

فصل چهارم

تغییر در اطلاعات وراثتی

ایده‌های کلیدی

- ساختار و عملکرد
- روابط و الگوها
- پایداری، تغییر و زمان
- اندازه‌گیری

پیامدهای شایستگی محور

ساختار و عملکرد

- علتی برای شباهت‌ها و تفاوت‌ها میان افراد یک جمعیت ارائه دهد.
- علت گوناگونی جانداران را در سطح مولکولی توضیح دهد.
- بتواند مدلی از خزانه ژن یک جاندار فرضی بسازد و به کمک آن، پایداری فراوانی ال‌ها را در نسل‌های بعدی نشان دهد.

- اهمیت حفظ گونه‌های در حال انقراض را تحلیل کند.
- علتی (علت‌هایی) زیست‌شناختی برای لزوم پاسداری از تنوع زیستی و آفریده‌های پروردگار ارائه دهد.
- بتواند اثرات نامطلوب برخی از رفتارها (مثل شکار حیوانات در معرض انقراض) را تحلیل کند.

روابط و الگوها

- رابطه‌ای بین تغییرات سبک زندگی و بیماری‌های دنیای امروز برقرار کند.

پایداری، تغییر و زمان

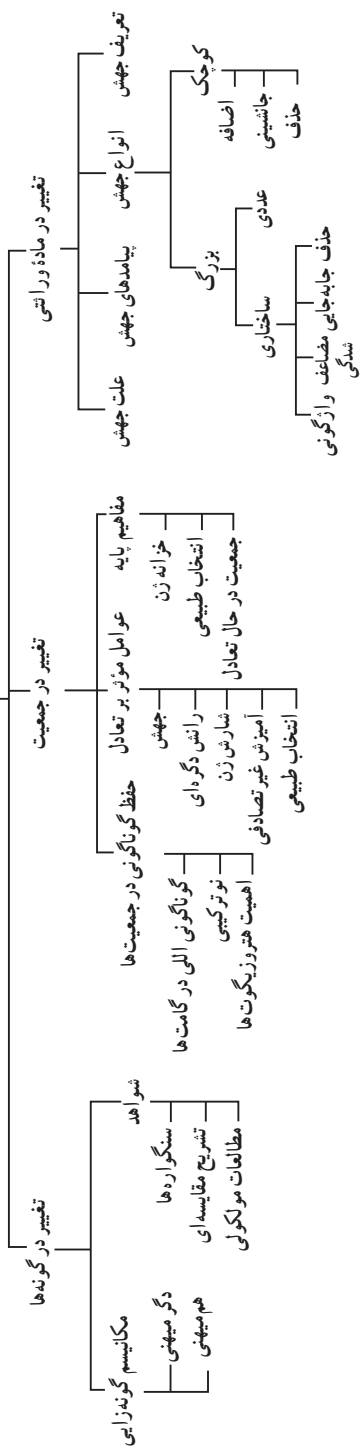
- علت تغییرات جانداران را در نسل‌های پی‌درپی توضیح دهد.
 - نقش عوامل محیطی از جمله تغذیه را در پایداری دنا تحلیل کند.
 - علت مقاوم شدن باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها را تحلیل کند.
- ### اندازه‌گیری
- عوامل تغییر ساختار ژنی جمعیت را شناسایی کند و میزان اثر آنها را مشخص کند.

پرسش‌های اساسی

- چگونه ممکن است دنا ی سالم در فردی، تغییر کند و به بیماری‌هایی چون سرطان منجر شود؟
- تغییر در دنا چه مزایا و معایبی دارد؟
- چگونه یک جمعیت به تغییرات محیط پاسخ می‌دهد؟
- گونه‌ها چگونه تغییر می‌کنند؟

مهارت‌های کلیدی

- برقراری ارتباط
- تحلیل نمودار
- تحقیق کتابخانه‌ای (کاغذی و دیجیتال)
- استدلال و استنتاج



روش تدریس

مثلث ارتقای یادگیری

همان گونه که می دانیم سه ضلع مثلث ارتقای یادگیری عبارت‌اند از طراحی آموزشی، رسانه‌های پرشمار آموزشی، و ارائه آموخته‌ها توسط دانش‌آموزان. در فصل سه نیز این مثلث را بررسی می‌کنیم.

۱- طراحی آموزشی

طراحی آموزشی خود به عوامل متعددی وابسته است که از میان آنها می‌توان به عوامل زیر اشاره کرد :
 الف) موضوع درس : موضوع این درس تغییر در ماده وراثتی است و به موضوعاتی چون گونه‌زایی می‌پردازد. سعی بسیار شده است تا از ارائه مطالبی که برای دانش‌آموز پرسش‌انگیز است و در عین حال پاسخ قانع‌کننده‌ای برای آن نیست، پرهیز شود. اما به هر حال دانش‌آموزان کنجکاوند. باید به کنجکاوی آنها از زبان علم تجربی پاسخ داد. در پاسخ به آن دسته از سؤالاتی که ممکن است در محدوده علم تجربی قرار نگیرد باید «محدودیت داشتن علم تجربی» را یادآوری کنیم. در نخستین فصل کتاب زیست‌شناسی دهم چنین محدودیت‌هایی تشریح شده‌اند. باید یادآوری کنیم که زیست‌شناسی می‌کوشد به‌عنوان یکی از شاخه‌های علوم تجربی، با «ابزارهایی که در اختیار دارد» به رازهای آفرینش پی ببرد، و نمی‌تواند پاسخ همه پرسش‌ها را فراهم کند. بنابراین پاسخ این دسته از سؤالات را باید از منابع دیگر بیابیم. در طرح درس خود به این موضوع توجه داشته باشید.

