

ژنتیک جمعیت

ژنتیک جمعیت به بررسی ژن‌ها در جمعیت می‌پردازد. همان‌طور که می‌دانید ترکیب ژنوتیپی و یا فنوتیپی جمعیت در اثر عواملی مثل حوادث طبیعی، مهاجرت، آمیزش‌های غیرتصادفی و تغییر می‌کند از اینرو ژن‌های یک جمعیت نیز در اثر این عوامل تغییر می‌کنند. ما با ژنتیک جمعیت می‌توانیم این تغییرات را مورد بررسی قرار دهیم.

قبل از بررسی مسائل ژنتیک جمعیت نیاز است با مفاهیم زیر آشنا شوید:

۱- خزانه‌ی ژنی: سلول‌هایی که با تقسیم میوزی خود گامت‌ها را بوجود می‌آورند، سلول زاینده (زایشی) نامیده می‌شوند حال اگر سلول‌های زاینده‌ی همه‌ی افراد جمعیت را در نظر بگیریم، همه‌ی ژن‌های درون این سلول‌ها در مجموع خزانه‌ی ژنی جمعیت را تشکیل می‌دهند.

۲- فراوانی الل: برای توصیف خزانه‌ی ژنی به دست آوردن تعداد واقعی هر الل کاری غیر ممکن است، بنابراین در ژنتیک جمعیت به جای تعداد واقعی هر الل از فراوانی نسبی الل استفاده می‌شود. فراوانی هر الل در یک جمعیت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{فراوانی الل مغلوب (q)} = \frac{\text{تعداد الل مغلوب}}{\text{کل الل}}$$

$$\text{فراوانی الل غالب (p)} = \frac{\text{تعداد الل غالب}}{\text{کل الل}}$$

😊 **مثال ۱-۹:** در جمعیت ۱۰۰ تایی مگس سرکه الل خاکستری (G) بر الل سیاه (g) غالب است اگر در این جمعیت تعداد افراد هوموزیگوس و هتروزیگوس به‌صورت زیر باشد: $64GG + 32Gg + 4gg$ فراوانی هر یک از الل‌های غالب و مغلوب را به‌دست آورید:

▼ **پاسخ:**

چون هر فرد در این جمعیت دارای دو الل است پس تعداد کل الل‌ها برابر است با تعداد افراد جمعیت ضرب در ۲، یعنی $100 \times 2 = 200$ از آنجائی که هر فرد هوموزیگوس غالب دارای دو الل و هر فرد هتروزیگوس دارای یک الل غالب است لذا فراوانی غالب G به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$G = \frac{64(GG) \times 2 + 32(Gg) \times 1}{100 \times 2} = 0.8$$

فراوانی الل مغلوب هم به‌صورت الل غالب به‌دست می‌آید:

$$g = \frac{32(Gg) \times 1 + 4(gg) \times 2}{100 \times 2} = 0.2$$

۳- **تعادل هاردی-واینبرگ:** اگر یک جمعیت بزرگ تحت تاثیر عواملی مثل جهش، شارش (مهاجرت)، رانش (بحران‌های طبیعی)، آمیزش‌های غیر تصادفی و پدیده‌ای مثل انتخاب طبیعی قرار نداشته باشد، نسبت ال‌های غالب به مغلوب و همچنین نسبت فراوانی افراد خالص به افراد ناخالص در هر نسل ثابت است و تغییر نمی‌کند. طبق **قانون هاردی - واینبرگ** اگر یک جمعیت در حال تعادل نباشد، از طریق آمیزش‌های تصادفی می‌توان آن‌ها را به تعادل درآورد.

😊 **مثال ۲-۹:** در جمعیت ۵۰۰ تایی مگس سرکه با ترکیب ژنوتیپی افراد به صورت $20 \cdot gg + 10 \cdot Gg + 20 \cdot GG$ ، اثبات کنید که جمعیت در تعادل هاردی واینبرگ است یا خیر؟

▼ **پاسخ:**

برای حل این پرسش ابتدا فراوانی هر یک از ال‌های غالب و مغلوب را به دست می‌آوریم:

$$g = \frac{10 \cdot (Gg) \times 1 + 20 \cdot (gg) \times 2}{500 \times 2} = 0.1$$

$$G = \frac{20 \cdot (GG) \times 2 + 10 \cdot (Gg) \times 1}{500 \times 2} = 0.1$$

