۲۱۵]، از راه به کارگیری پروتئین‌های قبلی موجود با کارکردی دیگر، فرگشت کردند [۱۶۵]. مثالی دیگر به کارگیری آنزیم‌هایی از گلیکولیز و متابولیسم برون‌گونه‌ای {xenobiotic} است که برای پروتئین‌های ساختاری به نام بلوری‌ها {crystallins} درون عدسی چشم موجودات به کار می‌روند<sup>119</sup>. [۲۱۶] [۲۱۷]

An area of current investigation in evolutionary developmental biology is the developmental basis of adaptations and exaptations. [218] This research addresses the origin and evolution of embryonic development and how modifications of development and developmental processes produce novel features. [219] These studies have shown that evolution can alter development to produce new structures, such as embryonic bone structures that develop into the jaw in other animals instead forming part of the middle ear in mammals. [220] It is also possible for structures that have been lost in evolution to reappear due to changes in developmental genes, such as a mutation in chickens causing embryos to grow teeth

<sup>118</sup> واژه "exaptation" کوتاه شده دو واژه ی "ex" و "adaptation" می باشد.  
<sup>119</sup> این بند هم شاید وارد جزئیات کم اهمیت شده باشد.

similar to those of crocodiles. [221] It is now becoming clear that most alterations in the form of organisms are due to changes in a small set of conserved genes. [222]

یک زمینه از تحقیقات کنونی در زیست‌شناسی فرگشتی رشد {evolutionary developmental biology}، اساس رشدی {تکوینی} سازگاری‌ها و دگرسازگاری‌ها است [۲۱۸]. این مطالعات به پیدایش و فرگشت رشد جنینی و چگونگی پیرایش رشد و فرآیندهای رشد در تولید ویژگی‌های جدید، می‌پردازند. [۲۱۹] این مطالعات نشان داده است که فرگشت می‌تواند رشد را تغییر دهد و ساختارهای جدیدی ایجاد کند، مانند ساختارهای استخوانی جنینی که در حیوانات دیگر به فک تبدیل می‌شوند و در عوض بخشی از گوش میانی پستانداران را تشکیل می‌دهند<sup>120</sup>. [۲۲۰] همچنین ممکن است سازه‌هایی که در فرگشت از دست رفته‌اند، به دلیل تغییر در ژن‌های رشدی دوباره ظاهر شوند، مانند جهش در جوجه‌ها که باعث رشد دندان جنین‌ها مشابه دندان تمساح می‌شود [۲۲۱]. اکنون روشن شده است که بیشتر تغییرات در ریخت موجودات به دلیل تغییر در مجموعه کوچکی از ژن‌های پایسته {conserved} است [۲۲۲].

## Coevolution

### هم‌فرگشتی

Interactions between organisms can produce both conflict and cooperation. When the interaction is between pairs of species, such as a pathogen and a host, or a predator and its prey, these species can develop matched sets of adaptations. Here, the evolution of one species causes adaptations in a second species. These changes in the second species then, in turn, cause new adaptations in the first species. This cycle of selection and response is called coevolution. [223] An example is the production of tetrodotoxin in the rough-skinned newt and the evolution of tetrodotoxin resistance in its predator, the common garter snake. In this predator-prey pair, an evolutionary arms race has produced high levels of toxin in the newt and correspondingly high levels of toxin resistance in the snake. [224]

برهم‌کنش {interaction} بین موجودات می‌تواند باعث ایجاد اختلاف و همکاری شود. هنگامی که برهم‌کنش بین دو گونه باشد، مانند پاتوژن و میزبان، یا شکارچی و طعمه‌هایش، این گونه‌ها می‌توانند سازگاری‌های مقابل ایجاد کنند. در اینجا، فرگشت در یک گونه باعث سازگاری در گونه دوم می‌شود. تغییرات در گونه دوم، به نوبه خود، باعث سازگاری‌های جدید در گونه اول می‌شود. چرخه گزینش و پاسخ، هم‌فرگشتی نامیده می‌شود. [۲۲۳] به عنوان مثال می‌توان به تولید تترودوتوکسین {tetrodotoxin} در مارمولک خشن‌پوست {rough-skin newt}، و فرگشت مقاومت به تترودوتوکسین در شکارچی آن، مار گارتر معمولی {common garter snake} اشاره کرد. در این جفت شکارچی-شکار، یک مسابقه تسلیحاتی فرگشتی مقادیر زیادی سم در مارمولک ایجاد کرده و به همین ترتیب مقاومت بالایی در برابر سم در مار ایجاد کرده است. [224]

---

<sup>120</sup> مثال استخوان‌های گوش میانی مرا به یاد یک "اصلی من در آوردی" انداخت: اگر در ده کتاب یا مقاله برای نشان دادن یک "اصل" همگی از یک مثال اسم می‌برند، بدانید که آن اصل یا غلط است یا بی‌اهمیت. چرا؟ برای این که اگر آن اصل درست یا عمومی باشد، مثال‌های فراوانی برای آن وجود خواهد داشت. خلاصه اینکه با یک گل بهار نمی‌شود!



Common garter snake (*Thamnophis sirtalis*) has evolved resistance to the defensive substance tetrodotoxin in its amphibian prey.

مار گارتر معمولی (*Thamnophis sirtalis sirtalis*) مقاومت در برابر ماده دفاعی تترودوتوکسین را در طعمه دوزیستان فرگشت داده است.

## Cooperation

### همکاری

Not all co-evolved interactions between species involve conflict.[225] Many cases of mutually beneficial interactions have evolved. For instance, an extreme cooperation exists between plants and the mycorrhizal fungi that grow on their roots and aid the plant in absorbing nutrients from the soil.[226] This is a reciprocal relationship as the plants provide the fungi with sugars from photosynthesis. Here, the fungi actually grow inside plant cells, allowing them to exchange nutrients with their hosts, while sending signals that suppress the plant immune system. [227]

همه برهم کنش‌های هم‌فرگشتی بین گونه‌ها در تعارض با یکدیگر نیستند. [۲۲۵] موارد زیادی از برهم کنش سودمند دوطرفه فرگشت یافته‌اند. به عنوان مثال، یک همکاری مفرد بین گیاهان و قارچهای میکوریزی {mycorrhizal fungi} وجود دارد، که قارچ روی ریشه گیاه رشد می‌کند، و به گیاه در جذب مواد مغذی از خاک کمک می‌کند. [۲۲۶] این یک رابطه دوجانبه است، زیرا گیاهان قندهای ناشی از فتوسنتز را به قارچها می‌رسانند. در اینجا، قارچها در واقع در داخل سلولهای گیاه رشد می‌کنند، به آنها امکان می‌دهد که مواد مغذی را با میزبان خود مبادله کنند، در حالی که سیستم ایمنی گیاه را با سیگنال‌هایی که می‌فرستند ضعیف می‌کنند [۲۲۷].

Coalitions between organisms of the same species have also evolved. An extreme case is the eusociality found in social insects, such as bees, termites and ants, where sterile insects feed and guard the small number of organisms in a colony that are able to reproduce. On an even smaller scale, the somatic cells that make up the body of an animal limit their reproduction so they can maintain a stable organism, which then supports a small number of the animal's germ cells to produce offspring. Here, somatic cells respond to specific signals that instruct them whether to grow, remain as they are, or die. If cells ignore these signals and multiply inappropriately, their uncontrolled growth causes cancer. [228]

ائتلاف بین موجودات یک گونه نیز فرگشت یافته‌اند. یک مورد مفرد، اجتماعی بودن است که در حشرات اجتماعی دیده می‌شود، مانند زنبورها، مورچه‌ها و مورچه‌ها، که در آنها حشرات نابارور به تعداد کمی از موجودات در گروه را که قادر به بازآوری هستند، غذا می‌رسانند و از آنها محافظت می‌کنند. حتی در مقیاسی کوچکتر، بازآوری سلولهای سوماتیک، که بدن

یک موجود را تشکیل می دهند، محدود می شود، تا پایداری موجودات را حفظ کنند، و این ها سپس تعداد کمی از سلولهای زایای حیوان را برای تولید نتاج {فرزندان} پشتیبانی می کنند. در این مورد، سلولهای سوماتیک به سیگنالهای خاصی پاسخ می دهند که به آنها دستور می دهد رشد کنند، مثل قبل بمانند یا بمیرند. اگر سلولها، این سیگنالها را نادیده بگیرند و به طور نامناسبی تکثیر شوند، رشد کنترل نشده آنها باعث سرطان می شود [۲۲۸].

Such cooperation within species may have evolved through the process of kin selection, which is where one organism acts to help raise a relative's offspring.[229] This activity is selected for because if the *helping* individual contains alleles which promote the helping activity, it is likely that its kin will *also* contain these alleles and thus those alleles will be passed on.[230] Other processes that may promote cooperation include group selection, where cooperation provides benefits to a group of organisms.[231]

همکاری درون گونه ای ممکن است از طریق روند خویشاوندگزی<sup>121</sup> {kin selection}، که در آن یک موجودات برای کمک به پرورش فرزندان یکی از خویشاوندان خود فعالیت می کند، فرگشت یافته باشد. [۲۲۹] این فعالیت به این دلیل گزینش می شود که اگر فرد کمک کننده حامل اللهایی باشد که کمک کردن را تقویت می کند، احتمالاً خویشاوندان او نیز حامل این اللهها هستند و بنابراین آن اللهها به نسل بعدی منتقل می شوند. [۲۳۰] روندهای دیگری که ممکن است همکاری را تقویت کنند شامل گزینش گروهی است، که همکاری برای گروهی از موجودات مفید است<sup>122</sup> [۲۳۱].