ب) سطح علمی کلاس : اگر سطح علمی کلاس اجازه می‌دهد می‌توانید علت جهش را با جزئیات بیشتری (که به درس‌های شیمی و فیزیک ارتباط پیدا می‌کند)، بیان کنید تا از ارتباط بین شیمی، فیزیک و زیست‌شناسی نمونه‌های بیشتری ببینند.

ج) تعداد دانش‌آموزان : لزوماً تعداد دانش‌آموزان زیاد، مشکل‌ساز نیست. چیزی که کار را دشوار می‌کند همگن نبودن کلاس است. از گروه‌بندی استفاده کنید. در هر گروه دانش‌آموزانی از سطوح علمی مختلف را در کنار هم قرار دهید و فعالیت‌هایی را به آنها واگذار کنید.

د) زمان تدریس : با توجه به پرسش‌خیز بودن موضوع فصل، پرسش‌های احتمالی دانش‌آموزان را مدیریت کنید تا همچنان طبق بودجه‌بندی زمانی خود پیش بروید. در عین حال توجه داشته باشید که موضوعات ژنتیک برای دانش‌آموزان معمولاً جذاب‌اند و پرسش و پاسخ‌هایی که رخ خواهد داد، می‌تواند آنان را علاقه‌مندتر سازد.

هـ) امکانات در اختیار

این فصل در مقایسه با سایر فصل‌ها به امکانات کمتری نیاز دارد. (چون به مکانیسم‌های پیچیده و جزئیات اشاره نشده)؛ از جدول‌بندی و دسته‌بندی استفاده کنید.

۲- رسانه‌های پرشمار آموزشی

در میان انواع رسانه‌ها، تخته‌سیاه را فراموش نکنید. ارائه درس فقط با پاورپوینت و ابزارهای نوین همیشه خوب نیست.

۳- ارائه آموخته‌ها توسط دانش‌آموزان

فرصت‌های ارائه را به دور از اضطراب ارزشیابی شدن فراهم کنید. از این ارائه‌ها بازخورد بگیرید و روند کار «خود» را ارزشیابی کنید.

دانشتنی‌هایی برای معلم

گوناگونی در جانداران

هیچ دو جاننداری را نمی‌توان یافت که دقیقاً شبیه هم باشند. حتی افراد متعلق به یک گونه، در آناتومی، رفتار و ژن‌ها با یکدیگر تفاوت دارند.

همان‌گونه که چارلز داروین تقریباً در ۱۶۰ سال پیش اشاره کرد، گوناگونی‌هایی (Variation) که در میان افراد دیده می‌شود، ماده خام تکامل است. گوناگونی، همان چیزی است که به جمعیت‌ها امکان می‌دهد تا با شرایط محیطی جدید سازگاری حاصل کنند. گوناگونی، همان چیزی است که باعث می‌شود آدمی بتواند جمعیت‌های مختلف گیاهی و دامی را برای ازدیاد صفات مورد نظر به‌طور انتخابی زادآوری کند. در این فصل با این پرسش‌ها روبه‌رو هستیم: تفاوت‌های بین افراد از کجا آمده‌اند؟ نیروهایی که بر گوناگونی اثر می‌کنند کدام‌اند؟ اگر گوناگونی نبود، دنیای جانداران شبیه چه بود؟ در ادامه سعی شده است مثال‌های بیشتری نسبت به کتاب درسی آورده شود. آنچه که در پی می‌آید، از کتاب زیست‌شناسی با رویکرد مولکولی از انتشارات فاطمی گرفته شده است.

جمعیت‌ها و خزانه‌های ژنی

تکامل را این‌گونه تعریف می‌کنند: تغییر در جمعیت‌ها در طول زمان. اما این زمان چقدر است؟ زیست‌شناسان معمولاً با دو مقیاس زمانی برای تکامل مواجه‌اند. تکامل خُرد عبارت است از تغییر در درون یک گونه که ممکن است طی ده‌ها یا صدها نسل به وقوع بپیوندد. تکامل کلان معمولاً با دوره‌های

بسیار طولانی‌تری سروکار دارد و منشأ گونه‌های جدید را شامل می‌شود. شاخه‌ای از زیست‌شناسی که تکامل خُرد را مطالعه می‌کند، ژنتیک جمعیت نام دارد. ژنتیک دانان جمعیت، از قوانین مندل در وراثت، آنالیز بیوشیمیایی ژن‌ها و پروتئین‌ها، مدل‌های ریاضی، و دیگر تکنیک‌ها استفاده می‌کنند تا تکامل خُرد را درک کنند.