بعد از به دست آوردن فراوانی هر یک از ال‌های غالب و مغلوب، طبق جدول پانت فراوانی هر یک از ژنوتیپ‌ها را به دست می‌آوریم:

فراوانی اسپرم‌ها

$$g = 0.1 \quad G = 0.1$$

فراوانی تخمک‌ها	$G = 0.1$	$GG = 0.01$	$Gg = 0.02$
	$g = 0.1$	$Gg = 0.02$	$gg = 0.01$

حال اگر بخواهیم بفهمیم که جمعیت ۵۰۰ تایی مگس سرکه با ترکیب ژنوتیپی افراد به صورت $20 \cdot GG + 10 \cdot Gg + 20 \cdot gg$ در حال تعادل هاردی واینبرگ قرار دارد یا خیر، کافی است فراوانی ژنوتیپ‌های به دست آمده را در جمعیت ۵۰۰ نفری ضرب کنیم و تعداد افراد به دست آمده را با تعداد جمعیت‌های اولیه مقایسه کنیم اگر عددها یکسان بود، جمعیت در تعادل است در غیر این صورت جمعیت در تعادل نیست:

$$= 500 \cdot (0.01GG + 0.02Gg + 0.01gg)$$

$$125GG + 250Gg + 125gg$$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید عددهای به‌دست آمده $۱۲۵GG + ۲۵۰Gg + ۱۲۵gg$ با عددهای جمعیت اولیه $۲۰۰GG + ۱۰۰Gg + ۲۰۰gg$ یکسان نیست، پس جمعیت اولیه در تعادل هاردی واینبرگ نبوده است. به عبارت دیگر اگر فراوانی الل غالب $G = ۰/۵$ باشد در یک جمعیت ۵۰۰ تایی از مگس سرکه که در تعادل هاردی واینبرگ قرار دارند، ۱۲۵ مگس باید دارای ژنوتیپ GG باشند نه ۲۰۰ مگس.

😊 **مثال ۳-۹:** در جمعیت ۱۰۰۰ تایی مگس سرکه با ترکیب ژنوتیپی افراد به‌صورت $۴۹۰GG + ۴۲۰Gg + ۹۰gg$ است یا خیر؟

▼ **پاسخ:**

مجدداً برای حل این پرسش ابتدا فراوانی هر یک از الل‌های غالب و مغلوب را به‌دست می‌آوریم:

$$g = \frac{۴۲۰(Gg) \times ۱ + ۹۰(gg) \times ۲}{۱۰۰۰ \times ۲} = ۰/۳$$

$$G = \frac{۴۹۰(GG) \times ۲ + ۴۲۰(Gg) \times ۱}{۱۰۰۰ \times ۲} = ۰/۷$$

بعد از به‌دست آوردن فراوانی هر یک از الل‌های غالب و مغلوب، طبق جدول پانت فراوانی هر یک از ژنوتیپ‌ها را به‌دست می‌آوریم:

فراوانی اسپرم‌ها

$$g = ۰/۳ \quad G = ۰/۷$$

فراوانی تخمک‌ها	$G = ۰/۷$	$GG = ۰/۴۹$	$Gg = ۰/۲۱$
	$g = ۰/۳$	$Gg = ۰/۲۱$	$gg = ۰/۰۹$

فراوانی ژنوتیپ‌های به‌دست آمده را در جمعیت ۱۰۰۰ نفری ضرب و تعداد افراد به‌دست آمده را با تعداد جمعیت‌های اولیه مقایسه می‌کنیم اگر عددها یکسان بود، جمعیت در تعادل است در غیراین‌صورت جمعیت در تعادل نیست:

$$(۰/۴۹GG + ۰/۴۲GG + ۰/۰۹gg) \times ۱۰۰۰ = ۴۹۰GG + ۴۲۰Gg + ۹۰gg$$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید عددهای به‌دست آمده با عددهای جمعیت اولیه یکسان است، پس جمعیت اولیه در تعادل هاردی واینبرگ بوده است.

فرمول هاردی-واینبرگ: اگر در مثال فوق فراوانی الل غالب G را p و فراوانی الل مغلوب g را با q بنامیم، با توجه به این فراوانی کل این اللها ۱ است، پس $p + q = 1$ ، یعنی آمیزش بین گامت‌ها به این صورت در می‌آید:

آمیخته تخمین	G	g	$p^2 = GG$ فراوانی افراد خالص غالب نسل بعد
	p	q	
G	GG	Gg	$q^2 = gg$ فراوانی افراد خالص مغلوب
p	pP	pq	
g	Gg	gg	
q	pP	pq	

فراوانی 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 ، $(p \times p = p^2)$ ، یا $(q \times q)gg$ باشند.