## Speciation

### گونه زایی

Speciation is the process where a species diverges into two or more descendant species.[232]

گونه زایی فرآیندی است که در آن گونه ای به دو یا چند تبار گونه تقسیم می شود. [۲۳۲]

There are multiple ways to define the concept of "species." The choice of definition is dependent on the particularities of the species concerned.[233] For example, some species concepts apply more readily toward sexually reproducing organisms while others lend themselves better toward asexual organisms. Despite the diversity of various species concepts, these various concepts can be placed into one of three broad philosophical approaches: interbreeding, ecological and phylogenetic.[234] The *Biological Species Concept* (BSC) is a classic example of the interbreeding approach. Defined by evolutionary biologist Ernst Mayr in 1942, the BSC states that "species are groups of actually or potentially interbreeding natural populations, which are reproductively isolated from other such groups." [235] Despite its wide and long-

<sup>121</sup> توضیح ساده تر خویشاوندگزی، که در مورد پدیده نوع دوستی {altruism} هم مصداق دارد، این است که اگر یک موجود بتواند با قربانی کردن خود ماندگاری تعداد مناسبی از خویشاوندان خود را تضمین کند، این کار برازش {میزان مشارکت او در ژن های نسل های آتی} خود او را نیز بالا می برد. چنین مدل هایی که اولین بار به طور مشخص توسط همیلتون {Hamilton} در سال ۱۹۶۴ عرضه شد، در توضیح پدیده اخلاق استفاده شده است.

<sup>122</sup> بسیاری از بندهای این متن ارتباط خوبی با بندهای پیش و پس ندارند. مثلاً در بند قبل ناگهان از هم کاری موجودات یک گونه به همکاری سلول های یک موجود میبرد، و بعد دوباره به همان موضوع و بی برمیگردد!

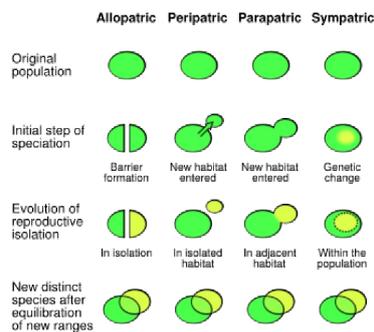
term use, the BSC like others is not without controversy, for example because these concepts cannot be applied to prokaryotes,[236] and this is called the species problem. [233] Some researchers have attempted a unifying monistic definition of species, while others adopt a pluralistic approach and suggest that there may be different ways to logically interpret the definition of a species. [233][234]

روشهای متعددی برای تعریف مفهوم گونه {species} وجود دارد. انتخاب تعریف، به خصوصیات گونه‌ی مورد نظر بستگی دارد. [۲۳۳] به عنوان مثال، برخی از مفاهیم گونه، بیشتر در مورد موجودات با بازآوری جنسی کاربرد دارند. در حالی که برخی دیگر، موجودات با بازآوری غیرجنسی مناسب تر هستند. علیرغم گوناگونی در مفاهیم مختلف، این مفاهیم مختلف را می‌توان در یکی از سه رویکرد گسترده فلسفی قرار داد: درون آمیزشی، بوم شناسانه و تبارشناسانه. [۲۳۴] مفهوم زیست‌شناسانه گونه (BSC) یک نمونه کلاسیک از رویکرد درون آمیزشی است. مفهوم BSC که توسط ارنست مایر {Ernst Mayr}، زیست شناس فرگشتی تعریف شده است، می‌گوید که "گونه‌ها گروه‌هایی از جمعیت‌های طبیعی درون آمیزشی، یا به طور بالقوه درون آمیزشی، هستند که از نظر بازآوری از سایر چنین گروه‌هایی جدا شده اند." [۲۳۵] با وجود استفاده گسترده و طولانی مدت، مفهوم BSC، مانند دیگر مفاهیم، عاری از بحث و جدل نیست، به عنوان مثال به دلیل اینکه این مفهوم را نمی‌توان در مورد پروکاریوتها به کار برد [۲۳۶]، و این را مشکل گونه {species problem} می‌نامند<sup>123</sup>. [۲۳۳] برخی از محققان سعی کرده‌اند تعریف یکپارچه منفردی از گونه ارائه دهند، در حالی که برخی دیگر رویکردی کثرت‌گرا را اتخاذ کرده و معتقدند که ممکن است روش‌های مختلفی برای تفسیر منطقی تعریف گونه وجود داشته باشد. [۲۳۳] [۲۳۴]

Barriers to reproduction between two diverging sexual populations are required for the populations to become new species. Gene flow may slow this process by spreading the new genetic variants also to the other populations. Depending on how far two species have diverged since their most recent common ancestor, it may still be possible for them to produce offspring, as with horses and donkeys mating to produce mules. [237] Such hybrids are generally infertile. In this case, closely related species may regularly interbreed, but hybrids will be selected against and the species will remain distinct. However, viable hybrids are occasionally formed and these new species can either have properties intermediate between their parent species, or possess a totally new phenotype. [238] The importance of hybridisation in producing new species of animals is unclear, although cases have been seen in many types of animals, [239] with the gray tree frog being a particularly well-studied example. [240]

برای تبدیل شدن یک جمعیت به دو گونه‌ی جدید، موانع بازآوری بین دو جمعیت جنسی واگرا، مورد نیاز است. جریان ژنی ممکن است با گسترش پراکنده‌ها {variant}های جدید ژنتیکی به سایر جمعیت‌ها، این روند را آهسته کند. بسته به اینکه دو گونه جدید چقدر از آخرین جد مشترک خود فاصله داشته باشند، ممکن است بتوانند فرزند تولید کنند، مانند آمیزش بین اسب و خر که به تولید قاطر منجر می‌شود. [۲۳۷] چنین آمیخته {hybrid}هایی به طور کلی نابارور هستند. در این حالت، گونه‌های نزدیک به هم، ممکن است به طور منظم درون آمیزشی {interbreed} کنند، اما آمیخته‌ها ناگزیده میشوند و گونه‌ها مجزا باقی می‌مانند. با این حال، گاهی اوقات آمیخته‌های ماندگار/بارور تشکیل می‌شوند و این گونه‌های جدید می‌توانند یا مشخصات متوسطی بین گونه‌های والد خود داشته باشند، یا دارای یک فنوتیپ کاملن جدید باشند. [۲۳۸] اهمیت آمیخته‌گری {hybridisation}ها در تولید گونه‌های جدید حیوانات مشخص نیست، اگرچه موارد بسیاری در انواع حیوانات مشاهده شده است [۲۳۹]، قورباغه خاکستری درختی نمونه‌ای کاملن مطالعه شده است. [۲۴۰]

<sup>123</sup> همان‌طور که گفته شده، مفهوم زیست‌شناسانه گونه، رایج‌ترین تعریف است. اما گاهی اوقات با مشکلات خنده‌داری روبرو می‌شود. مثلن در بوقلمون‌های اصلاح شده مدرن، تفاوت اندازه بدن نر و ماده به قدری زیاد است که آمیزش طبیعی غیر ممکن است و تولیدمثل از راه تلقیح مصنوعی صورت می‌گیرد. سوال این است که آیا باید نر و ماده این بوقلمون‌ها را، به این دلیل که بالقوه و بالفعل نمی‌توانند آمیزش طبیعی داشته باشند، دو گونه متفاوت به حساب آورد؟!



## The four geographic modes of speciation

### چهار روش<sup>124</sup> گونه‌زایی جغرافیایی

Speciation has been observed multiple times under both controlled laboratory conditions (see laboratory experiments of speciation) and in nature.[241] In sexually reproducing organisms, speciation results from reproductive isolation followed by genealogical divergence. There are four primary geographic modes of speciation. The most common in animals is allopatric speciation, which occurs in populations initially isolated geographically, such as by habitat fragmentation or migration. Selection under these conditions can produce very rapid changes in the appearance and behaviour of organisms.[242][243] As selection and drift act independently on populations isolated from the rest of their species, separation may eventually produce organisms that cannot interbreed.[244]

گونه‌زایی در چندین مورد تحت شرایط آزمایشگاهی کنترل شده (به آزمایش‌های آزمایشگاهی گونه‌زایی مراجعه کنید) و در طبیعت مشاهده شده است. [۲۴۱] در موجودات با بازآوری جنسی، گونه‌زایی از جدایی تولیدمثلی و به دنبال آن واگرایی تبارشناسانه {genealogical} حاصل می‌شود. چهار روش عمده گونه‌زایی جغرافیایی وجود دارد. رایج‌ترین روش در حیوانات، گونه‌زایی دیگرنیایی {allopatric} است که در جمعیت‌هایی که به دلیل تقسیم زیستگاه یا مهاجرت، به لحاظ جغرافیایی جدا شده‌اند، رخ می‌دهد. گزینش در این شرایط می‌تواند تغییرات بسیار سریعی در ریخت و رفتار موجودات ایجاد کند. [۲۴۲] [۲۴۳] از آنجا که گزینش و رانش به طور مستقل بر روی جمعیت‌های جدا شده از بقیه گونه عمل می‌کند، ممکن است جدایی، نهایتاً موجوداتی تولید کند که نتوانند درون‌آمیزی کنند. [۲۴۴]

The second mode of speciation is peripatric speciation, which occurs when small populations of organisms become isolated in a new environment. This differs from allopatric speciation in that the isolated populations are numerically much smaller than the parental population. Here, the founder effect causes rapid speciation after an increase in inbreeding increases selection on homozygotes, leading to rapid genetic change.[245]

روش دوم گونه‌زایی، گونه‌زایی پیرامون‌نیایی {peripatric} وقتی رخ می‌دهد که جمعیت‌های کوچکی از موجودات در محیط‌های جدید، جدا می‌افتند. تفاوت گونه‌زایی پیرامون‌نیایی با گونه‌زایی دیگرنیایی در این است که در پیرامون‌نیایی، جمعیت‌های جدا

<sup>124</sup> فعلن واژه ابی بهتر از "روش" برای "mode" پیدا نکرده‌ام. واژه "mode" معنای "روش مهم" یا "بیشتر" هم می‌دهد. علاوه بر آن، در مطالعات فرگشتی، از ۱۹۴۴ که جی. جی. سیمپسون {G. G. Simpson} کتاب {Tempo and Mode in Evolution} را نوشت واژه "mode" بار مخصوص خود را پیدا کرده است.

