



## ژنتیک جمعیت

چون داروین از منشأ گوناگونی افراد جمعیت‌ها و نیز از چگونگی انتقال صفات بین نسل‌ها اطلاع چندانی نداشت، نمی‌توانست ساز و کار انتخاب طبیعی را توضیح دهد، بنابراین نظریه لامارک، یعنی «وراثتی بودن صفات اکتسابی» را پذیرفته بود. امروزه زیست‌شناسان با استفاده از پژوهش‌های حاصل از ژنتیک جمعیت به بررسی تغییر و تحول گونه‌ها می‌پردازند.

### پیش‌نیازها

- پیش از مطالعه این فصل باید بتوانید :
- انتخاب طبیعی را شرح دهید،
- اصول ژنتیک مندلی را بیان کنید،
- جهش را توضیح دهید.

## ۱ تعادل در جمعیت‌ها

معمولاً در هر جمعیت فاصله بین افراد به اندازه‌ای است که افراد می‌توانند با یکدیگر آمیزش کنند. بنابراین در صورتی که بین افراد مانعی ایجاد شود به طوری که این مانع از آمیزش آنها جلوگیری کند، عملاً آن جمعیت به دو جمعیت تجزیه می‌شود. مثلاً اگر کرم‌های خاکی باغچه منزل شما عملاً نتوانند با کرم‌های خاکی باغچه‌های همسایه‌های شما آمیزش کنند، هر کدام جمعیتی جداگانه تشکیل خواهند داد. در مقابل گنجشک‌های شهر شما جمعیت بزرگی از گنجشک‌ها را تشکیل می‌دهند.

ژنتیک جمعیت به بررسی ژن‌های جمعیت‌ها می‌پردازد. در ژنتیک جمعیت به مجموع ژن‌های موجود در سلول‌های زایشی هر جمعیت خزانه ژنی می‌گویند. به عبارت دیگر، چون هر ژن ممکن است الل‌های متفاوتی داشته باشد، خزانه ژنی شامل مجموع الل‌های مربوط به ژن‌های همه سلول‌های زایشی (سلول‌های تولیدکننده گامت) افراد یک جمعیت است.

برای توصیف خزانه ژنی به دست آوردن تعداد واقعی هر الل کاری غیرممکن است، بنابراین سعی می‌کنیم در ژنتیک جمعیت، فراوانی نسبی الل‌های هر جمعیت را به جای تعداد واقعی، مورد بررسی قرار دهیم.

در سال ۱۹۰۰، یعنی از هنگامی که اصول مندل بار دیگر مورد بررسی و تأیید قرار گرفت، زیست‌شناسان بررسی چگونگی تغییر فراوانی الل‌ها را در جمعیت‌ها آغاز کردند. آنان در ابتدا تصور می‌کردند الل‌های غالب که معمولاً نسبت به الل‌های مغلوب فراوانی بیشتر دارند، پس از مدتی الل‌های مغلوب را از جمعیت حذف خواهند کرد و خود جای آنها را خواهند گرفت.

در سال ۱۹۰۸ هاردی<sup>۱</sup>، ریاضی‌دان انگلیسی و واینبرگ<sup>۲</sup> پزشک آلمانی که مستقل از یکدیگر در حال کاربرد قوانین جبر و احتمال برای محاسبه فراوانی ژنوتیپ‌ها بودند، پی بردند که در جمعیت‌های بزرگ که در آنها آمیزش‌ها به صورت تصادفی صورت می‌گیرد، نسبت الل‌های غالب به مغلوب و نیز نسبت فراوانی افراد خالص به ناخالص در نسل‌های پی‌درپی ثابت است و تغییر نمی‌کند، مگر آن که

۱- G.H. Hardy

۲- Weinberg

جمعیت تحت فشار نیرو یا نیروهای تغییردهنده قرار گیرد که به نفع یا به زیان ماندگاری یک یا چند الل خاص عمل می کنند. به این امر اصل هاردی- واینبرگ می گویند. مثلاً اگر الل غالب یک ژن مرگ آور باشد، فراوانی این الل به علت غالب بودن افزایش نمی یابد، بلکه برعکس به علت مرگ آور بودن رو به کاهش می گذارد؛ چون افراد غالب بیشتر در معرض مرگ قبل از تولیدمثل قرار دارند. به مثال زیر در مورد ثابت ماندن الل های جمعیت طبق اصل هاردی- واینبرگ، توجه کنید :

مرحله اول : در یک جمعیت ۱۰۰ تایی مگس سرکه، در آزمایشگاه، دو نوع مگس سرکه وجود دارد : نوع عادی که بدن خاکستری دارد و نوع جهش یافته که بدن آن سیاه رنگ است. الل رنگ سیاه بدن (g) مغلوب است. فراوانی ژنوتیپ های این جمعیت چنین است :

$$GG + Gg + gg$$

$$\text{فرد } 100 = 4 + 32 + 64 : \text{تعداد}$$

چون مگس سرکه جاندار دیپلوئید است، پس هر فرد دو الل مربوط به رنگ بدن دارد. بنابراین تعداد الل های این جمعیت ۱۰۰ نفری که مربوط به رنگ پوست هستند، ۲۰۰ است :

$$\left. \begin{aligned} G &= 128 + 32 + 0 = 160 \\ g &= 0 + 32 + 8 = 40 \end{aligned} \right\} \text{الل } 200$$

فراوانی نسبی هر یک از الل های G و g در این جمعیت به صورت زیر محاسبه می شود :

$$G = \left(\frac{160}{200}\right) \times 100 = 80\%$$

$$g = \left(\frac{40}{200}\right) \times 100 = 20\%$$

چون معمولاً فراوانی نسبی الل ها را با اعداد اعشاری نشان می دهند می توان نسبت های فوق را به این صورت نشان داد : فراوانی نسبی G و g در این جمعیت به ترتیب ۰/۸ و ۰/۲ است.

مرحله دوم : فراوانی گامت هایی که توسط این جمعیت تولید می شود، به صورت زیر است :

$$0/8G + 0/2g \text{ اسپرم}$$

$$0/8G + 0/2g \text{ تخمک}$$

اگر برای محاسبه نتایج آمیزش بین گامت های افراد این جمعیت از مربع پانت استفاده کنیم، حاصل

چنین است :

اسپرم	G	g	
تخمک	GG $\circ/8 \times \circ/8 = \circ/64$	Gg $\circ/8 \times \circ/2 = \circ/16$	$GG = \circ/64 \begin{cases} \circ/32G \\ \circ/32G \end{cases}$
G			
g	Gg $\circ/8 \times \circ/2 = \circ/16$	gg $\circ/2 \times \circ/2 = \circ/4$	$Gg = \circ/16 + \circ/16 = \circ/32 \begin{cases} \circ/16G \\ \circ/16g \end{cases}$
			$gg = \circ/4 \begin{cases} \circ/2g \\ \circ/2g \end{cases}$
			$\circ/8G + \circ/2g$

بنابراین فراوانی الل‌های G و g در جمعیت نسل اول مساوی با فراوانی این الل‌ها در جمعیت مادر است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مطابق اصل هاردی-واینبرگ چون این جمعیت تحت هیچ نیروی انتخاب‌کننده و متحول‌سازنده‌ای قرار نداشته، فراوانی الل‌ها در دو نسل تغییری نکرده است. فرمول هاردی-واینبرگ: اگر در مثال فوق فراوانی الل غالب G را p و فراوانی الل مغلوب g را q بنامیم، با توجه به این فراوانی کل این الل‌ها ۱ است، پس  $p+q=1$ ؛ یعنی آمیزش بین گامت‌ها به این صورت درمی‌آید:

اسپرم تخمک	G p	g q	
G p	G G p p	G g p q	$p^2 = GG$ فراوانی افراد خالص غالب نسل بعد
g q	G g p q	g g q q	$2pq = Gg$ فراوانی افراد ناخالص $q^2 = gg$ فراوانی افراد خالص مغلوب

فرمول هاردی-واینبرگ را می‌توان به این صورت توضیح داد: اگر فراوانی الل غالبی را در جمعیتی p و فراوانی الل مغلوب آن را q نام‌گذاری کنیم، هر یک از افراد آن جمعیت ممکن است GG،  $(p \times p = P^2)$ ،  $(p \times q)Gg$  یا  $(q \times q)gg$  باشند. بنابراین می‌توان این رابطه را برای جمعیت نوشت:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

## چگونه مسایل مربوط به تعادل هاردی - واینبرگ را حل کنیم.

در بسیاری از جمعیت‌ها دو الل هر ژن با توجه به نسبت الل مغلوب خالص ( $q^2$ ) محاسبه می‌شود؛ چون ژنوتیپ این نوع فنوتیپ را می‌توان با اطمینان تشخیص داد، اگر فقط بدانیم کدام فنوتیپ غالب است، می‌توانیم  $q^2$  را به دست آوریم (یک منهای فراوانی فنوتیپ غالب). برای حل مسایل مربوط به اصل هاردی - واینبرگ مراحل زیر توصیه می‌شود:

● به یاد داشته باشید که در همه محاسبات باید نسبت را در نظر گرفت، نه درصد را.

۱- نخست توجه کنید چه اطلاعاتی راجع به جمعیت مورد نظر در اختیار شما قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد، درصد فراوانی فنوتیپ مغلوب خالص  $q^2$  یا غالب  $p^2 + 2pq$  در اختیار ما قرار می‌گیرد.

۲- سپس مقدار  $p$  یا  $q$  را به دست آورید. در این صورت با استفاده از معادله مربوطه و محاسبه‌ای ساده، سایر مقادیر را به دست آورید.

۳- از  $q^2$  جذر بگیرید تا  $q$  به دست آید.

۴- مقدار  $q$  را از عدد ۱ کم کنید تا  $p$  به دست آید (یعنی  $p = 1 - q$ ).

۵-  $p^2$  را با ضرب کردن آن در خودش به دست آورید.

۶-  $2pq$  را به دست آورید.

۷- کنترل کنید  $p^2 + 2pq + q^2$  که مساوی با یک باشد.

مثال ۱: در یکی از جمعیت‌های انسانی ۷۰٪ از افراد می‌توانند مزه ماده شیمیایی فنیل تیوکاربامید (PTC) را تشخیص دهند (فنوتیپ غالب). فراوانی هر یک از موارد زیر را به دست آورید:

الف) فنوتیپ مغلوب خالص ( $q^2$ )

ب) الل مغلوب ( $q$ )

پ) افراد خالص غالب ( $p^2$ )

ت) افراد ناخالص

پاسخ: فراوانی فنوتیپ غالب (۷۰٪) و مغلوب (۳۰٪ = ۱ - ۷۰٪) در صورت مسأله داده شده

است.

فنوتیپ مغلوب: ۳۰٪ = (در محاسبات بنویسید ۰/۳۰)

بنابراین  $q = 0/5477$  (جذر ۳۰٪)

چون  $q - 1 = p$ ، پس  $q = 1 - 0/5477 = 0/4523$

$$p^2 = (0/4523)^2 = 0/2047$$

$$2pq = -0/4953$$

مثال ۲: ژن A دو الل دارد (A و a). اگر فراوانی افراد AA برابر  $0/36$  باشد، براساس اصل هاردی - واینبرگ نسبت‌های مورد انتظار از سه نوع ژنوتیپ حاصل از این الل‌ها در جمعیت چقدر است؟

پاسخ:  $p^2 = 0/36$ ، پس  $p = 0/6$

چون  $q = 1 - p = 1 - 0/6 = 0/4$  پس  $q = 0/4$

فراوانی افراد ناخالص (Aa):  $2pq = 2(0/6)(0/4) = 0/48$  و فراوانی افراد مغلوب (aa):

$$q^2 = 0/4^2 = 0/16$$

عوامل مؤثر در برقرار ماندن تعادل هاردی - واینبرگ

برای برقرار ماندن تعادل هاردی - واینبرگ در جمعیتی، باید در آن جمعیت:

۱- جهش ژنی رخ ندهد، یا این که تعداد جهش‌های رفت که الل A را به  $a (A \leftarrow a)$  تبدیل می‌کند، با تعداد جهش‌های برگشت  $(a \leftarrow A)$  برابر باشند.

۲- مهاجرت صورت نگیرد.

۳- جفت‌گیری‌ها به ژنوتیپ و فنوتیپ افراد وابسته نباشند.

۴- جمعیت به قدری بزرگ باشد که بر اثر نوسانات تصادفی، فراوانی الل‌ها تغییر نکند.

۵- انتخاب طبیعی رخ ندهد؛ یعنی، احتمال بقا و تولید مثل برای همه افراد آن یکسان باشد.