بنابراین می‌توان این رابطه را برای جمعیت نوشت: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

😊 **مثال ۴-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ فراوانی الل تالاسمی، $0/3$ باشد در این صورت:

الف) فراوانی الل غالب را به دست آورید.

ب) چند درصد افراد جمعیت به تالاسمی مینور مبتلا هستند؟

ج) فراوانی زنان هوموزیگوس سالم را در این جمعیت محاسبه کنید.

▼ پاسخ:

الف) $p + q = 1 \Rightarrow p + 0/3 = 1 \Rightarrow p = 0/7$

ب) چون افراد مینور همان افراد ناخالص هستند پس:

$$2pq = 2 \times 0/3 \times 0/7 = 0/42$$

ج) $(p^2) = (0/7)^2 = 0/49 \Rightarrow 0/49 \times \frac{1}{2} = 0/245$

فراوانی زنان هوموزیگوس سالم

😊 **مثال ۵-۹:** اگر در یک جمعیت ۱۰۰ نفری با تعادل هاردی واینبرگ، تعداد الل

تالاسمی ۶۰ عدد باشد در این صورت:

الف) فراوانی هر یک از الل‌های غالب و مغلوب را محاسبه کنید.

ب) چه تعداد از افراد جمعیت دارای الل تالاسمی هستند؟

ج) فراوانی مردان هتروزیگوس را در این جمعیت محاسبه کنید.

▼ پاسخ:

الف) چون هر دو فرد دو الل دارد لذا: کل الل $200 = 2 \times 100$ نفر

$$\text{فراوانی الل تالاسمی} = \frac{60}{200} = 0.3 \Rightarrow p + q = 1 \Rightarrow p + 0.3 = 1$$

$$\Rightarrow p = 0.7 \text{ فراوانی الل غالب}$$

ب) هم افراد مینور و هم افراد ماژور دارای الل تالاسمی اند بنابراین:

$$q^2 + 2pq \Rightarrow (0.3)^2 + 2(0.7)(0.3) = 0.51 \times 100 = 51 \text{ نفر}$$

$$\text{ج) فراوانی مردان هتروزیگوس} = \frac{1}{2} \times 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times (0.7)(0.3) = 0.21$$

😊 **مثال ۶-۹:** در یک جمعیت ۱۰۰۰ نفری با تعادل هاردی واینبرگ، ۱۰ نفر مبتلا به زالی دیده می‌شوند، در این صورت:

الف) فراوانی الل‌های سالم و بیمار را محاسبه کنید.

ب) چند نفر از افراد جمعیت هموزیگوس سالم‌اند؟

▼ پاسخ:

$$\text{الف) } q^2 = \frac{10}{1000} = \frac{1}{100} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{1}{100}} \Rightarrow q = 0.1$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p + 0.1 = 1 \Rightarrow p = 0.9 \text{ فراوانی الل سالم}$$

$$\text{ب) } p^2 = (0.9)^2 = 0.81 = 81\% \Rightarrow 810 = 81\% \times 1000 \text{ فراوانی افراد هموزیگوس سالم}$$

😊 **مثال ۷-۹:** اگر در یک جمعیت ۱۰۰۰ نفری با تعادل هاردی واینبرگ، ۶۴۰ نفر

مبتلا به بیماری هانتینگتون باشند در این صورت:

الف) چند نفر از افراد جمعیت هتروزیگوس‌اند؟

ب) فراوانی زنان هتروزیگوس را در این جمعیت محاسبه کنید؟

▼ پاسخ:

چون هانتینگتون بیماری غالب است لذا:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1000$$

360 سالم 640 هانتینگتون

$$q^2 = \frac{360}{1000} = 0.36 \Rightarrow q = 0.6$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p + 0.6 = 1 \Rightarrow p = 0.4$$

$$2pq = 2 \times 0.4 \times 0.6 = 0.48 \text{ الف)}$$

$$\frac{1}{2} \times 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times 0.4 \times 0.6 = 0.24 \text{ ب)}$$

😊 **مثال ۸-۹:** اگر در یک جمعیت ۱۰۰۰ نفری با تعادل هاردی واینبرگ، ۶۴۰ نفر از افراد که توانایی چشیدن مزه‌ی ماده شیمیایی فنیل تیوکاربامید (PTC) را دارند به صورت هوموزیگوس باشند در این صورت:

الف) فراوانی زنان هتروزیگوس را در این جمعیت محاسبه کنید.