شده از نظر عددی بسیار کوچکتر از جمعیت اولیه هستند. در این موارد، اثر بنیانگذار<sup>125</sup> {founder effect} باعث گونه‌زایی سریع در اثر افزایش هم‌آمیزی<sup>126</sup> {inbreeding} و افزایش گزینش روی هموزیگوت‌ها میشود<sup>127</sup>، و این منجر به تغییر سریع ژنتیکی می‌شود. [۲۴۵]

The third mode is parapatric speciation. This is similar to peripatric speciation in that a small population enters a new habitat, but differs in that there is no physical separation between these two populations. Instead, speciation results from the evolution of mechanisms that reduce gene flow between the two populations. [232] Generally this occurs when there has been a drastic change in the environment within the parental species' habitat. One example is the grass *Anthoxanthum odoratum*, which can undergo parapatric speciation in response to localised metal pollution from mines. [246] Here, plants evolve that have resistance to high levels of metals in the soil. Selection against interbreeding with the metal-sensitive parental population produced a gradual change in the flowering time of the metal-resistant plants, which eventually produced complete reproductive isolation. Selection against hybrids between the two populations may cause reinforcement, which is the evolution of traits that promote mating within a species, as well as character displacement, which is when two species become more distinct in appearance. [247]

روش سوم، گونه‌زایی فرانیایی [parapatric] است. این از آنجا که جمعیت کوچکی وارد یک زیستگاه جدید می‌شود، شبیه گونه‌زایی پیرامون‌نیایی است، اما تفاوت آن در این است که هیچ جدایی فیزیکی بین این دو جمعیت وجود ندارد. در عوض، گونه‌زایی از فرگشت سازوکاری که جریان ژنی بین دو جمعیت را کاهش می‌دهد حاصل می‌شود. [۲۳۲] به طور کلی این امر زمانی اتفاق می‌افتد که در محیط زیست گونه‌ی نیایی، تغییر شدید محیطی ایجاد شده باشد. یک نمونه، چمن *Anthoxanthum odoratum* است، که می‌تواند در پاسخ به آلودگی فلزی موضعی از معادن، فرگشت کند. [۲۴۶] در این مورد، گیاهانی فرگشت می‌یابند که در برابر میزان بالای فلزات در خاک مقاومت دارند. گزینش در برابر درون‌آمیزی با جمعیت نیایی که به فلز حساس است، یک تغییر تدریجی در زمان گلدهی گیاهان مقاوم در برابر فلز ایجاد میکند، که در نهایت جدایی بازآوری {reproductive isolation} کاملی را باعث می‌شود. ناگزینی در برابر آمیخته‌ها بین دو جمعیت، ممکن است باعث تقویت جدایی و همچنین تغییر مشخصه‌ها شود. تقویتی جدایی فرگشت صفاتی است که مشوق جفت‌گیری در درون یک گونه می‌شوند. تعبیر مشخصه، آن است که دو گونه از نظر ظاهری از یکدیگر متمایز می‌شوند. [۲۴۷]

Finally, in sympatric speciation species diverge without geographic isolation or changes in habitat. This form is rare since even a small amount of gene flow may remove genetic differences between parts of a population. [248] Generally, sympatric speciation in animals requires the evolution of both genetic differences and nonrandom mating, to allow reproductive isolation to evolve. [249]

سرانجام، در گونه‌زایی هم‌نیایی {sympatric} گونه‌ها بدون جدایی جغرافیایی یا تغییر در زیستگاه از هم جدا می‌شوند. این فرم نادر است<sup>128</sup> زیرا حتی مقدار کمی از جریان ژنی نیز ممکن است اختلافات ژنتیکی بین قسمتهای یک جمعیت را از بین ببرد.

<sup>125</sup> "اثر بنیانگذار" نتیجه مستقیم کوچک بودن اندازه (موثر) جمعیت است که به افزایش هموزیگوتی می‌انجامد. اما، این ربطی به گزینش ندارد. در اینجا هم، دلیلی بر اینکه نیاز به حضور گزینش می‌باشد، ارائه نشده است.

<sup>126</sup> "هم‌آمیزی" را باید یک روند {process} به حساب آورد. شوریختانه نام الگو {pattern}ی ایجاد شده توسط این روند را هم "هم‌آمیزی" گذاشته‌اند. برای تفکیک این دو، بهتر است از "هم‌آمیزی" برای روند استفاده کرد و برای الگو از نام "نرخ هم‌آمیزی" یا "ضریب هم‌آمیزی" {inbreeding coefficient} استفاده کرد. الان به خاطر ندارم که این مفهوم را کجا خوانده‌ام که "فرگشت تمام راجع به توضیح روندها و الگوها، و الگوها و روندهاست. {Evolution is all about patterns and processes, processes and patterns.}"

<sup>127</sup> شروع روند پیرامون‌نیایی احتیاجی به گزینش ندارد، هر چند که گزینش به سرعت در این روند دخالت می‌کند.

<sup>128</sup> این ادعا که گونه‌زایی هم‌نیایی نادر است، خیلی هم درست نیست. نمی‌خواهم وارد جزئیات بشوم، و مختصر می‌گویم که نوعی از آمیزش غیرتصادفی به نام آمیزش جورایی {assortative mating} به سرعت به واگرایی در یک جمعیت منجر می‌گردد. یک مثال ساده از آمیزش جورایی، آمیزش در تمام گیاهان گل‌دار است که آن‌هایی که در اول فصل گل می‌دهند با هم آمیزش دارند، و آن‌هایی که در آخر فصل گل می‌دهند با هم. در این مثال صفتی که هدف اولیه

[۲۴۸] به طور کلی، گونه‌زایی هم‌نیایی در حیوانات به فرگشت تفاوت‌های ژنتیکی و جفت‌گیری غیرتصادفی نیاز دارد تا امکان جدایی تولیدمثلی را فراهم شود<sup>129</sup>. [۲۴۹]

One type of sympatric speciation involves crossbreeding of two related species to produce a new hybrid species. This is not common in animals as animal hybrids are usually sterile. This is because during meiosis the homologous chromosomes from each parent are from different species and cannot successfully pair. However, it is more common in plants because plants often double their number of chromosomes, to form polyploids. [250] This allows the chromosomes from each parental species to form matching pairs during meiosis, since each parent's chromosomes are represented by a pair already. [251] An example of such a speciation event is when the plant species *Arabidopsis thaliana* and *Arabidopsis arenosa* crossbred to give the new species *Arabidopsis suecica*. [252] This happened about 20,000 years ago, [253] and the speciation process has been repeated in the laboratory, which allows the study of the genetic mechanisms involved in this process. [254] Indeed, chromosome doubling within a species may be a common cause of reproductive isolation, as half the doubled chromosomes will be unmatched when breeding with undoubled organisms. [255]

یک نوع گونه‌زایی هم‌نیایی شامل درهم‌آمیزی دو گونه مرتبط برای تولید یک گونه آمیخته جدید است. این روش در حیوانات معمول نیست زیرا آمیخته‌های حیوانات معمولاً نابارور هستند. دلیل این امر آنست که در حین تقسیم سلولی جنسی {میوز = meiosis}، کروموزوم‌های همسان از هر یک از والدین از گونه‌های مختلف هستند و نمی‌توانند با موفقیت جفت شوند. با این حال، این روش در گیاهان بیشتر دیده می‌شود زیرا در گیاهان افزایش تعداد کروموزوم‌ها معمول است که به ایجاد گیاه پلی‌پلوئید {polyploid} می‌انجامد. [۲۵۰] این اجازه می‌دهد تا کروموزوم‌های هر گونه نیایی در طول میوز در جفت‌های مشابه به هم برسند، زیرا کروموزوم‌های هر والد از قبل در یک جفت قرار گرفته‌اند. [۲۵۱] مثالی از چنین حالت گونه‌زایی این است که گونه‌های گیاهی *Arabidopsis thaliana* و *Arabidopsis arenosa*<sup>130</sup> برای ایجاد گونه جدید *Arabidopsis suecica* درهم‌آمیزی می‌کنند. [252] این درهم‌آمیزی حدود ۲۰۰۰۰ سال پیش اتفاق افتاد [۲۵۳]، و روند گونه‌زایی در آزمایشگاه تکرار شده است، که امکان مطالعه سازوکارهای ژنتیکی درگیر در این روند را فراهم می‌کند. [۲۵۴] در واقع، دو برابر شدن کروموزوم در داخل یک گونه ممکن است دلیل معمولی برای جدایی بازآوری باشد، زیرا نیمی از کروموزوم‌های دو برابر شده هنگام آمیزش با موجوداتی که کروموزوم‌های دو برابر شده ندارند، جفت نخواهند شد<sup>131</sup>. [۲۵۵]



آمیزش جورایی بود "زمان گل‌دهی" است. در گونه‌های دیگر و جمعیت‌های دیگر و زمان‌های دیگر، صفات دیگری هدف اولیه قرار می‌گیرند. صفت ممکن است اندازه قد باشد، یا وزن، یا رنگ و یا هر صفت دیگر.