چون در جمعیت‌های طبیعی، هیچ‌گاه همه این شرایط فراهم نیست؛ بنابراین، معمولاً خزانه ژنی، به عبارت دیگر فراوانی الل‌های جمعیت از نسلی به نسل دیگر تغییر می‌کند. انباشته شدن این تغییرات کوچک در گذر زمان ممکن است سبب تغییر چشمگیر خزانه ژنی شود و سیمای گونه را تغییر دهد.

فکر می‌کنید در جمعیت کلاس شما چند نفر ناقل بیماری تالاسمی هستند؟

۱- به یاد بیاورید که ژن مربوط به بیماری تالاسمی یک ژن مغلوب اتوزومی است. افراد مبتلا به تالاسمی مینور که از نظر این ژن ناخالص (Cc) هستند، در واقع ناقل این بیماری محسوب می‌شوند. فراوانی افراد خالص که مبتلا به تالاسمی ماژور هستند، در جمعیت کشورمان حدود

۲۰,۰۰۰ نفر است. اگر جمعیت کشورمان را ۶۰ میلیون نفر در نظر بگیریم،  $q$ ، یعنی فراوانی افراد خالص، برابر  $0.000333$  و  $q$  برابر  $\sqrt{0.000333}$  یا  $0.0182$  به دست می‌آید.

۲- اگر بخواهیم فراوانی الل غالب  $C$ ، یعنی  $p$  را در جمعیت کشورمان محاسبه کنیم، به صورت زیر عمل می‌کنیم: چون  $p+q=1$  است، پس  $p=1-q$ ، بنابراین  $p=0.9818$  یا  $p=0.9818$ .

۳- برای تعیین فراوانی افراد ناخالص ناقل محاسبات زیر را انجام می‌دهیم:

$$2pq = 2 \times 0.9818 \times 0.0182 = 0.0357375$$

به عبارت دیگر به طور متوسط در هر ۱۰۰۰ نفر از جمعیت کشورمان ۳۶ نفر ناقل وجود دارد.

## عوامل تغییر دهنده ساختار ژنی جمعیت‌ها

هرگاه در جمعیتی شرایط لازم برای تعادل هاردی-واینبرگ برقرار باشد، آن جمعیت در حال دگرگونی و تغییر نیست. پس، عواملی را که سبب به هم خوردن تعادل می‌شوند، می‌توان نیروهای تغییر دهنده گونه‌ها نامید. این عوامل عبارت‌اند از:

۱- جهش: همانندسازی ماده ژنتیک هیچ‌گاه کاملاً بدون نقص نیست. عوامل جهش‌زای بسیاری نیز در محیط وجود دارد که سبب تغییر در ماده ژنتیک می‌شوند. بنابراین جهش همواره رخ می‌دهد و هیچ روشی برای متوقف کردن آن شناخته نشده است. تعادل جهش یعنی شرایطی که در آن تعداد جهش‌های  $A \leftarrow a$  با تعداد جهش‌های  $A \leftarrow a$  برابر باشد، نیز بسیار به ندرت پیش می‌آید. بنابراین جهش‌های دایمی همواره، اما به آهستگی، فراوانی الل‌ها را تغییر می‌دهند. مثلاً، اگر فراوانی جهش‌های  $A \leftarrow a$  بیشتر از جهش‌های  $A \leftarrow a$  باشد، فراوانی الل  $a$  به تدریج در جمعیت افزایش می‌یابد.

با آن‌که جهش همیشه اتفاق می‌افتد، اما معمولاً آن را به عنوان عامل اصلی تغییر فراوانی الل‌ها در جمعیت در نظر نمی‌گیرند چون آهنگ جهش برای بیشتر ژن‌ها بسیار اندک است. اگر جهش به تنهایی عمل کند و سایر نیروهای تغییر دهنده فعال نباشند، مدتی بسیار طولانی لازم است تا تغییر قابل توجهی در فراوانی الل‌ها رخ دهد. مهم‌ترین نقش جهش، ایجاد تنوع در جمعیت است (شکل ۱-۵). جهش، اگر چه ماده خام تغییر گونه‌هاست، ولی جهت آن را تعیین نمی‌کند.

۲- شارش ژن: هنگامی که افرادی از یک جمعیت به جمعیتی دیگر مهاجرت می‌کنند، در واقع تعدادی از الل‌های جمعیت مبدأ را با خود به جمعیت مقصد وارد می‌کنند. به این پدیده، شارش ژن<sup>۱</sup> می‌گویند. شارش ژن می‌تواند باعث افزایش تنوع درون جمعیت پذیرنده (مقصد) شود. از سوی دیگر

<sup>۱</sup> - gene flow



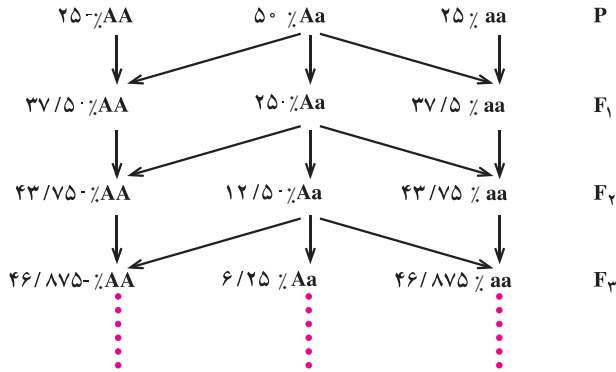
شکل ۱-۵- گوناگونی در جمعیت گیاه لاله عباسی

اگر روند مهاجرت در دو جهت ادامه یابد، با گذشت زمان خزانه ژنی دو جمعیت شبیه به هم می شود. به این ترتیب، می توان گفت که شارش ژن در جهت کاهش تفاوت بین جمعیت ها عمل می کند.

**۳- آمیزش غیر تصادفی:** منظور از آمیزش تصادفی این است که احتمال آمیزش هر فرد با هریک از افراد جنس دیگر در جمعیت برابر باشد و ارتباطی با ژنوتیپ یا فنوتیپ او نداشته باشد. در جمعیت های طبیعی، عموماً وضع بدین گونه نیست. حالت های مختلفی از آمیزش های غیر تصادفی در طبیعت دیده می شود. در این نوع آمیزش ها فراوانی الل ها تغییر نمی کند.

**درون آمیزی:** گاه آمیزش میان خویشاوندان نزدیک محتمل تر از آمیزش با سایر افراد است. به این حالت درون آمیزی می گویند. به عنوان مثال، اگر دانه های یک گیاه به خوبی در محیط پراکنده نشوند، زاده های آن گیاه در فواصل نزدیک به هم می رویند و احتمال گرده افشانی بین آنها بیشتر می شود. اگرچه درون آمیزی فراوانی نسبی الل ها را تغییر نمی دهد؛ ولی سبب افزایش فراوانی افراد خالص و کاهش افراد ناخالص می شود. شدیدترین حالت درون آمیزی خودلقاحی است که در آن گامت های نر هر فرد، گامت های ماده خود او را بارور می کنند. اگر افراد جمعیتی که در آن سه نوع ژنوتیپ AA، Aa و aa وجود داشته باشد، شروع به خودلقاحی کنند، در هر نسل فراوانی افراد ناخالص در آن جمعیت نصف می شود؛ زیرا از هر آمیزش  $Aa \times Aa$ ، فقط نیمی از زاده ها Aa هستند و نیم دیگر aa یا AA می شوند. در عوض،





ژنوتیپ همه زاده‌های حاصل از خودلقاحی هر فرد خالص، عیناً مانند خود او خواهد بود.

*آمیزش همسان پسندانه*<sup>۱</sup>: به حالتی گفته می‌شود که احتمال آمیزش بین افرادی که فنوتیپ یکسان دارند، بیشتر است. به عنوان مثال، ممکن است انسان‌های قدبلند تمایل بیشتری به ازدواج با هم داشته باشند. آمیزش همسان پسندانه در این مثال جمعیت را به دو زیرگروه فنوتیپی مثلاً گروه بلند قد و گروه کوتاه قد تقسیم می‌کند که تبادل ژن بین آنها کمتر صورت می‌گیرد. در این حالت، ژن‌هایی که صفت مورد نظر (در این مثال قد انسان) را کنترل می‌کنند، عموماً در هر گروه به صورت خالص درمی‌آیند و فراوانی افرادی که برای این ژن‌ها ناخالص هستند، کاهش می‌یابد.

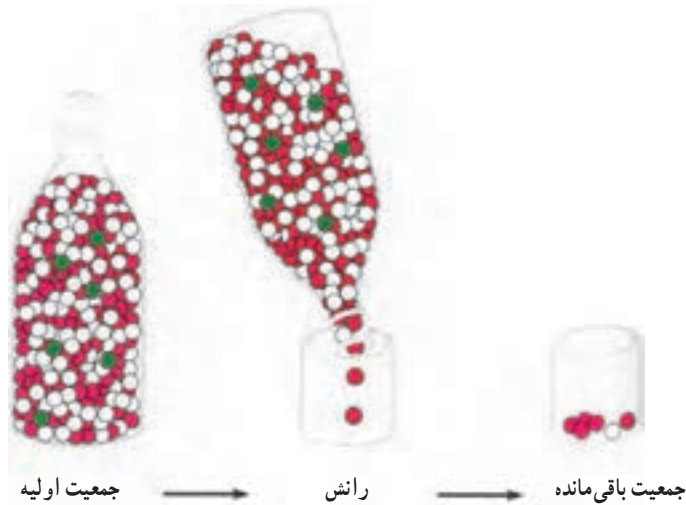
آمیزش همسان پسندانه، محدود به جانوران نیست. بسیاری از گروه‌های گیاهی بالقوه می‌توانند با هم آمیزش کنند، اما در طبیعت این کار را انجام نمی‌دهند؛ چون زمان گلدهی آنها با هم متفاوت است.

*آمیزش ناهمسان پسندانه*: گاه مشاهده می‌شود که افراد همانند با هم آمیزش نمی‌کنند. این نوع آمیزش غیرتصادفی آمیزش ناهمسان پسندانه نام دارد و منجر به افزایش فراوانی افراد ناخالص می‌شود. نمونه‌ای از آمیزش‌های ناهمسان پسندانه که در گیاه شبدر یافت می‌شود، توسط یک ژن چند اللی، به نام ژن خودناسازگاری تنظیم می‌شود. هنگامی که دانه گرده‌ای روی کلاله مادگی این گل می‌نشیند، الل‌های این ژن تعیین می‌کنند که لوله گرده تشکیل خواهد شد یا نه. می‌دانید که سلول‌های کلاله مادگی دیپلوئید و دانه‌های گرده هاپلوئید هستند. اگر اللی که دانه گرده دارد، شبیه یکی از دو اللی باشد که در سلول‌های کلاله وجود دارد، لوله گرده نمی‌تواند در آن مادگی رشد کند. دانه‌های گرده‌ای که اللی متفاوت نسبت به دو الل موجود در گیاه پذیرنده گرده را در خود دارند، می‌توانند لوله گرده تشکیل و لقاح انجام دهند.

۴- رانش ژن: گاه فراوانی الل‌ها در خزانه ژنی جمعیت‌های کوچک به علت رخدادهایی تغییر

<sup>۱</sup> assortative mating

می‌کند و حتی ممکن است بعضی از الل‌ها حذف شوند. به این پدیده رانش ژن<sup>۱</sup> می‌گویند. فراوانی الل‌ها در همه جمعیت‌های واقعی تغییر می‌کند، اما این تغییرات در جمعیت‌های کوچک شدیدتر است. در واقع در جمعیت‌های کوچک احتمال بیشتری وجود دارد که برخی از افراد دارای ژنوتیپ‌های کمیاب مثلاً به این دلیل که پیش از رسیدن به سن تولید مثل می‌میرند، اصلاً در آمیزش شرکت نکنند. رانش ژن در جمعیت‌های مختلف نتایج یکسانی به بار نمی‌آورد (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- الگوی از رانش ژن. به علت کاهش ناگهانی اندازه جمعیت یکی از الل‌ها (سبز) حذف شده و فراوانی نسبی دو الل دیگر (سفید و قرمز) نسبت به جمعیت مادر تفاوت بسیار پیدا کرده است.

گاهی تعداد زیادی از افراد یک جمعیت به علت حوادثی نظیر سیل، زلزله، آتش‌سوزی، افزایش ناگهانی جمعیت شکارچی و غیره، می‌میرند. در این صورت ممکن است فراوانی الل‌ها در گروه کوچکی که از بحران جان سالم به‌در برده‌اند، نسبت به جمعیت اولیه بسیار متفاوت باشد. این افراد باقی‌مانده با هم تولید مثل می‌کنند و جمعیت جدیدی به وجود می‌آورند. فراوانی الل‌ها در جمعیت جدید، مشابه فراوانی آنها در گروه کوچکی است که از جمعیت اصلی باقی‌مانده بود. مشابه همین اتفاق، زمانی رخ می‌دهد که تعداد کمی از افراد جمعیت به محیطی جدید، مثلاً یک جزیره، مهاجرت می‌کنند و در آن‌جا جمعیت تازه‌ای را بنیان می‌نهند. به چنین وضعیتی اثر بنیان‌گذار گفته می‌شود.