یکی از مفاهیم اساسی در ژنتیک جمعیت، خزانه ژنی است. خزانه ژن شامل تمام ژن‌های یک جمعیت محلی از یک جاندار است. مثلاً اگر جمعیتی از گیاهان تماماً شامل گیاهان گل ارغوانی باشد آن‌گاه، خزانه ژن آن شامل تعداد زیادی از ال‌هایی خواهد بود که گل‌های ارغوانی تولید می‌کنند و به هیچ وجه ال‌ی که گل سفید تولید می‌کند در آن یافت نخواهد شد. در این صورت، فراوانی ال گل ارغوانی عبارت است از ۱۰۰ درصد و فراوانی ال‌ی که گل سفید تولید می‌کند برابر است با صفر درصد. همچنین این امکان وجود دارد که در یک خزانه ژن هر دو ال موجود باشند. مثلاً خزانه ژن یک جمعیت ممکن است ۷۰ درصد ال گل ارغوانی و ۳۰ درصد ال گل سفید داشته باشد. جمعیت دیگری از همین گونه ممکن است ۵۰ درصد ال گل ارغوانی و ۵۰ درصد ال گل سفید داشته باشد. در هر مورد، مجموع فراوانی دو ال ۱۰۰ درصد خواهد بود.

توجه داشته باشید که خزانه ژن مربوط است به یک جمعیت، نه تمام یک گونه. جاندارانی که متعلق به یک گونه‌اند و همگی در یک ناحیه جغرافیایی زندگی می‌کنند، جمعیت محلی را تشکیل می‌دهند. جانداران یک جمعیت محلی، با یکدیگر آمیزش می‌کنند. از آنجا که همه آنان محیط مشترکی دارند، تحت فشارهای یکسانی از جانب انتخاب طبیعی قرار دارند. به همین علت، جمعیت محلی، واحد تکامل است. ژنتیک جمعیت، توجه خود را به خزانه‌های ژن جمعیت‌های محلی معطوف می‌دارد.

گوناگونی ژنتیک

همه انسان‌ها، اعضای یک گونه‌اند؛ اما هیچ دو نفری دقیقاً شبیه به هم نیستند. شباهت‌ها و تفاوت‌های بسیاری در میان مردم دیده می‌شود. مثلاً رنگ چشم و گروه خونی در میان افراد هوموساپینس متفاوت است. تفاوت در این صفات، به علت تفاوت‌های ژنتیک است. خزانه ژن آدمی ال‌های گوناگونی دارد که بر گروه خون و بسیاری از صفات دیگر اثر می‌گذارند. گونه‌های دیگر نیز در خزانه ژنی خود گوناگونی دارند. مثلاً درختان سیب هم متعلق به یک گونه‌اند، اما میوه‌هایی که درختان مختلف تولید می‌کنند ممکن است سرخ یا زرد، سفت یا نرم، شیرین یا ترش، بزرگ یا کوچک باشند. بخشی از علت این تفاوت‌ها، گوناگونی ژنتیک است. وقتی برای ژن یک صفت، دو یا تعداد بیشتری ال در خزانه ژن موجود باشد، می‌گویند جمعیت برای آن صفت پلی‌مورفیک (چند شکل) است.

مشاهده توالی‌های پروتئین و توالی‌های DNA در خزانه‌های ژنی تعداد زیادی از گونه‌ها، دانشمندان را به این نتیجه رسانده است که تقریباً همه جمعیت‌های بزرگی که تولیدمثل جنسی دارند، در خزانه‌های ژنی خود از گوناگونی زیادی برخوردارند. این گوناگونی چقدر است؟ به طور معمول، حدود ۵٪ درصد از بازهای DNA متغیر است. کروموزوم‌های د. ملانوگاستر از ۱۶۵ میلیون جفت باز تشکیل شده‌اند. بنابراین تقریباً یک میلیون جایگاه نوکلئوتیدی در میان مگس‌های میوه متفاوت است. ژنوم آدمی، گوناگونی کمتری نسبت به مگس میوه دارد. ۹۹/۹ درصد ژنوم دو فرد مختلف یکسان است. این یعنی آنکه انتظار می‌رود در ۳ میلیارد جفت باز ژنوم آدمی، ۳ میلیون جایگاه نوکلئوتیدی متغیر وجود داشته باشد. سرچشمه اول همه این گوناگونی‌ها، جهش است. دومین سرچشمه، ترکیبی ال‌ها طی میوز است. به یاد داشته باشیم که کراسینگ اور و جور شدن مستقل در میوز، ترکیبات جدیدی از ال‌ها را ایجاد می‌کند.

همه گوناگونی‌های ژنتیک بر جاندار اثرگذار نیستند. از آنجا که کد ژنتیک مترادف دارد، بعضی از جهش‌هایی که باعث تغییر یک نوکلئوتید می‌شوند، توالی آمینواسیدی را تغییر نمی‌دهند، مثلاً کدون‌های CAG و CAA در mRNA هر دو آمینواسید گلوتامین را تعیین می‌کنند. این بدان معنی است که ممکن است دو نفر که ژن‌هایی با تفاوت اندک دارند، پروتئین‌هایی یکسان داشته باشند. بسیاری از جهش‌هایی که در نواحی غیر رمزگردان و غیرتنظیم‌کننده DNA رخ می‌دهد، هیچ اثری بر جاندار ندارند. همچنین بعضی از جهش‌ها، تغییر آمینواسیدی را باعث می‌شود که هیچ اثری بر کار پروتئین ندارد. مثلاً تغییر کدون AAA به AAG آمینواسید آرژینین را جانشین لایزین خواهد کرد. این دو آمینواسید، گروه‌های R مشابهی دارند که می‌توانند در یک پروتئین تقریباً جانشین یکدیگر شوند. احتمال می‌رود که بسیاری از خزانه‌های ژنی، چنین پلی مورفیسم‌های پنهانی را در بر داشته باشند.