<sup>129</sup> دوپژنسی استدلالت کرده که در نظریه تعادل انتقالی رایت {Wright's shifting balance theory}، آمیزش جورایی به یک جمعیت کمک می‌کند تا از یک قله برازشی کوتاه، و بعد از عبور از یک دره برازشی، به قله برازشی بلندتری برسد. شبیه‌سازی‌های کامپیوتری که من در میانه ۱۹۹۰ انجام دادم نشان می‌داد که، تحت شرایط خاصی، آمیزش جورایی مثبت می‌تواند به ۴/۵ انحراف از معیار {standard deviation} در عرض ۲۵ نسل منجر شود. این مقدار از تفاوت در یک صفت نوعی جدایی بازآوری را در درون یک جمعیت ایجاد می‌کند.

<sup>130</sup> گیاه *Arabidopsis thaliana* در ژنتیک و تکامل، مانند مگس سرکه و موش، به عنوان یک گونه آزمایشگاهی، استفاده زیادی دارد. <sup>131</sup> شرح این مطالب بدون توضیح روندهای تقسیم سلولی، و توضیح اینکه برخی موجودات بیش از یک دسته کروموزوم دارند، می‌تواند گیج‌کننده باشد.

Geographical isolation of finches on the Galápagos Islands produced over a dozen new species.

جدایی جغرافیایی فنچ‌ها در جزایر گالاپاگوس<sup>132</sup>، بیش از ده گونه جدید تولید کرد.

Speciation events are important in the theory of punctuated equilibrium, which accounts for the pattern in the fossil record of short "bursts" of evolution interspersed with relatively long periods of stasis, where species remain relatively unchanged.[256] In this theory, speciation and rapid evolution are linked, with natural selection and genetic drift acting most strongly on organisms undergoing speciation in novel habitats or small populations. As a result, the periods of stasis in the fossil record correspond to the parental population and the organisms undergoing speciation and rapid evolution are found in small populations or geographically restricted habitats and therefore rarely being preserved as fossils.[169]

رویدادهای گونه‌زایی در نظریه تعادل مقطعی<sup>133</sup> {punctuated equilibrium} مهم هستند. در این نظریه، الگوی موجود در باقیمانده‌های فسیلی را، با "انفجارهای" کوتاه فرگشت، و دوره‌های نسبتن طولانی ایستایی، که در آن‌ها گونه‌ها نسبتن بدون تغییر باقی می‌مانند، توضیح می‌دهند. [۲۵۶] مطابق این نظریه، گونه‌زایی و فرگشت سریع به هم وابسته هستند، که در آن گزینش طبیعی و رانش ژنتیکی با قدرت بر روی موجوداتی که در زیستگاه‌های جدید یا جمعیت‌های کوچک تحت گونه‌زایی قرار می‌گیرند، عمل میکنند. در نتیجه، دوره‌های ایستایی با باقیمانده‌های فسیلی از جمعیت‌های نیایی مطابقت دارند و موجوداتی که تحت گونه‌زایی و فرگشت سریع قرار می‌گیرند در جمعیت‌های کوچک یا زیستگاه‌های محدود جغرافیایی یافت می‌شوند، و بنابراین بندرت به عنوان فسیل حفظ می‌شوند. [۱۶۹]

## Extinction

### گونه‌مرگی

Extinction is the disappearance of an entire species. Extinction is not an unusual event, as species regularly appear through speciation and disappear through extinction.[257] Nearly all animal and plant species that have lived on Earth are now extinct,[258] and extinction appears to be the ultimate fate of all species.[259] These extinctions have happened continuously throughout the history of life, although the rate of extinction spikes in occasional mass extinction events. [260] The Cretaceous–Paleogene extinction event, during which the non-avian dinosaurs became extinct, is the most well-known, but the earlier Permian–

<sup>132</sup> فنچ‌های جزایر گالاپاگوس را می‌توان نقطه شروع تحول فکری داروین دانست. او بعد از پایان سفر پنج ساله‌اش با کشتی بیگل و بازگشت، از طریق دوست پرندشناس خود هوکر {Hooker} متوجه شد که فنچ‌های گونه‌های متفاوت هستند. داروین از اینکه یک گونه پرنده، بعد از مهاجرت از آمریکای جنوبی به جزایر گالاپاگوس، به چند گونه تبدیل شده، به فکر فرگشت افتاد.

<sup>133</sup> این شرح از نظریه تغییرات مقطعی که در این مقاله ویکی‌پدیا آمده، نوع "ملایم" این نظریه است که من هم مخالفت زیادی با آن ندارم. همان طور که قبل گفتیم این نظریه در آغاز (۱۹۷۲) توسط الدرگ و گولد {Eldredge & Gould} به شکلی تقریبی به همین ملایمت مطرح شد. خلاصه شواهد این نظریه این است: اگر به شواهد فسیلی یک گونه نگاه کنیم، می‌بینیم که فسیل‌های آن گونه برای زمان‌های طولانی بدون تغییر وجود داشته‌اند و "ناگهان" فسیل گونه‌ای جدید، پدیدار می‌شود. تا اینجا مشکلی نیست. مشکل از آنجا شروع شد که گولد به این فکر افتاد که یافته‌های خود را به تغییرات ژنتیکی جمعیت‌های گونه‌های فسیل شده تعمیم دهد و مدعی شد که آن گونه‌ها به طور ناگهانی فرگشت کرده‌اند، و نه به طور تدریجی (که پیش‌بینی سنتز نوین است). به تدریج کسانی پیدا شدند که نظرات گولد را باور کردند و کار به آنجا رسید که گولد و طرفدارانش مدعی ظهور پارادایمی جدید شدند. شوربختانه برخی فیلسوفان علم (منجمله مایکل ریوز {Michael Ruse} که در ایران هم شناخته شده است) پارادایم بودن نظریه تعادل مقطعی را تأیید کردند. متأسفانه باید بگویم که با نظرات گولد و ریوز مخالفم. مخالفتم را برای ریوز شرح داده‌ام (پاسخ او را روزی، در جای دیگری خواهم آورد). متأسفانه گولد پیش از پایان ۶۱ سالگی و در سال ۲۰۰۲ در گذشت و من امکان گفتگو با او را از دست دادم. من با بسیاری از نظرات گولد مخالفم و اشتباهات او و طرفدارانش را ناشی از کمبود دانش آن‌ها در زمینه ژنتیک جمعیت، ژنتیک کمی و ژنتیک بیوشیمیایی می‌بینم. اما و اما، گولد باید از بزرگترین نوابغ همه دوران‌ها باشد. وسعت اطلاعات او و گستردگی زمینه‌های مطالعاتی او مانند ندارد. حیف از او که زود از میان ما رفت.

Triassic extinction event was even more severe, with approximately 96% of all marine species driven to extinction.[260] The Holocene extinction event is an ongoing mass extinction associated with humanity's expansion across the globe over the past few thousand years. Present-day extinction rates are 100–1000 times greater than the background rate and up to 30% of current species may be extinct by the mid 21st century.[261] Human activities are now the primary cause of the ongoing extinction event;[262] [263] global warming may further accelerate it in the future.[264] Despite the estimated extinction of more than 99 percent of all species that ever lived on Earth,[265][266] about 1 trillion species are estimated to be on Earth currently with only one-thousandth of one percent described.[267]