رائش ژن معمولاً به کاهش تنوع درون جمعیت می‌انجامد. شباهت زیادی که در جمعیت‌های چیتاهای افریقای جنوبی<sup>۱</sup> وجود دارد، به خاطر رائش ژن است (شکل ۳-۵). علت و زمان دقیق کاهش ناگهانی جمعیت این جانوران مشخص نیست. شاید قبلاً مردم برای حفاظت از گله‌های خود تعداد زیادی از آنها را کشته باشند؛ همچنین، ممکن است که یک انقراض بزرگ در سال‌ها پیش سبب اصلی این کاهش بوده باشد. به علت کوچکی جمعیت باقی‌مانده این جانوران و از بین رفتن قسمت عمده‌ای از الل‌های موجود در خزانه ژنی جمعیت بزرگ اولیه، چیتاهای امروزی بسیار شبیه هم هستند. این شباهت تا حدی است که پیوند پوست بین هر دو عضوی از جمعیت چیتاها امکان‌پذیر است!



شکل ۳-۵- چیتاهای افریقای. هزاران سال پیش جمعیت این جانور، بحرانی ناشناخته را پشت سر گذاشت که موجب کاهش ۹۰ درصد از جمعیت آن شد.

**۵- انتخاب طبیعی:** پنجمین شرط برقراری تعادل هاردی-واینبرگ این است که احتمال بقا و تولید مثل برای همه افراد برابر باشد. هنگامی که صحبت از بقا یا موفقیت تولید مثل است ویژگی‌های بسیار گوناگونی مطرح می‌شوند. انتخاب جفت، تعداد دفعات جفت‌گیری، تولید گامت‌های سالم، تعداد سلول‌های زیگوت که پس از هر بار جفت‌گیری تشکیل می‌شوند، درصدی از سلول‌های زیگوت که دوره نمو جنینی را با موفقیت می‌گذرانند و منجر به تولد نوزاد می‌شوند، احتمال زنده ماندن زاده‌ها تا زمانی

<sup>۱</sup>- *Acinonyx jubatus jubatus*

که به سن تولید مثل می‌رسند و حتی احتمال زنده ماندن والدین پس از تولید مثل، به ویژه در گونه‌هایی که والدین از فرزندان خود مراقبت می‌کنند؛ از جمله عواملی هستند که تعیین می‌کنند هر فرد چه مقدار در نسل بعد سهم دارد. می‌توان با قاطعیت گفت که این ویژگی‌ها مستقل از ژنوتیپ نیستند.

نظام طبیعت همواره انواع سازگارتر نسبت به محیط را انتخاب می‌کند. در این انتخاب مجموعه عواملی که ذکر کردیم، مؤثرند. برای این که بتوانیم یک توصیف کمی درباره اثر انتخاب طبیعی داشته باشیم، کمیتی را به نام شایستگی تکاملی تعریف می‌کنیم. شایستگی هر فرد نشان می‌دهد که سهم نسبی او در تشکیل خزانه ژنی نسل بعد چقدر است. معمولاً شایستگی را برای بهترین و موفق‌ترین گروه ۱ در نظر می‌گیرند و شایستگی نسبی سایر گروه‌ها را به صورت کسری از ۱ بیان می‌کنند.

برای این که اثر انتخاب طبیعی را در بالابردن فراوانی الل‌های مطلوب (از نظر محیط زیست)، درک کنیم، جمعیتی از مگس‌های سرکه جوان را در نظر می‌گیریم و صفت طول بال را در آن بررسی می‌کنیم. فرض کنید که ترکیب این جمعیت به صورت زیر است (فراوانی):

$$100LL + 200LI + 100II$$

$$\Rightarrow f(LL) = 0/25, \quad f(LI) = 0/5, \quad f(II) = 0/25$$

فراوانی دو الل L و I در این جمعیت یکسان و برابر ۰/۵ است.

احتمالاً مگس‌های بال کوتاه در پرواز دچار مشکل می‌شوند و نمی‌توانند به آسانی از چنگ شکارچیان بگریزند. فرض کنید که به خاطر این مشکل، نصف مگس‌های بال کوتاه تا پیش از آن که به سن تولید مثل برسند، می‌میرند. در این صورت، جمعیتی که خزانه ژنی نسل بعد را تشکیل می‌دهد، چنین ترکیبی خواهد داشت:

$$100LL + 200LI + 50II$$

فراوانی دو الل در گامت‌هایی که توسط این افراد تولید می‌شوند، به آسانی قابل محاسبه است:

$$f(L) = \frac{2 \times 100 + 1 \times 200}{2 \times 350} = 0/57$$

$$f(I) = 1 - f(L) = 0/43$$

اگر آمیزش‌های انجام شده بین اعضای جمعیت بالا تصادفی باشد، می‌توانیم فراوانی هریک از ژنوتیپ‌ها را در نسل بعد به کمک جدول پانت به دست بیاوریم:

۰/۴۳۱ اسپرم‌ها ۰/۵۷L

تخمک‌ها	۰/۵۷L	۰/۳۲۵ LL	۰/۲۴۵ Ll	⇒	$f(LL) = 0/325$
	۰/۴۳۱	۰/۲۴۵ Ll	۰/۱۸۵ ll		$f(Ll) = 0/49$ $f(ll) = 0/185$

اگر جمعیت مگس‌ها در نسل بعد هم ۴۰۰ عضوی باشد، تعداد افرادی که هر یک از ژنوتیپ‌ها را دارند به صورت زیر خواهد بود :

$$130LL + 196Ll + 74ll$$

باز هم نیمی از افراد ll به سن تولید مثل نمی‌رسند و به این ترتیب، فراوانی الل I در نسل‌های پیاپی کاهش می‌یابد.

در این مثال شایستگی تکاملی را برای ژنوتیپ‌ها LL و Ll، ۱ و برای ژنوتیپ ll، ۰/۵ در نظر گرفتیم. کاهش شایستگی افراد ll به خاطر کمتر بودن احتمال بقای آنهاست. در واقع احتمال این که هر فرد ll بتواند نقش خود را در تشکیل خزانه ژنی نسل بعد ایفا کند، پنجاه درصد است. گاهی اوقات کاهش شایستگی به این علت است که افرادی با ژنوتیپ خاص، گامت‌های کمتری تولید می‌کنند و یا بعضی از گامت‌های آنها غیر طبیعی هستند و توانایی شرکت در لقاح را ندارند. در مواردی نیز، نرهایی که فنوتیپ خاصی دارند، در جلب نظر ماده‌ها ناکام می‌مانند و موفق به جفت‌گیری نمی‌شوند. مثلاً، چلچله‌های ماده در هنگام جفت‌گیری نرهای دم بلند را ترجیح می‌دهند. شانس نرهای دم کوتاه برای یافتن جفت کمتر است.

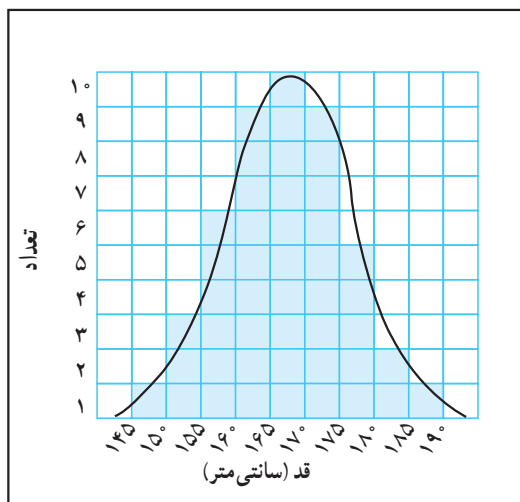
نکته مهمی که باید همواره به آن توجه داشت این است که انتخاب طبیعی بر فنوتیپ مؤثر است. در جمعیت مگس‌های سرکه افراد ناخالص هم الل خوب (L) و هم الل بد (l) را دارند؛ ولی، چون فنوتیپ مطلوب (بال بلند) را دارند، انتخاب طبیعی تفاوتی بین آنها و افراد LL قائل نمی‌شود. الل‌های نامطلوب اگر مغلوب باشند، می‌توانند خود را در قالب افراد ناخالص پنهان کنند و از اثر انتخاب طبیعی در امان بمانند انتخاب طبیعی تنها زمانی می‌تواند بر این الل‌ها اثر بگذارد که در یک فرد به صورت خالص درآیند و فنوتیپ نامطلوب را ظاهر کنند. الل‌های نامطلوب مغلوب آهسته‌تر از الل‌های نامطلوب غالب از جمعیت حذف می‌شوند.



- ۱- اصطلاحات زیر را تعریف کنید :
- الف) خزانه ژنی ب) شایستگی تکاملی
- ۲- اصل هاردی - واینبرگ را توضیح دهید .
- ۳- پنج عامل بر هم زنده تعادل هاردی - واینبرگ را نام ببرید .
- ۴- چرا با آن که جهش معمولاً همیشه در جمعیت‌ها رخ می‌دهد، آن را به‌عنوان عامل اصلی تغییردهنده جمعیت در نظر نمی‌گیرید؟
- ۵- تأثیر انتخاب همسر را در جمعیت‌های انسانی، بر تعادل هاردی - واینبرگ مورد بحث قرار دهید .
- ۶- چرا می‌گویند رانش ژن در جمعیت‌های کوچک اثر بیشتری دارد؟
- ۷- در مورد این عبارت توضیح دهید : شارش ژن سبب افزایش تنوع درون جمعیت‌ها و کاهش تفاوت‌ها بین جمعیت‌ها می‌شود .

## ۲ چگونه بر اثر انتخاب طبیعی جمعیت‌ها دگرگون می‌شوند؟

در نمونه‌هایی که تاکنون بررسی کردیم، هر صفت دو حالت بیشتر نداشت: بدن مگس‌های سرکه یا خاکستری است یا سیاه. بسیاری از صفاتی که در دنیای واقعی با آنها روبرو می‌شویم، این‌گونه نیستند. به‌عنوان مثال، قد انسان‌ها گستره‌ای از مقادیر را دارد (شکل ۴-۵). همان‌گونه که می‌بینید اغلب انسان‌ها قدی متوسط دارند و تعداد افراد بسیار قدبلند یا بسیار قدکوتاه نسبتاً کم است. بنابراین اگر نمودار توزیع فراوانی را برای این صفت رسم کنیم، منحنی شکلی زنگوله‌مانند به خود می‌گیرد. این نوع توزیع را **توزیع طبیعی** (نرمال) می‌نامند. بسیاری از صفاتی که برای ما جالب توجه‌اند، توزیع طبیعی دارند، مثل وزن دانه‌های برنج، مقدار پروتئین دانه‌های سویا، غلظت قند خون انسان، رنگ پوست و حتی بهره هوشی. این‌گونه صفات را **صفات پیوسته** یا **صفات کمی** می‌گویند.