مدل هاردی — واینبرگ

گاهی دانشمندان برای درک طبیعت از مدل‌های ساده استفاده می‌کنند. ژنتیک‌دانان جمعیت، از مدل هاردی — واینبرگ استفاده می‌کنند تا مدل‌های ریاضی خزانه ژنی را ایده‌آل کنند. این مدل را در سال ۱۹۰۸ ریاضیدانی به نام گادفری ه. هاردی و پزشکی به نام ویلهلم واینبرگ ارائه کردند. آنان برای فراوانی‌های الی در خزانه‌های ژنی، رابطه ریاضی ساده‌ای را کشف کردند. درک آنان از این رابطه تا به امروز نیز همچنان به عنوان بخش بنیادی ژنتیک جمعیت باقی مانده است.

مدل هاردی — واینبرگ چند فرض دارد که باعث ساده شدن کار می‌شود. این فرض‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- فرضیات مدل هاردی - واینبرگ

■ جاندار دیپلوئید است.	■ تولیدمثل، جنسی است.
■ نسل ها هم پوشانی ندارند.	■ گامت ها به طور تصادفی ملحق می شوند.
■ اندازه جمعیت بسیار بزرگ است.	■ مهاجرت ناچیز است.
■ جهش ناچیز است.	■ انتخاب طبیعی عمل نمی کند.

حال فرض کنید که در این جمعیت فرضی، دو الل وجود دارد که بر رنگ گل اثر می گذارند. بعضی از گامت های این جمعیت اللی را حمل می کنند که گل های ارغوانی تولید می کند. هر نسل از گیاهان با نمونه برداری تصادفی از خزانه گامت ها ایجاد شده اند. منظور از نمونه برداری تصادفی چیست؟ فرض کنید به خزانه ای بینهایت بزرگ از گامت ها دست یافته اید. دو گامت را به طور تصادفی بیرون بکشید و آنها را با هم ادغام کنید تا زیگوت دیپلوئید تشکیل شود. این فرایند را بارها و بارها تکرار کنید. آن قدر گامت ها را ادغام کنید تا تمام زیگوت های لازم برای تشکیل نسل جدید فراهم شود.

هر بار که در نتیجه نمونه برداری تصادفی، دو الل برای گل های ارغوانی به دست آید، ژنوتیپ هوموزیگوس تشکیل می شود. هر بار که دو الل برای گل های سفید به دست آید، ژنوتیپ هوموزیگوس دیگری تشکیل می شود. هر بار که در نتیجه نمونه برداری، یک الل برای گل های ارغوانی و یک الل برای گل های سفید به دست آید، ژنوتیپ هتروزیگوس ایجاد می شود.

گرچه محاسبات عددی در کتاب دوازدهم مورد نظر نبوده است ولی ذکر مدل هاردی - واینبرگ برای تسلط بیشتر بر موضوع، مناسب به نظر می رسد. مدل هاردی - واینبرگ، رابطه ساده ای را بین فراوانی های اللی در خزانه گامتی و فراوانی های ژنوتیپی در نسل بعد پیشنهاد می کند. اگر فراوانی الل گل های ارغوانی را با p و فراوانی الل گل های سفید را با q نشان دهیم، و داشته باشیم $p+q=1$ ، آن گاه در نسل بعد، فراوانی گیاهانی که برای الل مسبب گل های ارغوانی هوموزیگوس اند، p^2 خواهد بود. همچنین فراوانی گیاهانی که برای الل مسبب گل های سفید هوموزیگوس اند q^2 خواهد بود. فراوانی گیاهان هتروزیگوس برابر خواهد بود با $2pq$. مدل هاردی - واینبرگ شما را قادر می سازد که از فراوانی های اللی برای محاسبه همه فراوانی های ژنوتیپی استفاده کنید. این، اولین نتیجه مهم مدل هاردی - واینبرگ است.

دومین نتیجه مهم مدل هاردی - واینبرگ این است که فراوانی های اللی با گذشت زمان ثابت اند. براساس فرض های این مدل، فراوانی گل های ارغوانی نسل اندر نسل ثابت می ماند. اگر خزانه ژن پلی مورفیک باشد، پلی مورفیک خواهد ماند. بنابراین گوناگونی ژنتیک ناپدید نمی شود، این نتیجه گیری، چارلز داروین را شگفت زده می کرد، چون او چیزی از قوانین مندل درباره وراثت نمی دانست. داروین فکر می کرد که

آمیختگی صفات در توارث باعث می‌شود گوناگونی ژنتیک در جمعیت از بین برود. این تفکر داروین، مشکل جدی برای تئوری او در باب تکامل به وسیله انتخاب طبیعی ایجاد می‌کرد؛ چون این تئوری به گوناگونی ژنتیک نیاز دارد. مدل هاردی - واینبرگ نشان داد که تحت شرایط ساده، بی دخالت نیروهای تکاملی، گوناگونی ژنتیک تمایل دارد که در جمعیت‌ها باقی بماند.