گونه‌مرگی ناپدید شدن کامل یک گونه است. گونه‌مرگی یک اتفاق غیرمعمول نیست، زیرا گونه‌ها به طور منظم از طریق گونه‌زایی ظاهر می‌شوند و با گونه‌مرگی ناپدید می‌شوند. [۲۵۷] تقریباً همه گونه‌های جانوری و گیاهی که در زمین زندگی کرده‌اند اکنون منقرض شده‌اند [۲۵۸] و به نظر می‌رسد که گونه‌مرگی سرنوشت نهایی همه گونه‌ها باشد. [۲۵۹] این گونه‌مرگی‌ها در طول تاریخ حیات به طور مداوم اتفاق افتاده است، اگرچه میزان گونه‌مرگی گاهگاهی به صورت گونه‌مرگی دسته جمعی افزایش می‌یابد. [۲۶۰] واقعه گونه‌مرگی کرتاسه-پالئوژن {Cretaceous–Paleogene}، که در طی آن دایناسورهای غیرپرنده گونه‌مرگ شدند، مشهورترین واقعه گونه‌مرگی است، اما واقعه قبلی گونه‌مرگی پرمین-تریاس {Permian–Triassic} حتی شدیدتر بود، و در آن تقریباً ۹۶٪ از گونه‌های دریایی گونه‌مرگ شدند. [۲۶۰] واقعه گونه‌مرگی هولوسن {Holocene} یک گونه‌مرگی در جریان است که به گسترش بشر در سراسر کره خاکی طی چند هزار سال گذشته مرتبط است. نرخ گونه‌مرگی امروز ۱۰۰-۱۰۰۰ برابر بیشتر از میزان پایه است و تا اواسط قرن ۲۱ ممکن است تا ۳۰٪ از گونه‌های فعلی منقرض شوند. [۲۶۱] فعالیت‌های انسانی، اکنون علت اصلی وقوع رویداد گونه‌مرگی شده است. [۲۶۲] [۲۶۳] گرم شدن کره زمین ممکن است در آینده گونه‌مرگی را تسریع کند. [۲۶۴] علیرغم تخمین نابودی بیش از ۹۹٪ از کل گونه‌هایی که تاکنون روی زمین زندگی کرده‌اند [۲۶۵] [۲۶۶]، برآورد می‌شود که حدود ۱ تریلیون گونه<sup>134</sup> در حال حاضر روی زمین باشند که فقط یک هزارم درصد آن توصیف شده باشد. [۲۶۷]



Tyrannosaurus rex. Non-avian dinosaurs died out in the Cretaceous–Paleogene extinction event at the end of the Cretaceous period.

تیرانوسوروس رکس. دایناسور غیرپرنده در واقعه‌ی گونه‌مرگی کرتاسه-پالئوژن در پایان دوره کرتاسه از بین رفت.

The role of extinction in evolution is not very well understood and may depend on which type of extinction is considered.[260] The causes of the continuous "low-level" extinction events, which form the majority of extinctions, may be the result of competition between species for limited resources (the competitive exclusion principle).[56] If one species can out-compete another, this could produce species selection,

<sup>134</sup> رقم یک تریلیون که در اینجا آمده، از آن رقم‌هایی که من پیش از این شنیده‌ام {پنج میلیون تا پنجاه میلیون گونه} خیلی بیشتر است.

with the fitter species surviving and the other species being driven to extinction.[120] The intermittent mass extinctions are also important, but instead of acting as a selective force, they drastically reduce diversity in a nonspecific manner and promote bursts of rapid evolution and speciation in survivors.[268]

نقش گونه‌مرگی در فرگشت به خوبی درک نشده است و ممکن است به نوع گونه‌مرگی مورد بررسی‌بستگی داشته باشد. [۲۶۰] علل وقایع گونه‌مرگی مستمر "سطح پایین"، که اکثر گونه‌مرگی‌ها را تشکیل می‌دهند، ممکن است نتیجه رقابت بین گونه‌ها برای منابع محدود<sup>135</sup> باشد (اصل رقابت حذفی). [۵۶] اگر یک گونه بتواند گونه دیگر را از رقابت بیرون کند {بر گونه دیگر پیروز شود}، این می‌تواند باعث گونه‌گزینش {species selection} شود، در نتیجه گونه‌های با برآزش بالاتر ماندگار می‌مانند و گونه‌های دیگر گونه‌مرگ می‌شوند. [۱۲۰] گونه‌مرگی انبوه متناوب نیز مهم است، اما به جای اینکه به عنوان یک نیروی گزینشی عمل کند گوناگونی را به طرز غیرخاص به شدت کاهش می‌دهد و موجی از فرگشت سریع و گونه زایی را در بازماندگان ترویج می‌کند. [۲۶۸]

---

<sup>135</sup> دقت کنید که "رقابت بین گونه‌ها برای منابع محدود" به معنی کشته شدن افراد یک گونه توسط افراد گونه دیگر نیست. در این قبیل موارد مرگ و یا نابازآوری در اثر کم‌غذایی و بی‌غذایی مهمتر از شکار شدن است.

# Evolutionary history of life

## تاریخ فرگشتی حیات

### Origin of life

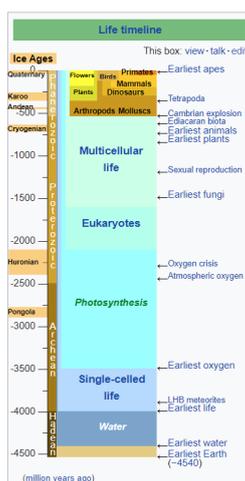
#### پیدایش حیات

Further information: *Abiogenesis, Earliest known life forms, Panspermia, and RNA world hypothesis*

اطلاعات بیشتر: نازنده‌زایی، اولین شکل‌های شناخته شده حیات، جهان‌اسپرمی، و فرضیه دنیای RNA

The Earth is about 4.54 billion years old.[269][270][271] The earliest undisputed evidence of life on Earth dates from at least 3.5 billion years ago,[13][272] during the Eoarchean Era after a geological crust started to solidify following the earlier molten Hadean Eon. Microbial mat fossils have been found in 3.48 billion-year-old sandstone in Western Australia.[15][16][17] Other early physical evidence of a biogenic substance is graphite in 3.7 billion-year-old metasedimentary rocks discovered in Western Greenland<sup>[14]</sup> as well as "remains of biotic life" found in 4.1 billion-year-old rocks in Western Australia.[273][274] Commenting on the Australian findings, Stephen Blair Hedges wrote, "If life arose relatively quickly on Earth, then it could be common in the universe."<sup>[273][275]</sup> In July 2016, scientists reported identifying a set of 355 genes from the last universal common ancestor (LUCA) of all organisms living on Earth.[276]

زمین تقریباً ۴٫۵۴ میلیارد سال قدمت دارد. [۲۶۹] [۲۷۰] [۲۷۱] اولین شواهد بی‌چون و چرای حیات بر روی زمین مربوط به حداقل 3.5 میلیارد سال پیش [۱۳] [۲۷۲] در دوران ائورکیئن {Eoarchean} است که پس از دوره هادین {Hadean} مذاب قبلی قوام یافته و پوسته زمین به وجود آمد. فسیل‌های فرس میکروبی {Microbial mat fossils} در ماسه سنگ‌های ۳٫۴۸ میلیارد ساله در استرالیا غربی یافت شده است. [۱۵] [۱۶] [۱۷] سایر شواهد فیزیکی اولیه یک ماده زیست ساخته {biogenic}، گرافیت است که در سنگ‌های فراروسوی {metasedimentary} ۳٫۷ میلیارد ساله کشف شده در گرینلند غربی [۱۴] و همچنین "بقایای حیات زیستیک" {biotic} است که در سنگ‌های ۴٫۱ میلیارد ساله در استرالیا غربی یافت شده است. [۲۷۳] [۲۷۴] استیون بلر هدجس {Stephen Blair Hedges} در مورد یافته‌های استرالیا نوشت: "اگر زندگی در زمین نسبتاً سریع به وجود آمد، پس حیات میتواند در جهان رایج باشد." [۲۷۳] [۲۷۵] در ژوئیه ۲۰۱۶، دانشمندان گزارش دادند که مجموعه ای از ۳۵۵ ژن را از آخرین جد مشترک جهانی (LUCA) تمام موجودات زنده روی زمین پیدا کرده‌اند. [۲۷۶]



More than 99 percent of all species, amounting to over five billion species,[277] that ever lived on Earth are estimated to be extinct.[265][266] Estimates on the number of Earth's current species range from 10 million to 14 million,[278][279] of which about 1.9 million are estimated to have been named[280] and 1.6 million documented in a central database to date,<sup>[281]</sup> leaving at least 80 percent not yet described.

بیش از ۹۹٪ از تمام گونه‌ها، بیش از پنج میلیارد گونه [۲۷۷]، که در روی زمین زندگی می‌کرده اند منقرض شده‌اند [۲۶۵] [۲۶۶]. تخمین تعداد گونه های فعلی زمین از ۱۰ میلیون تا ۱۴ میلیون گونه<sup>136</sup> است، که حدود ۱/۹ میلیون از آن ها نامگذاری شده اند و ۱/۶ میلیون از آن ها در پایگاه داده ها ثبت شده اند. با این حساب حداقل ۸۰٪ هنوز توصیف نشده‌اند.

Highly energetic chemistry is thought to have produced a self-replicating molecule around 4 billion years ago, and half a billion years later the last common ancestor of all life existed.[11] The current scientific consensus is that the complex biochemistry that makes up life came from simpler chemical reactions.[282][283] The beginning of life may have included self-replicating molecules such as RNA[284] and the assembly of simple cells.<sup>[285]</sup>

تصور می شود که {ترکیبات} شیمیایی بسیار پرانرژی، حدود ۴ میلیارد سال پیش مولکول های خودتکرار را تولید کرده‌اند و نیم میلیارد سال بعد آخرین جد مشترک تمام زندگی به وجود آمده است. [۱۱] اتفاق نظر علمی فعلی این است که بیوشیمی پیچیده‌ای که زندگی را می‌سازد، از واکنشهای شیمیایی ساده‌تر حاصل شده است. [۲۸۲] [۲۸۳] پیدایش زندگی ممکن است شامل مولکولهای خودتکرار، مانند RNA [۲۸۴] و هم گذاری {مونتاژ} سلولهای ساده باشد. [۲۸۵]

## Common descent

### تبار مشترک

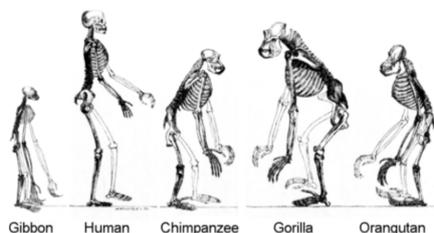
<sup>136</sup> می‌بینید که ارقام ذکر شده در اینجا، با ارقام ذکر شده در چند بند بالاتر فرق دارد. این نشان می‌دهد که ویکی‌نویسان بیش از یک نفر بوده‌اند و احتمالاً هرکس بدون توجه به نوشته‌های دیگران، مطلب خود را نوشته است.