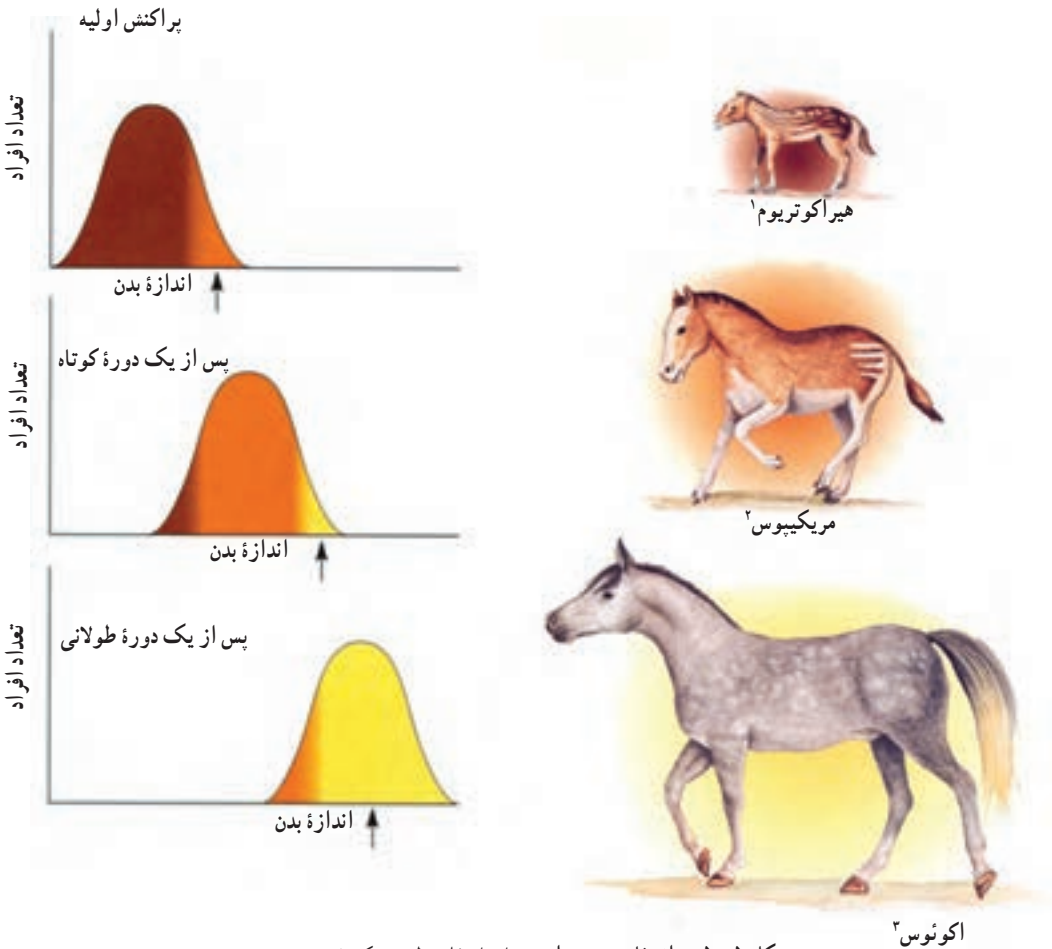


شکل ۴-۵- نمودار مربوط به گوناگونی قد در جمعیتی از بزرگسالان

انتخاب طبیعی در مورد صفات کمی چگونه عمل می‌کند؟ اثر انتخاب طبیعی بر صفات پیوسته سه الگوی کلی را نشان می‌دهد.

# ۱- انتخاب جهت دار در محیط متغیر روی می دهد.

انتخاب جهت دار معمولاً زمانی اتفاق می افتد که شرایط محیط تغییر می کند، یا جانداران به محیط جدیدی وارد می شوند. در چنین وضعیتی، جاندارانی که در یکی از دو انتهای نمودار توزیع طبیعی (دور از مقدار متوسط) جای می گیرند و ابتدا فراوانی کمی دارند، انتخاب می شوند و پس از مدتی، نمودار توزیع در جهت افزایش یا کاهش مقدار صفت مورد نظر جابه جا می شود. افزایش تدریجی اندازه بدن اسب در جریان تغییر گونه ها، نمونه ای از انتخاب جهت دار است (شکل ۵-۵). به نظر می رسد که این افزایش پاسخی به تغییر در محیط زندگی اسب یعنی تبدیل جنگل به علفزار باشد.



شکل ۵-۵- انتخاب جهت دار. بر اثر انتخاب طبیعی یک فنوتیپ آستانه ای (پیکان ها) ترجیح داده و باعث تغییر نمودار پراکنش شده است.

۱- Hyracotherium

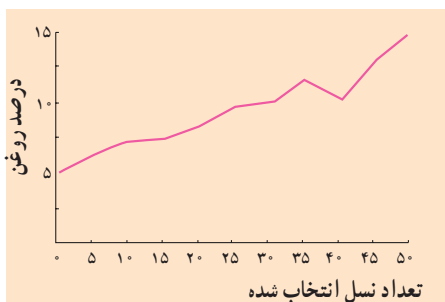
۲- Merychippus

۳- Equus



انسان انتخاب جهت دار را به طور گسترده مورد استفاده قرار داده است. نگهداری از گاوهایی که بیشتر شیر می دهند یا در مدت کوتاه تری پروارتر می شوند، مرغ هایی که بیشتر تخم می گذارند، اسب هایی که سریع تر می دوند و گیاهانی که محصول بیشتری می دهند، همه نمونه هایی از انتخاب جهت دار است. در یک آزمایش روی ذرت ها، در هر نسل گیاهانی که بیشترین روغن را در دانه های خود ذخیره می کردند، انتخاب و برای به وجود آوردن نسل بعد آمیزش داده شدند. این کار تا ۵۰ نسل ادامه یافت. در نتیجه، متوسط مقدار روغن در دانه های ذرت از ۵ درصد در جمعیت اولیه به ۱۵ درصد در نسل پنجاهم رسید (شکل ۵-۶). هیچ یک از گیاهان اولیه، ۱۵ درصد روغن در دانه های خود نداشتند!

تغییر در صفات گیاهان یا جانوران را که به انتخاب انسان صورت می گیرد، **انتخاب مصنوعی** می نامند.



شکل ۵-۶ - تغییرات جمعیت ذرت در پاسخ به انتخاب جهت دار به منظور انتخاب ذرت های دارای روغن بیشتر

## بیشتر بدانید



انتخاب مصنوعی تدبیری است که انسان می اندیشد تا با استفاده از قوانین طبیعت به محصولات بهتری دست یابد. انتخاب مصنوعی نوعی تقلید و الگوگیری از نظام آفرینش است. این نظام طوری طراحی شده است که دائماً به سوی بهتر شدن هدایت می شود. تدبیرهای نظام آفرینش بسیار پیچیده تر، دقیق تر و هدفمندتر از تدبیر انسان در انتخاب مصنوعی است.

## ۲- انتخاب پایدارکننده در محیط پایدار روی می دهد.

گاه بر اثر انتخاب طبیعی وضع موجود حفظ می شود؛ یعنی، افرادی که در میانه طیف قرار دارند، باقی می مانند و فنوتیپ های آستانه کاهش می یابند. این نوع انتخاب که **انتخاب پایدارکننده** نامیده می شود، معمولاً زمانی رخ می دهد که جاندار برای مدت زیادی در یک محیط نسبتاً پایدار زندگی و سازگاری های لازم را برای زیستن در این محیط پیدا کرده باشد. در این حالت، بروز تغییرات قابل

توجه در هر صفتی، می تواند توازن و هماهنگی اندام ها و دستگاه های گوناگون بدن را - که در مدتی طولانی حاصل شده است - برهم بزند. به همین علت تا هنگامی که تغییر شرایط محیط سازگاری های جدیدی را طلب نکند وضعیت موجود حفظ می شود.

مثال خوبی از انتخاب پایدارکننده، خرچنگ نعل اسبی<sup>۱</sup> است. شواهد فسیلی نشان می دهد که این



شکل ۷-۵ - خرچنگ نعل اسبی (در حدود ۳۰

سانتی متر قطر دارد).

پراکنش اولیه



پس از یک دوره زمانی کوتاه



پس از یک دوره زمانی طولانی



جاندار در مدت ۲۲۵ میلیون سال بدون تغییر مانده است. به چنین موجوداتی که بازمانده جانداران میلیون ها سال پیش هستند و شباهت فراوانی به آنها دارند فسیل زنده می گویند. خرچنگ های نعل اسبی در ساحل دریاها زندگی می کنند. به نظر می رسد با وجود تغییر آب و هوای زمین، شرایط زیستگاه این جانوران برای آنها تا حدود زیادی قابل تحمل بوده و بنابراین، نیازی به سازگاری های جدید نبوده است (شکل ۷-۵).

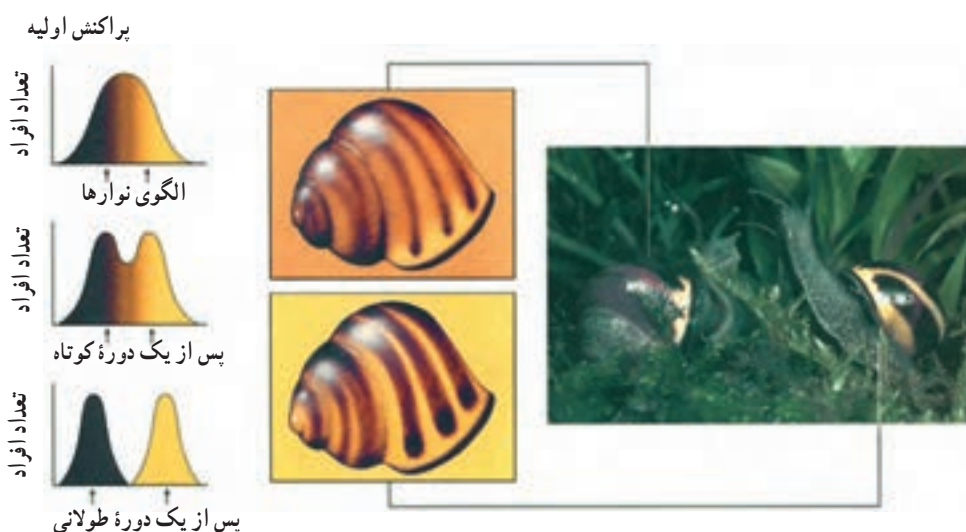
در انسان، انتخاب پایدارکننده سبب شده است

که وزن اغلب نوزادان هنگام تولد نزدیک به مقدار متوسط (۳/۲ کیلوگرم) باشد. گستره وزن نوزادان تازه به دنیا آمده، از حدود ۹۰۰ گرم تا حدود ۵ کیلوگرم گزارش شده است؛ ولی، میزان مرگ و میر برای نوزادانی که در دو آستانه این طیف هستند، بالاست و افرادی که فنوتیپ حد وسط دارند، احتمال بقای بیشتری دارند (شکل ۸-۵).

شکل ۸-۵ - انتخاب پایدارکننده. بر اثر انتخاب طبیعی فنوتیپ متوسط (محل بیکان) بر حالت های آستانه ای ترجیح داده می شود. امروزه اکثر نوزادان انسان وزن متوسط (در حدود ۳/۲ کیلوگرم) دارند.

### ۳- انتخاب گسلنده در محیط‌های ناهمگن روی می دهد.

انتخاب گسلنده هنگامی روی می دهد که فنوتیپ‌های آستانه‌ای بر فنوتیپ‌های حد واسط ترجیح داده شوند. معمولاً ناهمگنی شرایط محیط باعث این نوع انتخاب می شود. نمونه چنین انتخابی حلزون‌هایی<sup>۱</sup> هستند که در زیستگاه‌های مختلفی، از قبیل جنگل‌ها و علفزارها زندگی می کنند. حلزون‌هایی که در علفزارها زندگی می کنند، نوارهای کاملاً روشن دارند و به این ترتیب از دید دشمنان مخفی می مانند. برعکس حلزون‌های جنگلی باید برای استتار نوارهای تیره داشته باشند. فنوتیپ‌های میانه، در هیچ یک از دو زیستگاه استتار خوبی ندارند و بنابراین کاهش می یابند (شکل ۹-۵).



شکل ۹-۵- انتخاب طبیعی دو فنوتیپ افراطی (محل بیکان‌ها) ترجیح داده شده‌اند. حلزون‌های امروزی که متعلق به این گونه هستند، دو فنوتیپ متفاوت ویژه زندگی در دو زیستگاه متفاوت را نشان می دهند.

بررسی جمعیتی از سهره‌های کامرون نشان داده است که در آن‌جا دو نوع سهره کاملاً متمایز از نظر اندازه منقار وجود دارد. گروهی از اعضای گونه، منقار بزرگ و گروهی منقار کوچک دارند. افراد کوچک منقار از دانه‌های نرم تغذیه می کنند و بزرگ منقارها دانه‌های سخت را می شکند. منقار هر یک از این دو گروه برای استفاده از غذایی که می خورند، بهینه شده است. افرادی که اندازه منقار متوسط دارند، نمی توانند از هیچ کدام از دانه‌های نرم یا سخت، به خوبی استفاده کنند (شکل ۱۰-۵).

۱- *Cepaea nemoralis*



شکل ۱۰-۵- در جمعیت سهره‌های کامرون دو نوع متقار یافت می‌شود. اعضای این دو گروه در تعادل و توازن قرار دارند.

در انتخاب گسلنده، عملاً جمعیت گونه به دو گروه تقسیم می‌شود که البته این دو گروه توانایی آمیزش با هم را دارند. از آمیزش افراد این دو گروه، احتمالاً برخی از زاده‌ها فنوتیپ حد واسط را دارند و لذا در رقابت حذف می‌شوند. اگر بعضی از افراد به خاطر یک تغییر ژنتیکی، صرفاً با افراد هم‌گروه خود آمیزش کنند، همه زاده‌های آنها همان فنوتیپ آستانه‌ای را خواهند داشت و لذا برای بقا انتخاب می‌شوند. در طی نسل‌های پیاپی، این ویژگی، یعنی آمیزش با افراد همسان در میان اعضای جمعیت متداول می‌شود. به این ترتیب، با گذشت زمان، ممکن است خزانه ژنی دو گروه کاملاً از هم جدا شود و زمینه برای اشتقاق گونه‌ها فراهم شود.