به خاطر داشته باشید که مدل هاردی - واینبرگ بسیار ایده‌آل شده است. هیچ جمعیتی نیست که همه فرض‌های این مدل را دقیقاً داشته باشد. با وجود این، مدل برای مطالعه و تفکر پیرامون خزانه‌های ژنی، ایزاری سودمند است. غالباً مشاهده می‌شود که فراوانی اللی جمعیت‌ها نسل اندر نسل ثابت است. فراوانی‌های ژنوتیپی غالباً به نسبت‌هایی که این مدل پیش‌بینی می‌کند، بسیار نزدیک‌اند. پیش‌بینی‌های مدل هاردی - واینبرگ با دنیای واقعی سازگاری خوبی رانشان می‌دهند؛ هرچند که فرض‌های آن تماماً واقع‌گرایانه نیستند.

اثر انتخاب طبیعی

یکی از مهم‌ترین عواملی که خزانه‌های ژنی را تغییر می‌دهد، انتخاب طبیعی است. یکی از شناخته‌شده‌ترین مثال‌ها در باب انتخاب طبیعی، عبارت است از مثال شب‌پره‌های فلفلی انگلستان (بیستون بتولاریا). این شب‌پره در شب پرواز می‌کند و در طول روز روی تنه درختان به استراحت می‌پردازد. مطالعه مجموعه‌های جمع‌آوری شده موجود در موزه نشان می‌دهد که در سال ۱۸۵۰، بیشتر شب‌پره‌های فلفلی در نواحی مرکزی انگلستان، بال‌هایی به رنگ روشن داشتند. تعداد شب‌پره‌هایی که بال‌های تیره داشتند کم بود. در آن زمان، خزانه ژنی حاوی تقریباً ۹۵ درصد الل رنگ روشن و ۵ درصد الل رنگ تیره بود. در سال ۱۹۰۰، این وضعیت برعکس شد. تقریباً همه شب‌پره‌ها تیره بودند و شب‌پره‌های روشن به تعداد بسیار اندک یافت می‌شدند. خزانه ژنی این گونه در ۵۰ نسل به‌طور چشمگیری تغییر کرد. فرضیه ژنتیک دانان برای این تغییر شدید این است که انتخاب طبیعی و تغییرات محیطی مسئول بروز چنین رویدادی هستند. قبل از سال ۱۸۵۰، تنه درختان از گل‌سنگ‌هایی به رنگ روشن پوشیده شده بود. پروانه‌هایی که رنگ روشن داشتند روی درختانی به رنگ روشن مخفی می‌شدند. این استتار، آنان را در برابر شکار شدن توسط پرندگان محافظت می‌کرد. بعد از سال ۱۸۵۰، صنعتی شدن باعث آلودگی‌های زیاد در انگلستان شد. آلودگی، گل‌سنگ‌ها را کشت و بدین ترتیب تنه تیره درختان را نمایان ساخت. پروانه‌هایی که رنگ روشن داشتند روی درختانی استراحت می‌کردند که اکنون تیره رنگ بودند. بنابراین به آسانی شکار پرندگان می‌شدند. در محیط جدید، پروانه‌های تیره بهتر استتار می‌شدند. انتخاب طبیعی فراوانی‌ها را در خزانه ژنی تغییر داد و به جمعیت کمک کرد تا خود را با محیط تغییر یافته سازگار کند.

مثال شناخته شده دیگر از انتخاب طبیعی، سلول‌های داسی‌شکل ناشی از پلی‌مورفیسم هموگلوبین انسانی است. هموگلوبین، پروتئینی است که در سلول‌های قرمز خون قرار دارد و اکسیژن را به سراسر بدن حمل می‌کند. بیشتر مردم هموگلوبین طبیعی دارند، اما شکل دیگری هم از هموگلوبین وجود دارد که فقط در یک آمینواسید متفاوت است. این تفاوت آمینواسیدی در نتیجه تغییر در یک نوکلئوتید DNA حاصل آمده است. آنانی که برای این الل متفاوت، که الل سلول داسی‌شکل نامیده می‌شود، هموزیگوت هستند، با مشکلاتی جدی در سلامت خود مواجه‌اند. هموگلوبین این افراد نمی‌تواند وظیفه خود را در حمل اکسیژن به بافت‌ها به نحو احسن انجام دهد. تحت شرایط خاص، سلول‌های قرمز آنان شکل طبیعی خود را از دست می‌دهد؛ به این ترتیب که سلول‌های قرمز آنان به جای آنکه شکل معمول دونات مانند داشته باشند، داسی‌شکل خواهند شد. افراد هموزیگوت با سلول‌های داسی‌شکل، کم‌خون هستند، به این معنی که تعداد سلول‌های قرمز خون آنها کافی نیست. علی‌رغم آثار بد آن، فراوانی الل سلول داسی‌شکل در بعضی از نواحی آفریقا زیاد است و به ۲۰ درصد می‌رسد. چرا باید چنین الل مضر این قدر فراوان باشد؟

ج. ب. س. هال دین که یک ژنتیک‌دان جمعیت است، اولین کسی بود که علتی را برای فراوانی زیاد الل سلول داسی‌شکل در آفریقا پیشنهاد کرد. او دریافت که الل سلول داسی‌شکل در جاهایی بیشترین فراوان را دارد که مردم در آنجا با انگل مولد مالاریا آلوده شده‌اند.