All organisms on Earth are descended from a common ancestor or ancestral gene pool. [199][286] Current species are a stage in the process of evolution, with their diversity the product of a long series of speciation and extinction events. [287] The common descent of organisms was first deduced from four simple facts about organisms: First, they have geographic distributions that cannot be explained by local adaptation. Second, the diversity of life is not a set of completely unique organisms, but organisms that share morphological similarities. Third, vestigial traits with no clear purpose resemble functional ancestral traits. Fourth, organisms can be classified using these similarities into a hierarchy of nested groups, similar to a family tree. [288]

همه موجودات کره زمین از یک جد مشترک یا استخر ژن اجدادی، تبار یافته اند. [۱۹۹] [۲۸۶] گونه‌های فعلی، مرحله ای از روند فرگشت هستند که گوناگونی آنها محصول یک ردیف طولانی از وقایع گونه‌زایی و گونه‌مرگی است. [۲۸۷] تبار مشترک موجودات ابتدا از چهار واقعیت ساده در مورد موجودات استنباط شد: اول، موجودات گستردگی جغرافیایی دارند که با سازگاری محلی قابل توضیح نیست. دوم، گوناگونی زیستی، مجموعه‌ای از موجودات کاملن منحصر به فرد نیست، بلکه موجوداتی هستند که شباهت‌های ریخت‌شناسانه دارند. سوم، صفات بازمانده‌ای که هیچ کارکرد مشخصی ندارند، به صفات کاربردی اجدادی شباهت دارند. چهارم، موجودات را می‌توان با استفاده از این شباهت‌ها در یک سلسله مراتب از گروه‌های تو در تو، شبیه به یک شجره، طبقه بندی کرد. [۲۸۸]

Modern research has suggested that, due to horizontal gene transfer, this "tree of life" may be more complicated than a simple branching tree since some genes have spread independently between distantly related species. [289][290] To solve this problem and others, some authors prefer to use the "Coral of life" as a metaphor or a mathematical model to illustrate the evolution of life. This view dates back to an idea briefly mentioned by Darwin but later abandoned. [291]

تحقیقات جدید نشان داده است که به دلیل انتقال افقی ژن‌ها، "درخت زندگی" ممکن است پیچیده تر از یک درخت منشعب ساده باشد، زیرا برخی از ژن‌ها به طور مستقل بین گونه‌های دور از هم گسترش یافته‌اند. [۲۸۹] [۲۹۰] برای حل این مشکل و برخی دیگر مشکلات، برخی از نویسندگان ترجیح می‌دهند از "مرجان زندگی" به عنوان استعاره یا یک مدل ریاضی برای نشان دادن فرگشت زندگی استفاده کنند. این دیدگاه به یکی از ایده‌هایی برمی‌گردد که داروین به اختصار به آن اشاره کرده، اما بعداً آن را رها کرد. [۲۹۱]



The hominoids are descendants of a common ancestor.

انسان‌نماها، زادگان یک جد مشترک هستند.

Past species have also left records of their evolutionary history. Fossils, along with the comparative anatomy of present-day organisms, constitute the morphological, or anatomical, record. [292] By

comparing the anatomies of both modern and extinct species, palaeontologists can infer the lineages of those species. However, this approach is most successful for organisms that had hard body parts, such as shells, bones or teeth. Further, as prokaryotes such as bacteria and archaea share a limited set of common morphologies, their fossils do not provide information on their ancestry.

گونه‌های گذشته نیز سوابقی از تاریخ فرگشتی خود به جا گذاشته‌اند. فسیل‌ها، در کنار کالبدشناسی تطبیقی موجودات امروزی، پیشینه ریخت‌شناسی یا کالبدشناسانه را برملا می‌کنند. [۲۹۲] با مقایسه کالبد‌های گونه‌های مدرن و منقرض شده، دیرین‌شناسان می‌توانند دودمان آن گونه‌ها را استنباط کنند. با این حال، این روش برای موجوداتی که دارای قسمت‌های سخت مانند صدف، استخوان یا دندان هستند، بیشتر موفق است. بعلاوه، از آنجا که پروکاریوتها مانند باکتریها و آرکائیا [archaea] مجموعه محدودی از ریخت‌شناسی مشترک را دارند، فسیل‌های آنها اطلاعاتی در مورد تبار آنها فراهم نمی‌کند.

More recently, evidence for common descent has come from the study of biochemical similarities between organisms. For example, all living cells use the same basic set of nucleotides and amino acids.[293] The development of molecular genetics has revealed the record of evolution left in organisms' genomes: dating when species diverged through the molecular clock produced by mutations.[294] For example, these DNA sequence comparisons have revealed that humans and chimpanzees share 98% of their genomes and analyzing the few areas where they differ helps shed light on when the common ancestor of these species existed.[295]

اخیراً، شواهد مربوط به تبار مشترک از مطالعه شباهت‌های زیست‌شیمیایی موجودات به دست آمده است. به عنوان مثال، تمام سلول‌های زنده از یک مجموعه پایه‌ای از نوکلئوتیدها و اسیدهای آمینه استفاده می‌کنند. [۲۹۳] توسعه ژنتیک مولکولی سابقه فرگشت موجود در ژنوم موجودات را آشکار کرده است: تعیین زمانی که گونه‌ها واگرایی پیدا کرده‌اند، از طریق ساعت مولکولی که از مقایسه جهش‌ها به دست می‌آید، صورت می‌گیرد. [294] به عنوان مثال، مقایسه توالی DNA نشان داده است که ۹۸٪ از ژنوم انسان و شامپانزه مشترک است<sup>137</sup> و تجزیه و تحلیل مناطق کوچکی که متفاوت است به روشن شدن زمان وجود جد مشترک این گونه‌ها کمک می‌کند. [۲۹۵].

## Evolution of life

### فرگشت زندگی

Prokaryotes inhabited the Earth from approximately 3–4 billion years ago.[297][298] No obvious changes in morphology or cellular organisation occurred in these organisms over the next few billion years.[299] The eukaryotic cells emerged between 1.6 and 2.7 billion years ago. The next major change in cell structure came when bacteria were engulfed by eukaryotic cells, in a cooperative association called endosymbiosis. [300][301] The engulfed bacteria and the host cell then underwent coevolution, with the bacteria evolving into either mitochondria or hydrogenosomes. [302] Another engulfment of cyanobacterial-like organisms led to the formation of chloroplasts in algae and plants. [303]

---

<sup>137</sup> می‌بینید که در اینجا هم رقمی ذکر می‌شود که با رقم قبلی تفاوت دارد. این هم نشانه‌ای دیگر از اینکه هر بخش را یک نفر نوشته، بدون آنکه بخش‌های دیگر را تصحیح کند! این را در بخش و بند بعدی هم می‌توان دید. تو گویی یک نفر بحث تازه‌ای را شروع کرده و "متنافر" با نفر قبلی حرف می‌زند!

پروکاریوتها از حدود ۳-۴ میلیارد سال پیش در کره زمین زندگی می کردند. [۲۹۷] [۲۹۸] طی چند میلیارد سال بعد از آن، هیچ تغییر واضحی در ریخت شناسی یا سازمان سلولی در این موجودات رخ نداده است [۲۹۹]. سلولهای هسته‌داران بین ۱,۶ و ۲,۷ میلیارد سال پیش ظهور کردند. تغییر عمده بعدی در ساختار سلول زمانی رخ داد که باکتریها توسط سلولهای هسته‌داران بلعیده شدند، و در یک همکاری موسوم به اندوسیمبیوز {endosymbiosis} قرار گرفتند. [۳۰۰] [۳۰۱] سپس باکتریهای بلعیده شده و سلول میزبان هم فرگشت کردند و باکتریها به میتوکندری یا هیدروژنوزوم {hydrogenosome} تبدیل شدند. [۳۰۲] بلعیده شدن دیگر موجوداتی شبیه سیانوباکتریها {cyanobacterial-like} منجر به تشکیل کلروپلاست در جلبکها و گیاهان شد. [۳۰۳]

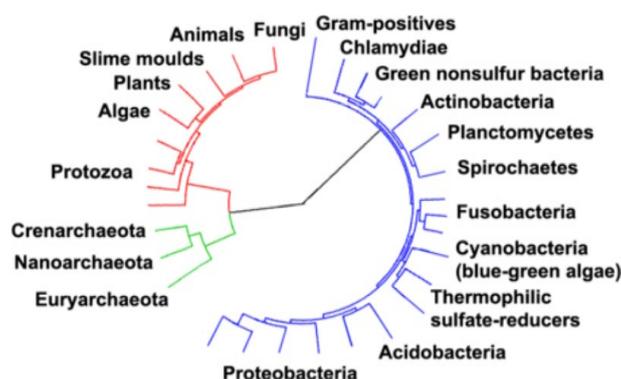
The history of life was that of the unicellular eukaryotes, prokaryotes and archaea until about 610 million years ago when multicellular organisms began to appear in the oceans in the Ediacaran period.[297][304] The evolution of multicellularity occurred in multiple independent events, in organisms as diverse as sponges, brown algae, cyanobacteria, slime moulds and myxobacteria. [305] In January 2016, scientists reported that, about 800 million years ago, a minor genetic change in a single molecule called GK-PID may have allowed organisms to go from a single cell organism to one of many cells. [306]