## خودآزمایی



- ۱- نقش انسان را در انتخاب جهت‌دار جمعیت‌ها توضیح دهید.
- ۲- انتخاب پایدارکننده در چه محیط‌هایی روی می‌دهد و چرا؟
- ۳- یک مثال از انتخاب گسلنده بیان کنید.

## ۳ استمرار گوناگونی در جمعیت‌ها

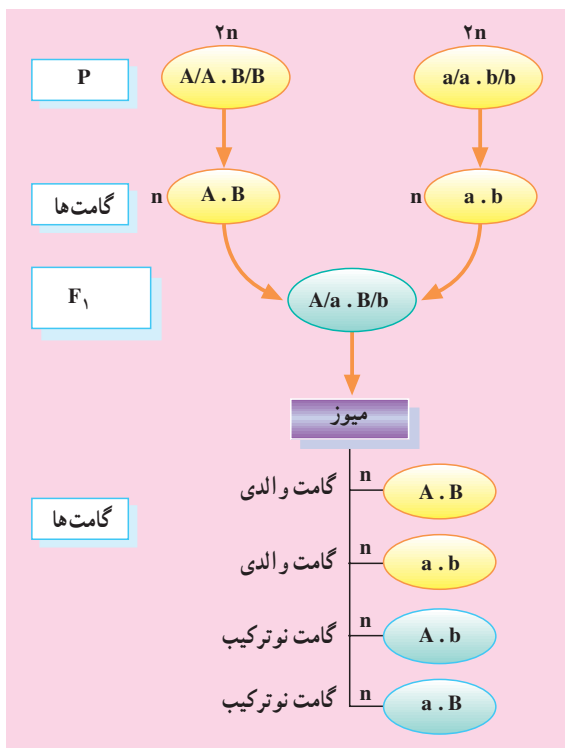
افراد جمعیت‌ها معمولاً متنوع هستند. وجود تنوع برای بقای گونه مفید است؛ زیرا تنوع توان سازگار شدن با محیط‌های جدید را به جمعیت می‌دهد. اللی که در زمان و مکان خاصی از نظر محیط نامطلوب است، با تغییر شرایط ممکن است بتواند موجب سازگاری شود، مثل رنگ سیاه در پروانه‌های شب پرواز فلفلی. گونه‌هایی که نتوانند خود را با محیط تطبیق دهند، منقرض می‌شوند. به یاد دارید که بر اثر انتخاب طبیعی ال‌های ناسازگار کاهش می‌یابند و فراوانی ال‌های سازگار به صد درصد نزدیک می‌شود. پس چگونه تنوع در جمعیت‌ها استمرار می‌یابد؟ نخست، باید به یاد داشته باشیم که نیروهای پدیدآورنده تنوع همواره فعال اند: جهش، سبب پیدایش ال‌های جدید می‌شود؛ شارش ژنی از جمعیت‌های دیگر نیز اتفاق می‌افتد. همان گونه که دیدیم، بر اثر انتخاب طبیعی در مواردی (انتخاب گسلنده) گوناگونی افزایش می‌یابد. علاوه بر این‌ها، عوامل دیگری نیز باعث می‌شوند که تنوع در جمعیت‌ها حفظ شود.

### نو ترکیبی

با تولید مثل جنسی ترکیب‌های جدیدی از ال‌های موجود در کنار هم قرار می‌گیرند؛ منظور از نو ترکیبی ژن‌ها کنار هم قرار گرفتن ترکیبی از ال‌های ژن‌های مختلف است که پیش‌تر سابقه نداشته است. به عنوان مثال، فرض کنید که دو فرد با ژنوتیپ‌های  $AABB$  و  $aabb$  با هم آمیزش می‌کنند. لقاح بین گامت‌های  $AB$  و  $ab$  انجام می‌شود و افراد نسل اول همه  $AaBb$  هستند. هنگامی که این افراد به سن تولید مثل می‌رسند، چهار نوع گامت تولید می‌کنند که دو نوع آنها ( $Ab$  و  $aB$ ) جدید هستند. گامت‌هایی را که نظیر آنها در گامت‌های والدین وجود داشته است، گامت‌های والدی و انواع جدید را گامت‌های نو ترکیب می‌گویند.

اگر این گامت‌ها به صورت تصادفی در لقاح شرکت کنند، در نسل دوم ژنوتیپ‌های زیر را خواهیم داشت:

$AABB, AaBB, aaBB, AABb, AaBb, aaBb, AAbb, Aabb, aabb$



شکل ۱۱-۵- ردیابی نوترکیبی در جانداران دیپلوئید

از این ۹ نوع ژنوتیپ در  $F_2$ ، ۶ مورد در نسل های  $P$  و  $F_1$  وجود نداشته اند. همان گونه که می بینید (شکل ۱۱-۵)، نوترکیبی می تواند بدون نیاز به پیدایش الل های جدید بر تنوع ژنتیکی بیفزاید. اگر افراد نسل  $P$  نخود فرنگی های گل ارغوانی دانه زرد و گل سفید دانه سبز بوده باشند، در نسل دوم برخی از بوته ها گل سفید دانه زرد و بعضی دیگر گل ارغوانی دانه سبز هستند که نمونه آنها بیشتر وجود نداشته است. کراسینگ اور: آیا اگر دو ژن روی یک کروموزوم قرار داشته باشند، باز هم انتظار نوترکیبی داریم؟ برخلاف آنچه ممکن است انتظار داشته باشید، پاسخ مثبت است. بررسی ها نشان داده است که در هنگام جفت شدن کروموزوم ها در میوز I، گاه قطعاتی بین کروموزوم های همتا مبادله می شود. اگر این قطعات حامل الل های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از الل ها به وجود می آید. این پدیده را کراسینگ اور<sup>۱</sup> می نامند.

<sup>۱</sup> Crossing over

نو ترکیبی حاصل تبادل قطعات بین کروماتیدهای غیر خواهری است.

	کروموزوم های میوزی	سلول های حاصل از میوز	
میوز بدون کراسینگ اور بین ژن ها			والدی والدی والدی والدی
میوز به همراه کراسینگ اور بین ژن ها			والدی نو ترکیب نو ترکیب والدی

شکل ۱۲-۵

هنگامی که گامت های نو ترکیب در لقاح شرکت می کنند، ژنوتیپ های جدیدی به وجود می آورند.

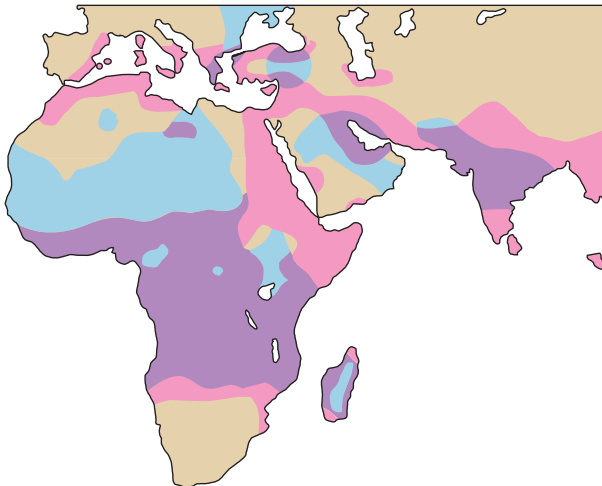
نوعی که در بی نو ترکیبی پدید می آید، می تواند ماده خام انتخاب طبیعی باشد. انتخاب مصنوعی ذرت ها برای تولید روغن بیشتر را به یاد آورید (شکل ۶-۵). در این آزمایش مقدار متوسط روغن طی پنجاه نسل به تدریج افزایش یافت و به حدی رسید که در هیچ یک از گیاهان اولیه وجود نداشت. می توان با محاسبات ساده ای نشان داد که پیدایش این گیاهان پر روغن به علت کنار هم قرار گرفتن ترکیب های جدید اللی بوده است نه جهش. در این تجربه، ۲۰۰ تا ۳۰۰ گیاه ذرت در هر نسل پرورش داده می شد؛ بنابراین کلاً بین ۱۰ تا ۱۵ هزار گیاه مورد آزمایش قرار گرفتند. جهش پذیرترین ژن های ذرت، یک در هر ۵۰ هزار گیاه جهش پیدا می کنند. پس، وقوع حتی یک جهش هم در طی آزمایش چندان محتمل نیست. به علاوه بسیار بعید است که یک جهش ژنی تولید روغن را سه برابر کند. به نظر می رسد که پیدایش ترکیب های جدید اللی و انتخاب آنها عامل اصلی افزایش تولید روغن بوده باشد.

## برتری افراد ناخالص

اگر شایستگی افراد ناخالص از شایستگی افراد هر دو نوع خالص (غالب و مغلوب) بیشتر باشد، هیچ کدام از دو الل از جمعیت حذف نمی شود. چون اگر هر یک از این دو الل حذف شوند، دیگر فرد

ناخالصی وجود نخواهد داشت؛ نمونه این گونه انتخاب در مورد الل کم خونی داسی شکل ( $Hb^S$ ) در مناطقی از آفریقا دیده می‌شود. افرادی که برای این الل مغلوب خالص ( $Hb^S Hb^S$ ) هستند، از مشکلات عدیده‌ای از جمله کم خونی شدید رنج می‌برند و معمولاً پیش از رسیدن به سن تولید مثل می‌میرند. بنابراین شایستگی آنها صفر است. افراد ناخالص ( $Hb^A Hb^S$ ) عموماً مشکل حادی ندارند؛ فقط هنگامی که اکسیژن محیط کم باشد، گلبول‌های قرمز آنها داسی شکل می‌شوند که البته خطر بسته‌شدن برخی مویرگ‌ها در این مواقع وجود دارد. با توجه به این که فشار اکسیژن در هوای اطراف ما بی‌دلیل کاهش پیدا نمی‌کند، افراد ناخالص برای زندگی روزمره خود مشکلی ندارند. بنابراین شایستگی افراد ناخالص و افراد خالص غالب ( $Hb^A Hb^A$ )، برابر ۱ است. به طور طبیعی انتظار می‌رود که فراوانی الل کم خونی داسی شکل در جمعیت بسیار اندک باشد. زیرا افراد خالص مغلوب هیچ شانس برای تولید مثل ندارند و فقط الل‌های  $Hb^S$  که در افراد ناخالص نهفته مانده‌اند، می‌توانند به نسل بعد منتقل شوند. در اغلب جوامع فراوانی الل  $Hb^S$  از ۱/۰۰۰٪ تجاوز نمی‌کند.

متخصصان ژنتیک که به بررسی شیوع کم خونی داسی شکل می‌پرداختند، دریافتند که در برخی مناطق آفریقا فراوانی الل  $Hb^S$  به طور غیرطبیعی بالاست (۱۵٪ تا ۴۰٪). این نکته نیز مشخص شد که عمده فراوانی الل  $Hb^S$  مربوط به مناطقی است که در آنها مالاریا زیاد است (شکل ۱۳-۵).



شکل ۱۳-۵- همبستگی پراکنش بیماری کم خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل و بیماری مالاریا. مناطق صورتی رنگ مناطق شیوع بیماری مالاریا، مناطق آبی رنگ نشان دهنده مناطق شیوع بیماری کم خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل و مناطق ارغوانی رنگ مناطق ارتباطی این دو را نشان می‌دهد.



بیماری مالاریا را نوعی انگل تک سلولی<sup>۱</sup> ایجاد می کند. این انگل درون گلبول های قرمز افراد سالم ( $Hb^A Hb^A$ ) زندگی می کند و نمی تواند درون گلبول قرمز فرد ناخالص ( $Hb^S Hb^A$ ) زنده بماند. به این ترتیب افراد ناخالص در برابر مالاریا مقاومت زیادی از خود نشان می دهند و در مناطقی که شیوع مالاریا بالاست، شایستگی بیشتری نسبت به افراد سالم دارند. جدول ۱-۵ داده هایی را که از برخی نواحی آفریقا به دست آمده اند، با اطلاعات مربوط به سایر جوامع مقایسه می کند.

جدول ۱-۵ - یک الل به ظاهر نامطلوب مانند  $Hb^S$  ممکن است در شرایط محیطی ویژه، سازگار کننده باشد.

	شایستگی		
	$Hb^A Hb^A$	$Hb^A Hb^S$	$Hb^S Hb^S$
مناطق مالاریا خیز	۰/۸	۱	۰
سایر مناطق	۱	۱	۰

فراوانی الل کم خونی داسی شکل را در هر منطقه، میزان و شیوع مالاریا، یعنی این که چقدر احتمال دارد هر فرد در طول زندگی خود با مالاریا روبه رو شود تعیین می کند. اگر به عنوان مثال در منطقه ای فراوانی الل  $Hb^S$ ، ۱۷٪ باشد، تنها حدود ۳ درصد افراد جمعیت بیماری کم خونی داسی شکل را خواهند داشت و در عوض نزدیک به ۳۰ درصد افراد، ناخالص و نسبت به مالاریا مقاوم خواهند بود.