اثر جهش

یکی دیگر از عواملی که می‌تواند فراوانی‌های اللی را تغییر دهد، جهش است. جهش‌ها با آهنگی بسیار آهسته به‌طور خود به خود رخ می‌دهند. معمولاً جهش‌ها از اشتباهات کوچک طی همانندسازی DNA ناشی می‌شوند. بیشتر جهش‌ها بر افراد حامل آنها اثرات بدی به‌جای می‌گذارند یا اینکه هیچ اثری ندارند، اما بعضی از جهش‌های نادر سودمندند. آنهایی که سودمندند به وسیله انتخاب طبیعی برگزیده می‌شوند و فراوانی آنها به تدریج در خزانه ژن افزایش می‌یابد. مثلاً الل‌های جهش‌یافته‌ای که باعث مقاومت نسبت به حشره‌کش‌ها می‌شوند، به سرعت در جمعیت مگس‌ها منتشر می‌شود.

اثر رانش ژنتیک

همه عواملی که بر خزانه ژنی جمعیت‌های بزرگ تأثیر می‌گذارند، بر جمعیت‌های کوچک نیز اثر می‌کنند. علاوه بر آنها، جمعیت‌های کوچک تحت اثر رانش ژنتیک هستند. رانش ژنتیک عبارت است از تغییر تصادفی در فراوانی‌های اللی. رانش ژنتیک در جمعیت‌های کوچک اثر قابل توجهی دارد، اما اثر آن در جمعیت‌های بزرگ، اندک است.

برای درک این موضوع که چرا رانش ژنتیک بر جمعیت‌های کوچک بیشتر اثر می‌کند تا جمعیت‌های بزرگ، آزمایش پرتاب سکه را در نظر بگیرید. اگر سکه را هزار بار پرتاب کنید، منصفانه است اگر انتظار داشته باشیم ۵۰۰ بار رو بیاید و ۵۰۰ بار پشت. در این آزمایش بسیار نامحتمل است که ۳۰۰ بار رو بیاید و ۷۰۰ بار پشت. اگر سکه را فقط ۱۰ بار پرتاب کنید، ممکن است ۵ بار رو بیاید و ۵ بار پشت، اما باز هم منصفانه است اگر انتظار داشته باشیم ۴ بار رو بیاید و ۶ بار پشت، یا حتی ۳ بار رو بیاید و ۷ بار پشت. نتایج آزمایش هزار بار پرتاب سکه به مقادیر مورد انتظار نزدیک‌تر خواهد بود، اما نتایج آزمایش ۱۰ بار پرتاب سکه، ممکن است به علت شانس از نسبت‌های مورد انتظار دور باشد. خزانه ژن ممکن است تحت تأثیر همین نوع اثر شانس قرار گیرد. جمعیتی را در نظر بگیرید که آمیزش تصادفی دارد و در آن هیچ‌گونه انتخاب طبیعی صورت نمی‌گیرد. برای جمعیت‌های بزرگ، خزانه ژن بارها نمونه‌برداری می‌شود تا نسل بعد را تشکیل دهد. در صدها یا هزاران نمونه، این احتمال وجود دارد که فراوانی‌های اللی در نسل فرزندان، به فراوانی‌های اللی در خزانه گامتی بسیار نزدیک باشد. از طرف دیگر، در جمعیت‌های کوچک، خزانه گامتی فقط چندبار نمونه‌برداری می‌شود. از این رو فراوانی‌های اللی در نسل فرزندان ممکن است با فراوانی‌های اللی در خزانه گامتی بسیار متفاوت باشد و علت آن فقط شانس است. در بعضی از جمعیت‌ها، فراوانی‌های اللی از نسلی به نسل دیگر به‌طور تصادفی تغییر می‌کند، اما در جمعیت‌های بزرگ نسل اندر نسل هیچ تغییری در فراوانی‌های اللی مشاهده نمی‌شود یا اگر هم شود اندک است.

در جمعیت‌های کوچک رانش ژنتیک علاوه بر آنکه باعث تغییر تصادفی در فراوانی‌های اللی می‌شود، می‌تواند باعث از بین رفتن تدریجی گوناگونی در خزانه ژنی شود. در طول زمان، رانش ژنتیک، فراوانی هتروزیگوت‌ها را کاهش می‌دهد. افزایش تدریجی هوموزیگوسیت را درون آمیزی می‌نامند.

جمعیت‌هایی که در هر نسل فقط به چند جاندار محدودند سرانجام بسیار درون‌زاد (خالص) می‌شوند. مثلاً کرکس کالیفرنیا یا یوزپلنگ ایرانی، که از تعداد آن کاسته شده است، گونه‌ای در معرض خطر است. از آنجا که فقط تعداد کمی از این جانور وجود دارد، همه آمیزش‌ها به خویشاوندان نزدیک منحصر شده است. این جمعیت به شدت درون‌زاد است. در شدیدترین حالت، اگر جمعیتی در هر نسل فقط دو فرد داشته باشد، ژنوم آن بعد از گذشت ۲۰ نسل به‌طور کامل هوموزیگوس خواهد شد.