تاریخچه زندگی تا حدود ۶۱۰ میلیون سال پیش همان تاریخ زندگی هسته‌داران تک‌سلولی، پروکاریوتها و آرکائیا بود تا آن که موجودات چندسلولی در دوره ادیاکاران {Ediacaran} شروع به ظهور در اقیانوس ها کردند. [۲۹۷] [۳۰۴] فرگشت زندگی چند سلولی در چندین رویداد مستقل، در موجودات متنوعی مانند اسفنج {sponge}ها، جلبک قهوه‌ای {brown algae}، سیانوباکتری {cyanobacteria}ها، قارچ لجن<sup>138</sup> {slime mould}، و میکسوباکتری {myxobacteria}ها رخ داد [۳۰۵]. در ژانویه ۲۰۱۶، دانشمندان گزارش دادند، که حدود ۸۰۰ میلیون سال پیش، ممکن است یک تغییر ژنتیکی کوچک در یک مولکول منفرد به نام GK-PID باعث شده باشد که موجودات از یک موجود تک سلولی به یکی از بسیاری از چندسلولیها فرگشت کنند [۳۰۶].

Soon after the emergence of these first multicellular organisms, a remarkable amount of biological diversity appeared over approximately 10 million years, in an event called the Cambrian explosion. Here, the majority of types of modern animals appeared in the fossil record, as well as unique lineages that subsequently became extinct. [307] Various triggers for the Cambrian explosion have been proposed, including the accumulation of oxygen in the atmosphere from photosynthesis. [308]

پس از ظهور اولین موجودات چندسلولی، طی حادثه ای به نام انفجار کامبرین {Cambrian explosion}، در طی تقریباً ۱۰ میلیون سال، مقدار قابل توجهی از گوناگونی زیستی ظاهر شد. در آن زمان، اکثر "نوع"های حیوانات مدرن و همچنین دودمانهای منحصر به فردی که متعاقباً منقرض شدند، در باقیمانده‌های فسیلی ظاهر شدند [۳۰۷]. عوامل مختلفی برای انفجار کامبرین پیشنهاد شده است، از جمله تجمع اکسیژن تولید شده در روند فتوسنتز در جو زمین [۳۰۸].

<sup>138</sup> دقت کنید که "قارچ لجن" موجودی تک سلولی است و وقتی تعداد زیادی از آن روی سطحی رشد می کند، شبیه کپک دیده می شود.



Evolutionary tree showing the divergence of modern species from their common ancestor in the centre.[296]The three domains are coloured, with bacteria blue, archaea green and eukaryotes red. درخت فرگشتی که واگرایی گونه‌های مدرن را از جد مشترک آنها در مرکز تصویر نشان می دهد [۲۹۴]. سه دامنه رنگی دیده میشود: رنگ آبی برای باکتری ، سبز برای آرکائیا و رنگ قرمز برای هسته‌داران.

About 500 million years ago, plants and fungi colonised the land and were soon followed by arthropods and other animals.[309] Insects were particularly successful and even today make up the majority of animal species.[310] Amphibians first appeared around 364 million years ago, followed by early amniotes and birds around 155 million years ago (both from "reptile"-like lineages), mammals around 129 million years ago, homininae around 10 million years ago and modern humans around 250,000 years ago.[311][312][313] However, despite the evolution of these large animals, smaller organisms similar to the types that evolved early in this process continue to be highly successful and dominate the Earth, with the majority of both biomass and species being prokaryotes.[176]

حدود ۵۰۰ میلیون سال پیش، گیاهان و قارچ‌ها در زمین گسترده شدند و به سرعت بندپایان و سایر حیوانات به دنبال آنها آمدند. [۳۰۹] حشرات بسیار موفق بودند و حتی امروزه اکثر گونه های جانوری را تشکیل می دهند. [۳۱۰] دوزیستیان اولین بار در حدود ۳۶۴ میلیون سال پیش و سپس آمنیوت {amniotes}های اولیه و پرندگان در حدود ۱۵۵ میلیون سال پیش ظاهر شدند (هر دو از تبار شبه خزندگان). پستانداران در حدود ۱۲۹ میلیون سال پیش، انسان‌ها در حدود ۱۰ میلیون سال پیش و انسان‌های مدرن در حدود ۲۵۰۰۰۰ سال پیش به وجود آمدند. [۳۱۱] [۳۱۲] [۳۱۳] با این حال، با وجود فرگشت حیوانات بزرگ، موجودات کوچکتر، مانند گونه‌هایی که در اوایل این روند فرگشت یافتند، همچنان بسیار موفق هستند و بر زمین تسلط دارند، بیشینه ی جرم زیستی و گونه‌ها، موجودات بی هسته هستند. [۱۷۶].

## Application

### کاربرد

Concepts and models used in evolutionary biology, such as natural selection, have many applications.[314]

مفاهیم و مدل‌های مورد استفاده در زیست‌شناسی فرگشتی، مانند گزینش طبیعی، کاربردهای بسیاری دارند. [۳۱۴]

Artificial selection is the intentional selection of traits in a population of organisms. This has been used for thousands of years in the domestication of plants and animals.[315] More recently, such selection has become a vital part of genetic engineering, with selectable markers such as antibiotic resistance genes being used to manipulate DNA. Proteins with valuable properties have evolved by repeated rounds of mutation and selection (for example modified enzymes and new antibodies) in a process called directed evolution. [316]

گزینش مصنوعی<sup>139</sup>، گزینش عمدی صفات در جمعیت از یک موجود است. این روش در طول هزاران سال در اهلی سازی گیاهان و حیوانات مورد استفاده قرار گرفته است. [۳۱۵] اخیراً، چنین گزینشی با استفاده از نشانگرهای قابل گزینش {selectable markers} مانند ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک برای دستکاری DNA، به بخشی حیاتی از مهندسی ژنتیک تبدیل شده است. پروتئین‌هایی که دارای خواص ارزشمند هستند، در فرآیندی به نام فرگشت هدایت شده با جهش و گزینش مکرر (مثلاً آزنیم‌های پیرایش شده و آنتی‌بادی‌های جدید) فرگشت یافته‌اند [۳۱۶].

Understanding the changes that have occurred during an organism's evolution can reveal the genes needed to construct parts of the body, genes which may be involved in human genetic disorders. [317] For example, the Mexican tetra is an albino cavefish that lost its eyesight during evolution. Breeding together different populations of this blind fish produced some offspring with functional eyes, since different mutations had occurred in the isolated populations that had evolved in different caves. [318] This helped identify genes required for vision and pigmentation. [319]

درک تغییراتی که در طی فرگشت موجود<sup>141</sup> رخ داده است، می‌تواند ژن‌های مورد نیاز برای ساختن قسمت‌هایی از بدن را نشان دهد، که ممکن است در اختلالات ژنتیکی انسان نقش داشته باشند. [۳۱۷] به عنوان مثال، تترامکزیکی {Mexican tetra} یک ماهی غارزیست زال است که در طی فرگشت بینایی خود را از دست داده است. آمیزش جمعیت‌های مختلف این ماهی نابینا، فرزندان دارای چشم با کاربرد تولید می‌کند، زیرا جهش‌های مختلفی در جمعیت‌های مجزای غارهای مختلف، رخ داده است. [۳۱۸] این به شناسایی ژن‌های مورد نیاز برای بینایی و ایجاد رنگ دانه کمک کرده است [۳۱۹].

<sup>139</sup> پیش از این گفته بودم که "گاهی غر زدن به سلامت عقل کمک می‌کند!" الان اضافه می‌کنم که گاهی "فحش و فضاخیزی برای هضم غذا خوب است!" بند بالا که با دو واژه "گزینش مصنوعی" آغاز می‌شود، عمق جهالت ویکی‌نویسان را نشان می‌دهد. ۱۵۰۰ سال تجربه بشری در اهلی کردن حیوانات و گیاهان و ۲۷۰ سال تجربه کار علمی برای اصلاح دام و نبات را تقلیل می‌دهند به اراجیفی که اینجا نوشته‌اند.

<sup>140</sup> نوشته بند بالا نشان از این دارد که ویکی‌نویسان حتی کتاب پیدایش گونه‌های داروین را نخوانده‌اند که بدانند داروین با آوردن مثال از اصلاح‌گران دام و نبات، کتابش را شروع کرده. ویکی‌نویسان نمی‌دانند که Fisher در مرکز تحقیقات کشاورزی Rothamsted شاغل بود، و Wright در وزارت کشاورزی آمریکا کار می‌کرد.

<sup>141</sup> باز تکرار می‌کنم که اگر منظور از موجودات، یک موجود منفرد است، جمله اول این بند غلط است. فرگشت، انفرادی نیست! فرگشت، جمعیتی است و در طی نسل‌های طولانی صورت می‌پذیرد.