بیشتر بدانید



### بیماری کم خونی ناشی از گلبول های قرمز داسی شکل

نوع ژن: مغلوب اتوزومی که حاصل یک جهش در یک نوکلئوتید در ژن HBB است. ژن HBB رمزهای زنجیره بتای هموگلوبین را در خود دارد. این ژن روی کروموزوم شماره ۱۱ انسان قرار دارد.

<sup>۱</sup> - Plasmodium falciparum

علائم : درد که ممکن است از حالت خفیف تا بسیار شدید در سینه، مفاصل، پشت یا شکم ظاهر شود؛ تورم دست‌ها و پاها، یرقان؛ عفونت‌های مکرر، به ویژه ذات‌الریه و مننژیت؛ نارسایی کلیه، سنگ کیسه صفرا (زود هنگام)؛ سکنه مغزی (زود هنگام) و کم‌خونی.

درمان : به بیمار فولیک اسید می‌دهند و در صورت حاد شدن بیماری اکسیژن درمانی، تزریق مایعات و داروهای آنتی‌بیوتیک به درون رگ، پیوند مغز استخوان و ژن درمانی از روش‌های علمی درمان این بیماری هستند.



یک گلبول قرمز داسی شکل در کنار گلبول‌های قرمز عادی

## انتخاب و وابسته به فراوانی

در جانوران برای شکار نشدن استراتژی‌های گوناگونی طراحی شده است. بعضی از پروانه‌ها برای این که پرندگان آنها را شکار نکنند، طرح و رنگی شبیه به پروانه‌های سمی پیدا کرده‌اند. اگر پرنده‌ای یک بار پروانه‌ای از یک گونه سمی را بخورد، از آن پس از خوردن هر پروانه‌ای که ظاهری شبیه به آن داشته باشد، اجتناب خواهد کرد (شکل ۱۴-۵).



ب

الف

شکل ۱۴-۵ - پرنده شکل الف هرگز به پروانه سمی برخورد نکرده است، در حال خوردن یکی از آنهاست. در شکل ب پرنده لحظاتی پس از خوردن پروانه سمی، در حال استفراغ است. این پرنده در آینده سعی خواهد کرد چنین تجربه‌ای را تکرار نکند.

پس، اگر شکل و رنگ بال پروانه‌های غیرسمی همانند گونه سمی باشد، مورد توجه پرندگان قرار نمی‌گیرند و لذا تعداد آنها در جمعیت زیاد می‌شود. به عبارت دیگر شایستگی پروانه‌های غیرسمی مقلد بیشتر خواهد شد.

ممکن است فکر کنیم که با انتخاب طبیعی سرانجام همه افراد مقلد جمعیت گونه غیرسمی برای بقا انتخاب خواهند شد و پروانه‌هایی که از گونه‌های سمی تقلید نمی‌کنند، از بین خواهند رفت، ولی این طور نیست! شایستگی پروانه‌های مقلد هنگامی بالاست که تعداد آنها کم باشد. با افزایش فراوانی پروانه‌های مقلد احتمال اینکه پرنده گول بخورد و از شکار آنها صرف نظر کند، کمتر می‌شود (شکل ۱۴-۵). در واقع، ممکن است پروانه‌ای که اولین بار با آن طرح و رنگ ویژه توسط پرنده شکار شده است، یکی از پروانه‌های مقلد باشد که غیرسمی است؛ بنابراین، پرنده برای شکار بیشتر آنها تشویق خواهد شد. سرانجام فراوانی پروانه‌های مقلد و غیرمقلد در جمعیت گونه‌های غیرسمی به تعادلی پایدار می‌رسند، یعنی هر گروه درصدی از جمعیت را به خود اختصاص خواهد داد. هیچ یک از دو گروه نمی‌تواند دیگری را به طور کامل حذف کند و لذا تنوع در جمعیت این پروانه‌ها دائمی خواهد بود.

انتخاب وابسته به فراوانی هنگامی رخ می‌دهد که در آن شایستگی یک فنوتیپ به فراوانی آن در جمعیت بستگی دارد. در مثال تقلید پروانه‌ها، شایستگی پروانه‌های مقلد زمانی که فراوانی آنها در جمعیت کم است، بالاست ولی با افزایش تعداد پروانه‌های مقلد، شایستگی کاهش می‌یابد.

نوعی از انتخاب طبیعی که سبب حفظ تنوع در جمعیت‌ها می‌شود، انتخاب متوازن کننده نامیده می‌شود. برتری افراد ناخالص و انتخاب وابسته به فراوانی انواعی از انتخاب متوازن کننده هستند.



شکل ۱۵-۵- شایستگی پروانه‌های مقلد بستگی به فراوانی آنها دارد.

## خودآزمایی



- ۱- چه عواملی باعث حفظ تنوع در جمعیت‌ها می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۲- یک مثال درباره برتری افراد ناخالص در جمعیت‌ها بیان کنید.
- ۳- اثر فراوانی در جمعیت پروانه‌های مقلد را توضیح دهید.
- ۴- انتخاب متوازن کننده چیست؟

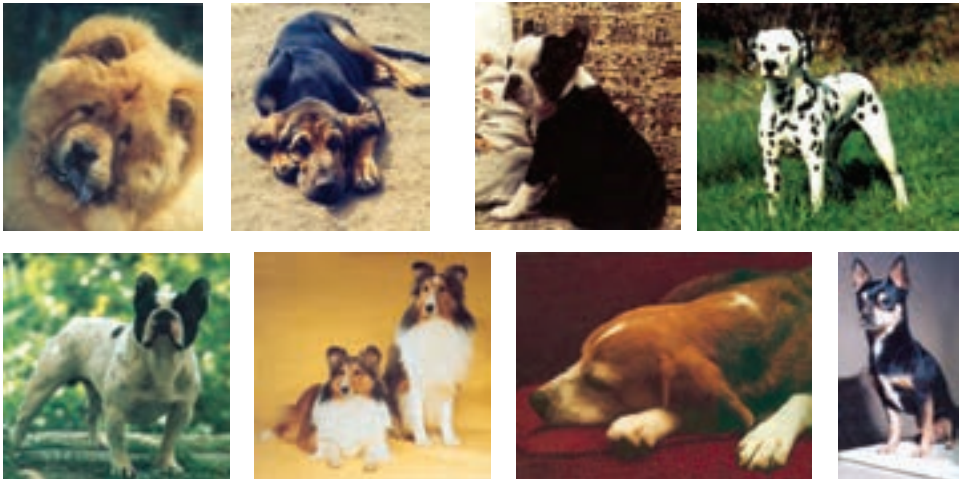
## ۴ گونه‌زایی

کارل لینه و سایر زیست‌شناسان قدیمی، گونه را به عنوان گروهی از جانداران که شباهت‌های زیادی به هم دارند و از جانداران دیگر متمایزند، تعریف کردند. به عبارت دیگر، مبنای اولیه تعریف گونه، شباهت ظاهری (فنوتیپی) گروهی از جانداران به یک‌دیگر بود. با گسترش دانش زیست‌شناسی به حوزه مولکولی، میزان شباهت در توالی نوکلئوتیدهای ژنوم و یا توالی آمینو اسیدی پروتئین‌ها نیز در مشخص کردن گونه‌ها دخالت داده شد؛ اما هنوز این تعریف یک اشکال اساسی دارد. دو جاندار باید چقدر به هم شبیه باشند تا در یک گونه قرار گیرند؟

نمی‌توان پاسخ دقیقی به این پرسش داد و رده‌بندی بر مبنای صفات فنوتیپی تا حدود زیادی سلیقه‌ای است (شکل ۱۶-۵). پیدایش علم ژنتیک جمعیت و به ویژه مطرح شدن موضوع خزانه ژنی



الف



ب

شکل ۱۶-۵. چکاوک‌های شکل الف بسیار به هم شبیه هستند، اما به گونه‌های مختلف تعلق دارند. سگ‌های شکل ب برعکس تفاوت‌های ظاهری بسیاری با یک‌دیگر دارند، اما همه به گونه سگ اهلی تعلق دارند.

باعث شد که زیست‌شناسان نگاه دیگری به مفهوم گونه داشته باشند. در سال ۱۹۴۲، ارنست مایر مفهوم گونه زنده را به صورت زیر پیشنهاد کرد:

«گونه در زیست‌شناسی به مجموعه جاندارانی گفته می‌شود که می‌توانند در طبیعت با هم آمیزش کنند و زاده‌های زیستا<sup>۱</sup> و زایا به وجود آورند، ولی نمی‌توانند با گونه‌های دیگر آمیزش موفقیت‌آمیز داشته باشند.»

منظور از واژه «می‌توانند» در تعریف بالا این است که ممکن است دو جاندار به دلیل زندگی در مناطق مختلف هرگز با هم آمیزش نکنند، ولی توانایی این عمل را داشته باشند. برای نمونه، خروسی که در ایران زندگی می‌کند، با مرغی که در فرانسه زندگی می‌کند آمیزش نمی‌کند؛ ولی از دیدگاه زیست‌شناسان آمیزش بین آنها امکان‌پذیر است. اگر یک جهانگرد مرغ فرانسوی را به ایران بیاورد، از آمیزش این مرغ و خروس، جوجه‌های سالم به وجود خواهند آمد که خود پس از بالغ شدن توانایی تولید مثل خواهند داشت. از تعریف گونه زنده برمی‌آید که خزانه ژنی گونه‌های مختلف از هم جداست و تبادل ژن هرگز نمی‌تواند بین آنها رخ دهد. چه چیزی باعث می‌شود که خزانه ژنی گونه‌های مختلف از هم جدا بماند؟

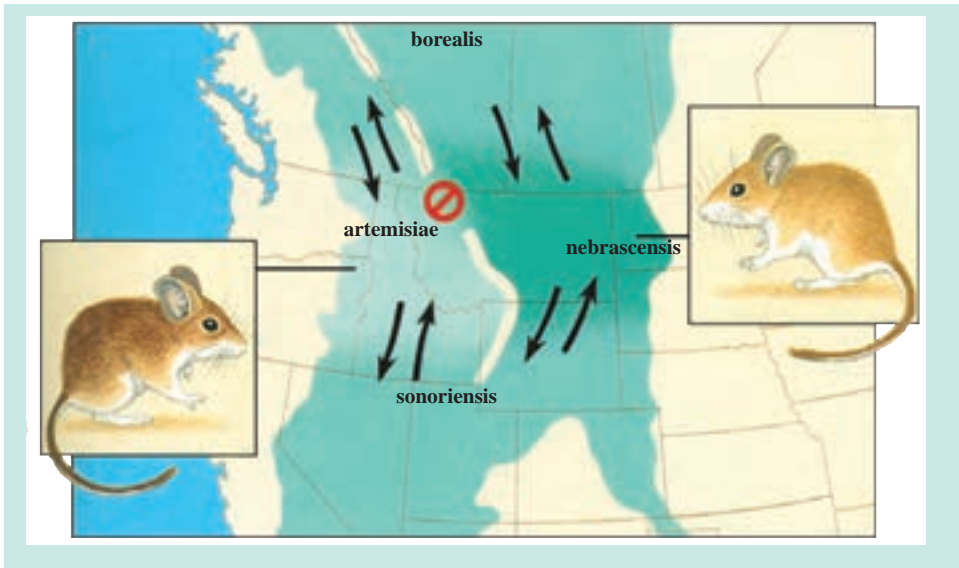
### بیشتر بدانید



چهار زیرگونه از موش گوزنی (*Peromyscus maniculatus*) در حوالی کوه‌های راکی در آمریکای شمالی زندگی می‌کنند (زیرگونه، یک واحد رده‌بندی پایین‌تر از سطح گونه است و به جمعیتی از جانداران اشاره می‌کند که عضو یک گونه هستند و با جمعیت‌های دیگر همان گونه تفاوت‌های جزئی دارند). زیستگاه این چهار زیرگونه در برخی مناطق همپوشانی دارد و لذا این گونه‌ها می‌توانند با هم آمیزش کنند؛ بنابراین، براساس تعریف ارنست مایر عضو یک گونه هستند. تنها استثنایی که وجود دارد، این است که دو زیرگونه *P.m. nebrascensis* و *P.m. artemisiae* نمی‌توانند با هم آمیزش کنند. البته، خزانه ژنی این دو جمعیت کاملاً از هم جدا نیست، زیرا هر یک از آنها می‌تواند با دو زیرگونه دیگر آمیزش کنند و از راه خزانه ژنی آنها به صورت غیر مستقیم با هم مرتبط شوند. اگر دو زیرگونه دیگر که در واقع راهروهای شارش ژنی هستند، منقرض شوند، می‌توانیم دو جمعیت فوق‌الذکر را دو گونه جداگانه بنامیم.