جمعیت‌های بزرگ هم ممکن است درون‌زاد شوند، به شرطی که یک گلوگاه جمعیتی موجود باشد. منظور از گلوگاه این است که در چند نسل تعداد جانداران به‌طور چشمگیری کاهش یابد. گاو میش آمریکایی که نام معمولی آن بوفالو است در قرن ۱۹، به علت شکار شدن، از چنین گلوگاهی عبور کرده است. اکنون، بوفالوها محافظت می‌شوند. تعداد آنها افزایش یافته است، اما گلوگاه جمعیتی اثر خود

را بر جمعیت‌های بوفالو بر جای نهاده است و آنان را تا اندازه‌ای درون‌زاد کرده است. درون‌آمیزی ممکن است اثرات بدی بر جمعیت داشته باشد. بیشتر خزانه‌های ژنی ال‌های مغلوبی دارند که تک‌نسخه آنها در حالت هتروزیگوت بی‌ضرر است، اما در حالت هوموزیگوس مضر یا حتی کشنده‌اند. تخمین زده می‌شود که انسان هفت ال‌ل دارد که در حالت هوموزیگوس کشنده‌اند. درون‌آمیزی فراوانی، این‌گونه ال‌های مضر و کشنده را افزایش می‌دهد. به علت افزایش در هوموزیگوس بودن ال‌های مغلوب مضر، جمعیت‌های درون‌زاد با افت درون‌آمیزی مواجه‌اند. به این معنی که زایایی و بقای آنان در مقایسه با جمعیت‌های غیر درون‌زاد، کاهش می‌یابد. بعضی از جمعیت‌های انسانی جدا شده (ایزوله شده) نسبتاً درون‌زادند و فراوانی بیماری‌های ارثی در آنان بالاست. جانورانی که در باغ وحش نگهداری می‌شوند، گونه‌های در معرض خطر، و بعضی از نژادهای ثبت شده جانوران با افت درون‌آمیزی مواجه‌اند چون جمعیت‌های آنان کوچک است. به منظور کاهش درون‌آمیزی، پرورش‌دهندگان غالباً سعی می‌کنند در جمعیت‌های کنترل شده، آمیزش‌ها را بین دو جانور که دورترین خویشاوندی را دارند انجام دهند.

درون‌آمیزی یک جنبه سودمند هم دارد. ژنتیک‌دانان موفق شده‌اند که در موش، مگس میوه و دیگر جانداران معمول آزمایشگاهی با آمیزش برادرها و خواهرها نسل‌اندرو نسل دودمان‌های به شدت هوموزیگوس تولید کنند. در دست داشتن جاندارانی که از نظر ژنتیک یکسان‌اند، امکان تکرار آزمایش را با دقتی زیاد فراهم می‌کند. همچنین آزمایشگاه‌های مختلف را قادر می‌سازد که از مواد آزمایشگاهی یکسانی بهره‌برداری کنند.

فرضیه هال‌دین این بود که در بعضی محیط‌ها ال‌ل سلول داسی شکل یک مزیت به‌شمار می‌آید، چون می‌تواند افراد حامل این ال‌ل را در مقابل مالاریا محافظت کند. پژوهش‌ها این فرضیه را تأیید می‌کنند. افراد هوموزیگوت برای ال‌ل سالم هموگلوبین، کم‌خونی ندارند، اما می‌توانند مالاریا بگیرند. افراد هوموزیگوت برای ال‌ل سلول داسی شکل کم‌خونی دارند، اما نسبت به مالاریا مقاوم‌اند. افراد هتروزیگوت که یک ال‌ل سالم و یک ال‌ل سلول داسی شکل دارند، به مالاریا مقاوم‌اند، اما کمی کم‌خونی دارند. در جایی که مالاریا شایع است، انتخاب طبیعی به نفع هتروزیگوت‌ها عمل می‌کند، و هر دو ال‌ل را در جمعیت حفظ می‌کند.

اثر شارش ژن

انتخاب طبیعی، عامل اصلی ایجاد تغییرات در خزانه ژنی جمعیت‌های بزرگ است، اما عوامل متعدد دیگری هم می‌توانند باعث تغییر شوند. مثلاً گاهی جانوران مسافت‌های طولانی را می‌پیمایند و از جایی

به جای دیگر مهاجرت می کنند. اگر آنان در جای جدید موفق شوند که جفتی بیابند، آن گاه ممکن است فراوانی های الی در خزانه ژنی محلی تغییر یابد. حتی ممکن است آنان الی های جدیدی را به جمعیت جدید خود وارد کنند. گامت های بسیاری از گیاهان و جانوران آبی نیز متحرک اند و می توانند خزانه های ژنی را در فواصل دور تحت تأثیر قرار دهند. برای توصیف آثار مهاجرت بین خزانه های ژنی از اصطلاح شارش ژن استفاده می کنند. اگر شارش ژن در نسل های متمادی ادامه پیدا کند، آن گاه باعث می شود تا خزانه ژنی جمعیت هایی که از نظر جغرافیایی جدا هستند، به یکدیگر شبیه شوند.

جدول ۲- مکانیسم های اصلی ای که بر خزانه ژنی تأثیر می گذارند.