Evolutionary theory has many applications in medicine. Many human diseases are not static phenomena, but capable of evolution. Viruses, bacteria, fungi and cancers evolve to be resistant to host immune defences, as well as pharmaceutical drugs. [320][321][322] These same problems occur in agriculture with pesticide[323] and herbicide[324] resistance. It is possible that we are facing the end of the effective life of most of available antibiotics[325] and predicting the evolution and evolvability[326] of our pathogens and devising strategies to slow or circumvent it is requiring deeper knowledge of the complex forces driving evolution at the molecular level.[327]

نظریه فرگشت در پزشکی کاربردهای بسیاری دارد. بسیاری از بیماری‌های انسان پدیده‌های ساکنی نیستند، و قادر به فرگشت هستند. ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و سرطان‌ها در برابر دفاع ایمنی میزبان و همچنین مواد دارویی مقاوم می‌شوند. [۳۲۰] [۳۲۱] [۳۲۲] همین مشکلات در کشاورزی با مقاومت به سموم دفع آفات [۳۲۳] و علف کش [۳۲۴] رخ می‌دهد. ممکن است که ما با پایان عمر موثر اکثر آنتی بیوتیک‌های موجود روبرو باشیم [۳۲۵] و پیش بینی فرگشت و فرگشت‌پذیری [۳۲۶] عوامل بیماری‌زا و تدوین استراتژی‌هایی برای کند کردن یا دور زدن آن، نیاز به دانش عمیق‌تری از نیروهای پیچیده فرگشت در سطح مولکولی دارد. [۳۲۷]

In computer science, simulations of evolution using evolutionary algorithms and artificial life started in the 1960s and were extended with simulation of artificial selection.[328] Artificial evolution became a widely recognised optimisation method as a result of the work of Ingo Rechenberg in the 1960s. He used evolution strategies to solve complex engineering problems.[329] Genetic algorithms in particular became popular through the writing of John Henry Holland. [330] Practical applications also include automatic evolution of computer programmes. [331] Evolutionary algorithms are now used to solve multi-dimensional problems more efficiently than software produced by human designers and also to optimise the design of systems. [332]

در علوم رایانه ای، شبیه سازی‌های فرگشت با استفاده از الگوریتم‌های فرگشتی و زندگی مصنوعی از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و با شبیه سازی گزینش مصنوعی گسترش یافت [۳۲۸]. فرگشت مصنوعی در نتیجه کار اینگو ریچنبرگ {Ingo Rechenberg} در دهه ۱۹۶۰ به یک روش بهینه سازی کاملاً شناخته شده تبدیل شد. وی از استراتژی‌های فرگشتی برای حل مسائل پیچیده مهندسی استفاده کرد. [۳۲۹] به ویژه الگوریتم‌های ژنتیکی، از طریق نوشته‌های جان هنری هالند {John Henry Holland}، محبوب شدند. [۳۳۰] برنامه‌های کاربردی همچنین شامل فرگشت خودکار برنامه‌های رایانه ای است. [۳۳۱] الگوریتم‌های فرگشتی، اکنون برای حل مشکلات چند بعدی، با کارایی بیشتر از نرم افزار تولید شده توسط طراحان انسانی، و همچنین بهینه سازی طراحی سیستم‌ها استفاده می‌شوند<sup>142</sup>. [۳۳۲]

---

<sup>142</sup> اگر متن بند بالا جدیدتر بود لغاتی مانند Machine learning و Artificial intelligence را هم بکار می‌بردند.

## Social and cultural responses

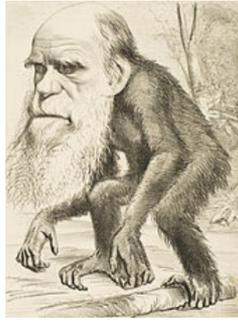
### پاسخ‌های اجتماعی و فرهنگی

In the 19th century, particularly after the publication of *On the Origin of Species* in 1859, the idea that life had evolved was an active source of academic debate centred on the philosophical, social and religious implications of evolution. Today, the modern evolutionary synthesis is accepted by a vast majority of scientists.[56] However, evolution remains a contentious concept for some theists. [334]

در قرن نوزدهم، به ویژه پس از انتشار کتاب *درباره پیدایش گونه‌ها* در سال ۱۸۵۹، این ایده که زندگی فرگشت یافته است منبع فعالی برای بحث‌های دانشگاهی با محور پیامدهای فلسفی، اجتماعی و مذهبی فرگشت بود. امروزه سنتز فرگشتی نوین توسط بیشینه دانشمندان پذیرفته شده است. [۵۶] با این حال، فرگشت برای برخی از خداپاواران یک مفهوم بحث‌انگیز است. [334]

While various religions and denominations have reconciled their beliefs with evolution through concepts such as theistic evolution, there are creationists who believe that evolution is contradicted by the creation myths found in their religions and who raise various objections to evolution. [165][335][336] As had been demonstrated by responses to the publication of *Vestiges of the Natural History of Creation* in 1844, the most controversial aspect of evolutionary biology is the implication of human evolution that humans share common ancestry with apes and that the mental and moral faculties of humanity have the same types of natural causes as other inherited traits in animals. [337] In some countries, notably the United States, these tensions between science and religion have fuelled the current creation–evolution controversy, a religious conflict focusing on politics and public education. [338] While other scientific fields such as cosmology [339] and Earth science [340] also conflict with literal interpretations of many religious texts, evolutionary biology experiences significantly more opposition from religious literalists.

در حالی که ادیان و مذاهب مختلف عقاید خود را با فرگشت از طریق مفاهیمی مانند فرگشت خداپاوارانه تطبیق داده‌اند، خلقت‌گرایانی وجود دارند که معتقدند فرگشت با اسطوره‌های آفرینش موجود در ادیان آنها مغایرت دارد و اعتراضات مختلفی را نسبت به فرگشت مطرح می‌کنند. [۱۶۵] [۳۳۵] [۳۳۶] همانطور که در پاسخ به انتشار کتاب *بازمانده‌های تاریخ طبیعی آفرینش* {*Vestiges of the Natural History of Creation*} در سال ۱۸۴۴ نشان داده شد، بحث‌انگیزترین جنبه زیست‌شناسی فرگشتی، مفهوم فرگشت انسان است، که انسان از جد مشترک با میمون‌ها برخوردار است و توانایی‌های ذهنی و اخلاقی بشریت معلول همان علل طبیعی سایر صفات ارثی در حیوانات است. [۳۳۷] در برخی از کشورها، به ویژه ایالات متحده، این تنش‌ها بین علم و دین به بحث و جدال آفرینش-فرگشت، به درگیری مذهبی متمرکز بر سیاست و آموزش عمومی دامن زده است. [۳۳۸] در حالی که سایر زمینه‌های علمی مانند کیهان‌شناسی [۳۳۹] و علوم زمینی [۳۴۰] نیز با تعابیر تحت‌اللفظی بسیاری از متون دینی در تعارض هستند، زیست‌شناسی فرگشتی به طور قابل توجهی مخالفت بیشتر متکلمان مذهبی را می‌انگیزد.



As evolution became widely accepted in the 1870s, caricatures of Charles Darwin with an ape or monkey body symbolised evolution.[333]

با پذیرش گسترده فرگشت در دهه ۱۸۷۰، کاریکاتورهای چارلز داروین با بدن میمون یا عنتر نماد فرگشت بود [۳۳۳].

The teaching of evolution in American secondary school biology classes was uncommon in most of the first half of the 20th century. The Scopes Trial decision of 1925 caused the subject to become very rare in American secondary biology textbooks for a generation, but it was gradually re-introduced later and became legally protected with the 1968 Epperson v. Arkansas decision. Since then, the competing religious belief of creationism was legally disallowed in secondary school curricula in various decisions in the 1970s and 1980s, but it returned in pseudoscientific form as intelligent design (ID), to be excluded once again in the 2005 Kitzmiller v. Dover Area School District case.[341] The debate over Darwin's ideas did not generate significant controversy in China.[342]

آموزش فرگشت در کلاسهای زیست شناسی دبیرستان های آمریکایی در بیشتر نیمه اول قرن بیستم غیر معمول بود. تصمیم در مورد یک دعوی حقوقی به نام {Scope Trial} در سال ۱۹۲۵ باعث شد که این موضوع برای یک نسل در کتابهای زیست شناسی دبیرستانی آمریکایی بسیار نادر شود، اما بعداً به تدریج مجدداً وارد کتاب های درسی شد و با تصمیم ۱۹۶۸ در یک دعوی حقوقی دیگر به نام {Epperson v. Arkansas} از آن محافظت قانونی شد. از آن زمان، بر اساس تصمیمات مختلف در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، آموزش اعتقاد مذهبی خلقت گرایی {creationism} به طور قانونی از برنامه های درسی دوره متوسطه حذف شد، اما در هیئت یک شکل شبه علمی به نام طرح هوشمندانه {intelligent design} به مدارس بازگشت، تا یک بار دیگر در ۲۰۰۵ در دعوی حقوقی دیگری به نام {Kitzmiller v. Dover Area School District case} حذف شود. [۳۴۱] بحث در مورد ایده های داروین در چین بحث و مجادله قابل توجهی ایجاد نکرده است. [۳۴۲]

قسمتهایی که احتیاج به ترجمه نداشتند، در زیر آمده اند.

# آخر