۱- زیستا (viable) به جاندار می‌گفته می‌شود که یک زندگی طبیعی دارد. در برابر آن، نازیستا (inviable) به موجودی اشاره می‌کند

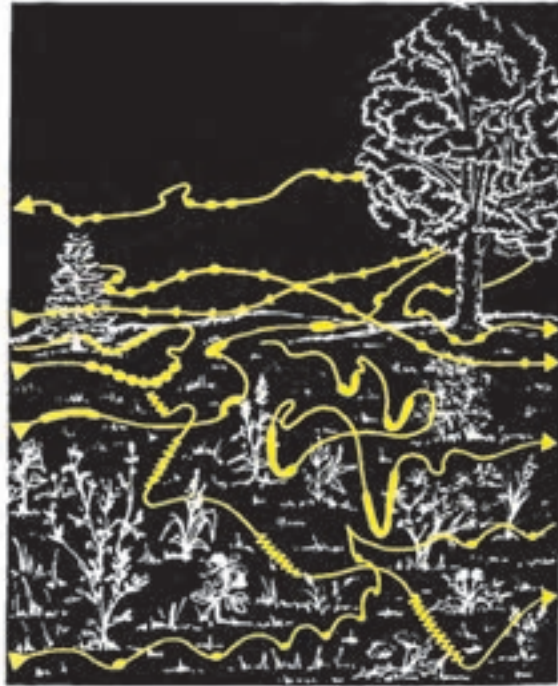
که به علت نقص در ساختار یا کارکرد بخش‌هایی از بیکرش، به طور قابل توجهی کمتر از سایر افراد هم‌گونه‌اش عمر می‌کند و زود می‌میرد.



## چگونه خزانه‌های ژنی از هم جدا می‌مانند؟

عواملی را که در جدانگه‌داشتن خزانه‌های ژنی گونه‌های مختلف مؤثرند، به دو گروه کلی تقسیم می‌کنند: برخی از آنها اجازه نمی‌دهند که سلول زیگوت از لقاح سلول‌های جنسی دو گونه متفاوت به وجود آید (سدهای پیش زیگوتی) و بعضی دیگر مانع از نمو سلول زیگوت و تشکیل زاده‌ی دو رگه و یا موجب نازایی آن می‌شوند (سدهای پس زیگوتی). به مجموعه این عوامل، ساز و کارهای جداکننده می‌گویند. جدایی بوم‌شناختی (زیستگاهی): این نوع جدایی در مورد گونه‌هایی مطرح است که در یک منطقه، ولی در زیستگاه‌های متفاوت زندگی می‌کنند. مثلاً، دو گونه مار غیر سمی، که هر دو به یک سرده متعلق هستند، در منطقه مشابهی در امریکای شمالی زندگی می‌کنند؛ یکی از آنها عموماً آبی است و دیگری در خشکی زندگی می‌کند. جدایی زیستگاهی در مورد انگل‌ها هم مطرح است که معمولاً برای میزبان ویژه‌ای اختصاصی می‌شوند. دو گونه‌ای که با میزبان‌های مختلف زندگی می‌کنند، هرگز شانس جفت‌گیری با یک دیگر را نخواهند داشت.

جدایی رفتاری: نشانه‌هایی که اعضای هرگونه برای جلب توجه جفت از خود بروز می‌دهند، ویژه همان گونه است. این عامل - که جدایی رفتاری خوانده می‌شود - از مهم‌ترین عوامل جدایی گونه‌های جانوری است و به ویژه در مورد گونه‌هایی مهم است که ظاهری شبیه به هم دارند. حشره‌های شب‌تاب نر متعلق به هرگونه، الگوی ویژه‌ای برای تاباندن نور و جلب توجه ماده‌های همان گونه دارند. هر ماده فقط به رفتار تقاضای جفت‌گیری نر هم گونه خود پاسخ می‌دهد (شکل ۱۷-۵).

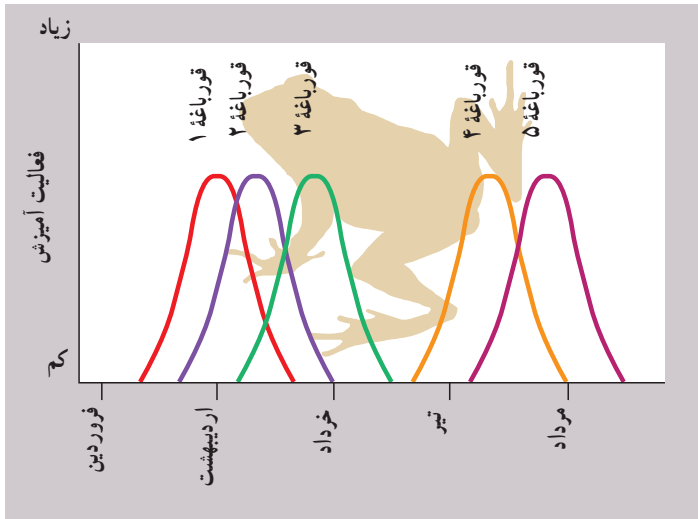


شکل ۱۷-۵- الگوی تابش نور، نوعی جدایی رفتاری تولید می‌کند. حشره شب تاب ماده فقط با حشره شب تاب نری آمیزش می‌کند که الگوی تابش نور آن ویژه همان گونه باشد. در این شکل الگوی تابش گونه‌های مختلف حشره شب تاب را مشاهده می‌کنید.

دو گونه چکاوکی که در شکل ۱۶-۵ می‌بینید، گاه در مناطق مشترکی زندگی می‌کنند؛ ولی دو گونه مجزا به شمار می‌روند. آوازهایی که پرندگان بالغ این دو گونه در فصل تولید مثل می‌خوانند، با هم متفاوت است و سبب می‌شود که هر پرنده جفت خود را از میان افراد هم گونه انتخاب کند.

جدایی زمانی: این نوع جدایی هنگامی مطرح است که دو گونه در فصل‌های مختلفی از سال تولید مثل می‌کنند. مثلاً، دو گونه راسو از یک سرده در زیستگاه مشترکی زندگی می‌کنند، ولی با هم آمیزش نمی‌کنند؛ زیرا، یکی از آنها در پایان تابستان جفت‌گیری می‌کند، اما فصل تولید مثل دیگری اواخر زمستان است. شکل ۱۸-۵ نموداری مربوط به چند گونه قورباغه را نشان می‌دهد که در زمان‌های مختلفی از سال برای آمیزش آماده می‌شوند و به این علت، جفت‌گیری بیشتر بین افراد هم گونه اتفاق می‌افتد.





شکل ۱۸-۵- جدایی زمانی. زمان فعال شدن پنج گونه قورباغه از یک سرده

**جدایی مکانیکی:** تلاش برای جفت‌گیری بین افراد متعلق به گونه‌هایی که تفاوت‌های ساختاری زیادی با هم دارند، موفقیت‌آمیز نیست. مثلاً حشرات گرده‌افشان معمولاً نمی‌توانند گرده‌ها را بین گونه‌های مختلف انتقال دهند؛ زیرا، ساختار بدن آنها فقط برای ورود به گل‌های گونه‌ای خاص متناسب است و یا این که رنگ و مواد شیمیایی ترشح شده از گل‌های دیگر برای آنها جذاب نیست. این نوع جدایی را **جدایی مکانیکی** می‌نامند. نمونه دیگری از جدایی مکانیکی، جدایی گونه وزغ بزرگ با وزغ کوچک درخت بلوط است. دلیل این جدایی، تفاوت جنه این دو گونه است (شکل ۱۹-۵).



شکل ۱۹-۵- جدایی مکانیکی. جنه متفاوت این دو وزغ آمیزش بین آنها را ناممکن می‌کند.

**جدایی گامتی:** نوع دیگری از جدایی، جدایی گامتی خوانده می‌شود. منظور از جدایی گامتی این است که حتی اگر گامت‌های گونه‌های مختلف نزدیک به هم قرار گیرند، به ندرت ممکن است سلول تخم (زیگوت) را تشکیل دهند. در مورد گونه‌هایی که لقاح داخلی دارند، معمولاً اسپرم‌های یک گونه در دستگاه تناسلی ماده‌ای از گونه دیگر، زنده نمی‌مانند. بسیاری از گونه‌ها لقاح خارجی دارند و افراد نر و ماده گامت‌های خود را در آب آزاد می‌کنند. در چنین مواردی نیز اسپرم‌های هر گونه فقط تخمک‌های همان گونه را بارور می‌کنند. شناسایی گامت‌های هم‌گونه، به کمک مولکول‌های ویژه‌ای که در سطح گامت‌ها قرار دارند، انجام می‌شود. شناسایی مولکول‌های سطحی همچنین موجب می‌شود که دانه‌های گرده هر گیاه، فقط روی کلاله گل گیاهان هم‌گونه، لوله گرده تشکیل دهند.

**نازیستایی دو رگه:** لقاح گامت‌ها و تشکیل سلول تخم، به معنای قطعی شدن اختلاط ژنتیکی گونه‌ها نیست. نازیستایی دو رگه از عوامل دیگری است که به جدا ماندن خزانه‌های ژنی می‌انجامد. ممکن است به علت ناسازگاری در اطلاعات ژنتیکی کروموزوم‌هایی که از دو گونه مختلف آمده‌اند، جنین در مراحل اولیه نمو بمیرد. مثلاً، اگر احیاناً آمیزش بین قورباغه‌های مختلفی که در شکل ۱۸-۵ مشخص شده‌اند، انجام گیرد، مراحل نمو جنینی به درستی پیموده نمی‌شود و اگر هم زاده‌ای به وجود آید، پیش از رسیدن به سن تولید مثل خواهد مرد. از آمیزش گوسفند و بز نیز سلول تخم تشکیل می‌شود، ولی هرگز به تولد جاندار زنده نمی‌انجامد.

**نازایی دو رگه:** ممکن است جاندار دو رگه‌ای که حاصل آمیزش افراد دو گونه مختلف است، زیستا باشد. قاطر که حاصل آمیزش اسب و الاغ است، زود نمی‌میرد (شکل ۲۰-۵). این موضوع جدایی گونه‌های اسب و الاغ را به خطر نمی‌اندازد؛ زیرا، قاطر نازاست! نازایی دورگه عاملی است که اجازه نمی‌دهد تبادل ژن بین گونه‌های نزدیک، به یک روند پایدار تبدیل شود. هنگامی که دورگه نازا باشد، نمی‌تواند ماده ژنتیک خود را که مخلوطی از ژن‌های دو گونه است، به نسل بعد منتقل کند. به این ترتیب، جدایی خزانه‌های ژنی دو گونه حفظ می‌شود.



شکل ۲۰-۵ نازایی دورگه. از راست به چپ: قاطر، الاغ و اسب

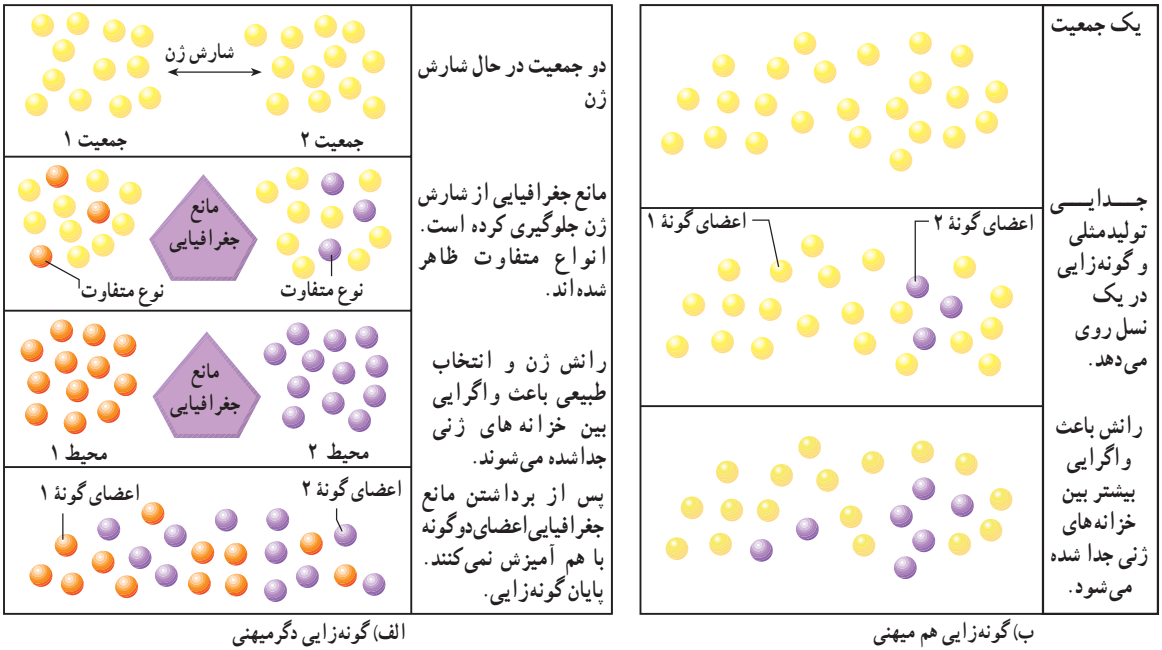
ناپایداری دودمان دو رگه : عامل دیگر جدایی تولید مثلی، ناپایداری دودمان دورگه است. در بعضی موارد، دو رگه‌های نسل اول زیستا و زایا هستند؛ ولی، هنگامی که این دورگه‌ها با هم یا با یکی از گونه‌های اولیه آمیزش می‌کنند، زاده‌های نازیستا و نازا پدید می‌آورند. مثلاً، گونه‌های مختلفی از پنبه می‌توانند با هم آمیزش کنند. اگرچه زاده‌های نسل اول آنها عادی هستند؛ اما در نسل دوم مشکل بروز می‌کند و دانه‌ها پیش از جوانه زدن می‌میرند و یا گیاهانی ضعیف و ناقص به وجود می‌آورند.