مکانیسم	تأثیر بر خزانه ژنی
انتخاب طبیعی	افزایش موفقیت تولیدمثلی به افزایش فراوانی الی می انجامد. کاهش موفقیت تولیدمثلی، به کاهش فراوانی الی منجر می شود.
رائش ژنتیک	تغییرات تصادفی در جمعیت های کوچک
شارش ژن	تغییر در خزانه ژنی به علت مهاجرت افراد بین جمعیت ها
جهش	تبدیل مستقیم یک ال به ال دیگر

یکی دیگر از عواملی که می تواند فراوانی های الی را تغییر دهد، جهش است. جهش ها با آهنگی بسیار آهسته به طور خود به خود رخ می دهند. معمولاً جهش ها از اشتباهات کوچک طی همانندسازی DNA ناشی می شوند. بیشتر جهش ها بر افراد حامل آنها اثرات بدی به جای می گذارند یا اینکه هیچ اثری ندارند اما بعضی از جهش های نادر سودمندند. آنهایی که سودمندند به وسیله انتخاب طبیعی برگزیده می شوند و فراوانی آنها به تدریج در خزانه ژن افزایش می یابد. مثلاً الی های جهش یافته ای که باعث مقاومت نسبت به حشره کش ها می شوند، به سرعت در جمعیت مگس ها منتشر می شود.

نزدیک ترین خویشاوندان، دوقلوهای همسان هستند. تمام ژنوم هسته ای آنها یکسان است. دوقلوهای همسان از یک تخمک لقاح یافته ناشی شده اند که در مراحل اولیه ی رویانی به دو رویان تقسیم شده است. دوقلوهای ناهمسان به طور متوسط فقط در نیمی از الی ها مشترک هستند و شباهت آنان به یکدیگر، از شباهت خواهرها و برادرهای معمولی بیشتر نیست. دوقلوهای ناهمسان از دو تخمک لقاح یافته که در یک زمان نمایافته اند، حاصل شده اند. ژنتیک دانان با مقایسه این دونوع دوقلو می توانند به پاسخ پرسش هایی درباره اهمیت نسبی ژنتیک و عوامل محیطی درباره صفات کمی گوناگون در انسان دست یابند. اگر در تعیین یک فنوتیپ ژن ها مهم تر باشند، آن گاه به طور متوسط دوقلوهای همسان در مقایسه با دوقلوهای ناهمسان شباهت بیشتری به یکدیگر خواهند داشت. اگر محیط مهم تر باشد، آن گاه به طور متوسط دوقلوهای همسان به اندازه

دوقلوهای ناهمسان به یکدیگر شبیه خواهند بود. مطالعات انجام شده روی دوقلوها نشان داده است که برای بسیاری از صفات آناتومیکی عوامل ژنتیک از اهمیت بیشتری برخوردارند. برای بسیاری از صفات رفتاری اهمیت عوامل محیطی بیشتر است.

بعضی از دانشمندان بر این تصورند که گوناگونی در هوش انسان عمدتاً به عوامل ژنتیک بستگی دارد. این گونه ادعاها، جای بحث دارند. در بعضی از مطالعاتی که به ارائه چنین ادعاهایی منجر شده‌اند، آن قدر تعداد افراد مطالعه شده اندک بوده که برای به دست آمدن نتیجه‌ای دقیق کافی نبوده است. بعضی دیگر، فقط دوقلوهایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند که به فرزندخواندگی پذیرفته شده‌اند و در خانه‌هایی متفاوت رشد کرده‌اند. از نظر اصولی، این امکان وجود دارد که با مطالعه دوقلوهای همسانی که در محیط‌های مختلف بزرگ شده‌اند بتوان اهمیت عوامل ژنتیک را تخمین زد، اما در عمل در این گونه مطالعات، مشکلات زیادی به چشم می‌خورد. حتی اگر دوقلوها به فرزندخواندگی پذیرفته شوند، باز هم والدین و محیط‌های اوایل کودکی برای آنان مشترک بوده است. مثلاً، اگر مادر در حین بارداری سیگار بکشد یا الکل بنوشد، هر دو جنین تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. همچنین خانه‌های دوقلوهایی که به طور جداگانه به فرزندخواندگی پذیرفته شده‌اند، گاهی چندان متفاوت نیست. بعضی از دوقلوهایی که جدا از یکدیگر بزرگ شده‌اند و پژوهش روی آنان صورت گرفته است، در همسایگی هم زندگی می‌کردند و به یک مدرسه می‌رفتند، در نتیجه عوامل محیطی مشترک باعث می‌شوند تا دوقلوها صرف نظر از آثار ژنتیک بیشتر به یکدیگر شبیه باشند.

دولت دانمارک، از شهروندان این کشور اطلاعات مشروحی را مانند تاریخ‌های تولد، مرگ، ازدواج و دوقلو زایی ثبت می‌کند. پژوهشگران از این اطلاعات برای مطالعه درجه دخالت عوامل ژنتیک در تعیین میزان طول عمر و دیگر صفات استفاده می‌کنند. مطالعه داده‌های ثبت شده از چند هزار دوقلوی وفات یافته نشان می‌دهد که دوقلوهای همسان از نظر طول عمر کمی بیشتر به هم شبیه‌اند تا دوقلوهای ناهمسان. موارد مرگ و میر نوزادی و کودکی از این آنالیز مستثنا شده بودند. نتایج حاکی از آن‌اند که حدود ۲۰ درصد گوناگونی در طول عمر، ناشی از عوامل ژنتیک‌اند. ۸۰ درصد بقیه، از عوامل محیطی ناشی می‌شوند.