### پیدایش گونه‌های جدید

گاه یک مانع جغرافیایی خزانه‌های ژنی جمعیت‌های مختلف یک گونه را به مدت طولانی از هم جدا می‌کند. با پیدایش یک ناحیه کوهستانی، جمعیت‌گونه‌هایی که فقط می‌توانند در ارتفاع‌های کم زندگی کنند، به دوزیر جمعیت تقسیم می‌شود - که هر کدام در یک سمت کوه به زندگی ادامه می‌دهند. پیشرفت یخچال‌های طبیعی ممکن است سبب چند پاره‌شدن جمعیت‌ها شود و خشکی کوچکی، مانند پاناما، محیط آریزان دو سوی خود را از هم جدا کند. همچنین، زمانی که گروهی از افراد یک جمعیت به محیط جدیدی مهاجرت می‌کنند و در آنجا مستقر می‌شوند، احتمال دارد که ارتباط خود را با جمعیت مادر به طور کامل از دست بدهند. این که سد جغرافیایی باید چقدر بزرگ باشد تا ارتباط جمعیت‌ها را قطع کند، بستگی به میزان تحرک جاندار مورد نظر دارد. ممکن است پرندگان بتوانند فواصل هزاران کیلومتری را پرواز و با جمعیت‌های دیگر از گونه خود ژن مبادله کنند، در حالی که احتمالاً یک خشکی چند صد متری برای جدا کردن دو گروه از حلزون‌ها کافی است. در مورد گیاهان نیز باید توانایی پراکنش دانه‌های گرده، هاگ‌ها و دانه‌ها را در نظر داشت.

با قطع ارتباط دو جمعیت - که در ابتدا به یک گونه تعلق داشته‌اند - شارش ژن میان آنها متوقف یا کُند می‌شود، در حالی که نیروهای دیگر مؤثر بر تغییر گونه‌ها مانند جهش، رانش ژن و انتخاب طبیعی فعال‌اند. در این حالت در دو جمعیت، جهش یافته‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند و چون تبادل ژن بین جمعیت‌ها صورت نمی‌گیرد، این تفاوت‌ها به تدریج زیاد می‌شود. همچنین، اگر دو جمعیت در شرایط محیطی متفاوتی قرار گیرند، اثر انتخاب طبیعی بر آنها متفاوت خواهد بود، زیرا اعضای هر جمعیت سازگاری‌های ویژه‌ای برای زندگی در محیط جدید خود پیدا می‌کنند. به عنوان مثال، رنگ موش‌هایی که روی خاک‌های آتشفشانی تیره زندگی می‌کنند، به تیرگی و رنگ موش‌های ساکن نواحی ماسه‌ای به روشنی‌گرایش پیدا می‌کند. بالاخره، اگر گروه‌هایی که از جمعیت اصلی جدا می‌شوند، کوچک باشند، رانش ژنی در آنها رخ می‌دهد. نتیجه رانش ژنی در جمعیت‌های مختلف متفاوت است. در نبود شارش

ژنی، با اثر جهش، انتخاب طبیعی و رانش ژنی، تفاوت میان دو جمعیت به تدریج زیاد می‌شود. ممکن است کم کم این تفاوت‌ها شامل ویژگی‌های تولید مثلی افراد نیز بشود؛ یعنی، یکی از عوامل جدایی تولید مثلی پیش‌زیگوتی یا پس‌زیگوتی تکامل پیدا کند. مثلاً، آواز جفت‌یابی دو نوع پرنده دیگر به هم شبیه نباشد یا ساختار سطحی دانه‌های گرده گروهی از گیاهان به گونه‌ای تغییر کند که نتوانند روی کلاهک گل‌های گروه دیگر رویش انجام دهند. در این صورت، فرآیند جدایی کامل می‌شود و حتی اگر مانع جغرافیایی برداشته شود، دو جمعیت توان تبادل ژن با یک‌دیگر را ندارند و عملاً دو گونه مجزا هستند (شکل ۲۱-۵). به این نوع گونه‌زایی که با جدایی مکانی جمعیت‌ها شروع می‌شود، گونه‌زایی دگرمیهنی<sup>۱</sup> می‌گویند.

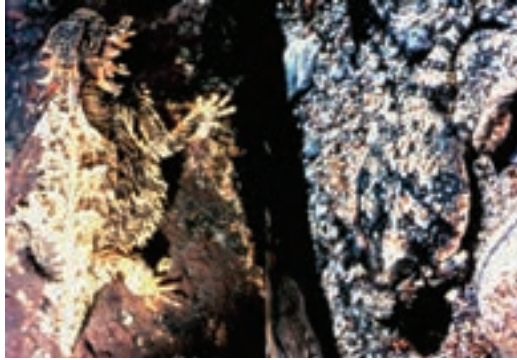


الف) گونه‌زایی دگرمیهنی

ب) گونه‌زایی هم‌میهنی

شکل ۲۱-۵ - گونه‌زایی دگرمیهنی و گونه‌زایی هم‌میهنی. الف) گونه‌زایی دگرمیهنی پس از ایجاد مانع جغرافیایی بین افراد یک جمعیت، انجام می‌شود. ب) گونه‌زایی هم‌میهنی هنگامی روی می‌دهد که اعضای یک جمعیت متحمل تغییرات ناگهانی و جدایی تولید مثلی می‌شوند.

دو گونه مارمولک شاخ‌دار در کالیفرنیا آمریکا زندگی می‌کنند (شکل ۲۲-۵). به نظر می‌رسد این دو گونه از یک گونه نیایی که در نواحی جنوب غربی آمریکا می‌زیسته است به وجود آمده‌اند.



شکل ۲۲-۵- گونه‌زایی دگرمیهنی و پیدایش دو گونه مارمولک شاخ‌دار. اجداد این دو گونه، پس از پیش‌روی یخچال‌ها به سمت جنوب امریکا حرکت کردند و در آن‌جا از هم جدا شدند. پس از گذشت سال‌ها از این گونه نیایی، دو گونه جدید به وجود آمد.

حدس زده می‌شود که با پیش‌روی یک یخچال از سمت قطب شمال مارمولک‌ها به سوی جنوب حرکت کردند و هنگامی که به خلیج کالیفرنیا رسیدند، به دو گروه تقسیم شدند. اعضای دو جمعیت در مدت جدا بودن آنقدر متفاوت شدند که پس از عقب رفتن یخچال و بازگشت به مناطق شمالی‌تر، دیگر نتوانستند با هم آمیزش کنند.

نمونه دیگر از گونه‌زایی دگرمیهنی در دو گونه سنجاب دیده می‌شود که در دو سوی یک دره زندگی می‌کنند (شکل ۲۳-۵).



شکل ۲۳-۵- این دو نوع سنجاب در دو منطقه مختلف زندگی می‌کنند، یکی از آنها تیره‌تر است و دیگری رنگ روشن‌تر دارد.

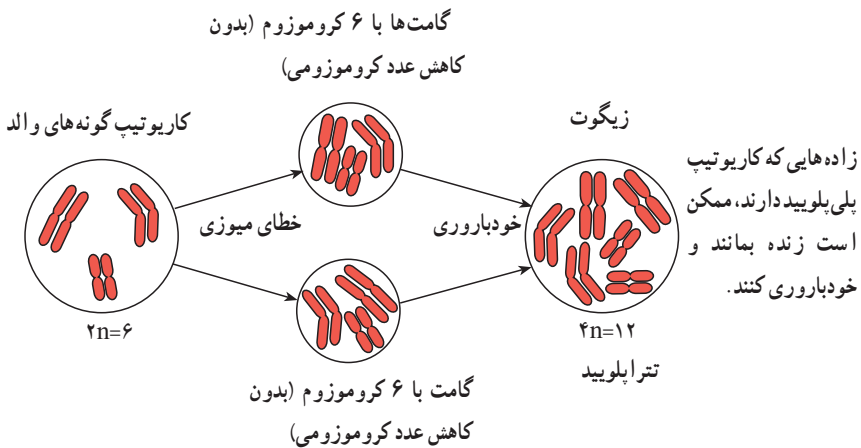
در برابر گونه‌زایی دگرمیهنی، گونه‌زایی هم‌میهنی<sup>۱</sup> مطرح می‌شود که بدون نیاز به جدایی جغرافیایی و بین جمعیت‌هایی که در یک زیستگاه به سر می‌برند، اتفاق می‌افتد (شکل ۲۱-۵). آشکارترین

۱- Sympatric speciation

نمونه این نوع گونه‌زایی، پیدایش گیاهان پلی‌پلوئید است. این پدیده نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط هوگودووری<sup>۱</sup> کشف شد. او که با گیاهان گل مغربی<sup>۲</sup> ( $2n=14$ ) کار می‌کرد، روزی متوجه وجود گیاهی با ظاهر متفاوت در میان گیاهان مجموعه‌اش شد. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که گیاه تغییر یافته، تتراپلوئید است و ۲۸ کروموزوم دارد. تتراپلوئیدی به خاطر اشتباه در میوز و پدیده جدانشدن کروموزوم‌ها رخ می‌دهد (شکل ۲۴-۵). در بررسی‌های بعدی مشخص شد که در آمیزش این گیاه با انواع دیپلوئید، جدایی پس زیگوتی وجود دارد. وقتی که یک گیاه تتراپلوئید، مثل گل مغربی غیر طبیعی دووری میوز انجام می‌دهد، گامت‌های آن به جای  $n$  کروموزوم،  $2n$  کروموزوم دارند. اگر این گیاه با یک گیاه دیپلوئید طبیعی آمیزش کند، سلول زیگوت تریپلوئید ( $3n$ ) تشکیل می‌شود. فرد تریپلوئیدی که از نمو این سلول زیگوت حاصل می‌شود، نازاست.

اگر گیاه تتراپلوئید بتواند خودلقاحی انجام دهد، یا در نزدیکی آن، گیاه تتراپلوئید دیگری با همان تعداد کروموزوم وجود داشته باشد، سلول زیگوت تشکیل شده هم تتراپلوئید خواهد بود گیاه تتراپلوئیدی که به این ترتیب به وجود می‌آید، زیاست و می‌تواند دودمانی از گیاهان تتراپلوئید را پدید آورد (شکل ۲۴-۵).

با توجه به ناتوانی گیاهان تتراپلوئید در آمیزش با دیپلوئیدها، عملاً خزانه‌های ژنی این دو گروه از هم جدا می‌شود و لذا می‌توان آنها را گونه‌های متفاوت به شمار آورد.



شکل ۲۴-۵ - تشکیل گیاهان پلی‌پلوئید نوعی گونه‌زایی هم‌میهنی است.

۱- Hugo De Vries

۲- *Oenothera lamarckiana*



- ۱- ارنست مایر چه تعریفی از گونه ارائه داد؟ کاربرد این تعریف را در زیست‌شناسی تغییر گونه‌ها مورد بررسی و نقد قرار دهید.
- ۲- انواع جدایی بین افراد گونه‌های مختلف را نام ببرید.
- ۳- کدام یک از مکانیسم‌های جدایی پس زیگوتی و کدام یک پیش زیگوتی هستند؟
- ۴- گونه‌زایی دگرمیهنی را با گونه‌زایی هم‌میهنی مقایسه کنید.