ب) چه نسبتی از جمعیت زنان، فاقد این توانایی هستند؟

▼ پاسخ:

توانایی چشیدن مزه‌ی PTC صفتی غالب است، بنابراین:

$$\text{الف) } p^2 = \frac{640}{1000} = 0.64 \quad \text{فراوانی افراد هوموزیگوس با توانایی چشیدن ماده PTC}$$

$$\Rightarrow p = \sqrt{0.64} \Rightarrow p = 0.8$$

$$p + q = 1 \Rightarrow 0.8 + q = 1 \Rightarrow q = 0.2$$

$$\frac{1}{2} 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times 0.8 \times 0.2 = 0.16 \quad \text{فراوانی زنان هتروزیگوس}$$

ب) چون در این سؤال اشاره شده چه نسبتی از جمعیت زنان، فاقد این توانایی هستند نه

چه نسبتی از افراد جمعیت، زنان فاقد این توانایی می‌باشند پس نباید در نسبت $\frac{1}{2}$

$$\text{ضرب کنید. } q^2 = (0.2)^2 = 0.04 \Rightarrow 4\% \text{ از جمعیت زنان سالم هستند}$$

😊 **مثال ۹-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ فراوانی افراد ناقل هشت برابر افراد زال باشد چه نسبتی از افراد جمعیت، زنانی کاملاً سالم‌اند؟

▼ پاسخ:

$$2pq = 8q^2 \Rightarrow pq = 4q^2 \Rightarrow p = 4q$$

$$p + q = 1 \Rightarrow 4q + q = 1 \Rightarrow 5q = 1 \Rightarrow q = \frac{1}{5} \Rightarrow p = \frac{4}{5}$$

$$\frac{1}{2} p^2 = \frac{1}{2} \times \frac{16}{25} = \frac{8}{25} = 32\% \quad \text{زنان کاملاً سالم}$$

😊 **مثال ۱۰-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ، ۳۲٪ افراد جمعیت،

مردانی دارای لاله‌ی گوش پیوسته باشند، نسبت افراد هتروزیگوس به هوموزیگوس‌ها را به دست آورید.

▼ پاسخ:

لاله‌ی گوش پیوسته صفتی مغلوب و لاله‌ی گوش آزاد صفتی غالب است لذا:

$$\frac{1}{2}q^2 = 0/32 \text{ افراد جمعیت مردان دارای لاله‌ی گوش پیوسته}$$

$$q^2 = 0/64 \text{ افراد جمعیت دارای لاله‌ی گوش پیوسته}$$

$$q = \sqrt{0/64} \Rightarrow q = 0/8 \text{ فراوانی الل مغلوب}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p + 0/8 = 1 \Rightarrow p = 0/2$$

$$\frac{2pq \text{ (هتروزیگوس)}}{p^2 + q^2 \text{ (هوموزیگوس)}} = \frac{2 \times 0/2 \times 0/8}{(0/2)^2 + (0/8)^2} = \frac{8}{17}$$

😊 **مثال ۱۱-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ، فراوانی اللی که منجر به لوله کردن زبان می‌شود برابر با ۰/۴ باشد، نسبت افراد هوموزیگوس به فراوانی افراد غالب را به دست آورید.

▼ پاسخ:

لوله کردن زبان نسبت به عدم توانایی این عمل صفت غالب است لذا:

$$p = 0/4 \text{ و } p + q = 1 \Rightarrow q = 0/6$$

$$\frac{\text{افراد هوموزیگوس}}{\text{فنوتیپ غالب}} = \frac{p^2 + q^2}{p^2 + 2pq} = \frac{(0/4)^2 + (0/6)^2}{(0/4)^2 + 2(0/4)(0/6)} = \frac{13}{16}$$

😊 **مثال ۱۲-۹:** اگر در جمعیت یک میلیون نفری با تعادل هاردی واینبرگ، به ترتیب فراوانی الل‌های کم خونی داسی شکل و هانتینگتون ۰/۲ و ۰/۴ باشد، چند نفر مبتلا به هر دو بیماری می‌باشند؟

▼ پاسخ:

فراوانی هر دو بیماری را جداگانه به دست می‌آوریم سپس نتایج را در هم ضرب می‌کنیم:

$$\Rightarrow q = 0/2 \text{ فراوانی الل کم خونی داسی شکل}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 0/8$$

$$\Rightarrow q^2 = (0/2)^2 = 0/4 \text{ فراوانی افراد کم خونی داسی شکل}$$

$$\Rightarrow p = 0/4 \text{ فراوانی الل هانتینگتون}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow q = 0/6$$

$$\text{فراوانی افراد هانتینگتون} = p^2 + 2pq = (0/4)^2 + 2 \times (0/4)(0/6) = 0/64$$

$$\Rightarrow \frac{4}{100} \times \frac{64}{100} \times 1000000 = 25600 \text{ افراد مبتلا به هر دو بیماری}$$

😊 **مثال ۱۳-۹:** اگر فراوانی الل هموفیلی در یک جمعیت متعادل برابر با $0/2$ باشد موارد زیر را بدست آورید:

- (الف) چه نسبتی از جمعیت مردان، مبتلا به بیماری هموفیل اند؟
 (ب) چه نسبتی از افراد جمعیت، مردانی مبتلا به بیماری هموفیلی اند؟
 (ج) چه نسبتی از جمعیت زنان، ناقل بیماری هموفیلی اند؟
 (د) چه نسبتی از افراد جمعیت، ناقل بیماری هموفیلی اند؟

▼ **پاسخ:**

در مورد بیماری وابسته به جنس باید توجه داشته باشید که مردان دارای یک الل $(X^H Y, X^h Y)$ ولی زنان دارای دو الل $(X^H X^H, X^H X^h, X^h X^h)$ هستند. بنابراین اگر فراوانی الل هموفیلی را با q و فراوانی الل سالم آن را با p نشان دهیم پاسخ پرسش ها به صورت زیر خواهد بود:

(الف) (فراوانی مردان هموفیل در جمعیت مردان) $0/2$ یا 20% $X^h Y = q = 0/2$
 (ب) (فراوانی مردان هموفیل در کل جمعیت)

$$\frac{1}{2} X^h y = \frac{1}{2} q = \frac{1}{2} \times 0/2 = 0/1 \text{ یا } 10\%$$

(ج) (فراوانی زنان ناقل هموفیل در جمعیت زنان):

$$X^H X^h = 2pq = 2 \times 0/8 \times 0/2 = 0/32$$

(د) (فراوانی افراد ناقل (زنان) هموفیل در جامعه):

$$\frac{1}{2} X^H X^h = \frac{1}{2} 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times 0/8 \times 0/2 = 0/16$$

😊 **مثال ۱۴-۹:** اگر در یک جمعیت متعادل، 8% افراد جامعه، زنانی مبتلا به بیماری دیستروفی عضلانی دوشن باشند، در این صورت:

- (الف) چه نسبتی از جمعیت مردان، مبتلا به این بیماری هستند؟
 (ب) چه نسبتی از افراد جمعیت، زنان ناقل این بیماری اند؟
 (ج) نسبت افراد دارای الل بیماری به افراد سالم چقدر است؟

▼ **پاسخ:**

بیماری دیستروفی عضلانی دوشن همانند بیماری هموفیلی یک بیماری وابسته به جنس مغلوب است بنابراین مردان دارای یک الل $(X^D Y, X^d Y)$ ولی زنان دارای دو الل $(X^D X^D, X^D X^d, X^d X^d)$ هستند. اگر فراوانی الل دیستروفی را با q و فراوانی الل سالم آن را با p نشان دهیم پاسخ پرسش ها به صورت زیر خواهد بود:

$\frac{1}{2}X^dX^d = \frac{1}{2}q^2 =$ فراوانی زنان مبتلا به بیماری دیستروفی در جامعه

$$\frac{1}{2}X^dX^d = \frac{1}{2}q^2 = \%8 \Rightarrow q^2 = \%16 \Rightarrow q = \sqrt{\%16} \Rightarrow q = .4$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 1 - .4 = .6$$

الف) (فراوانی مردان مبتلا به دیستروفی دوشن در جمعیت مردان)

$$X^dY = q = .4 \text{ یا } \%40$$

ب) (فراوانی زنان ناقل در کل جمعیت):

$$\frac{1}{2}X^DX^d = \frac{1}{2}2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times .6 \times .4 = .24$$

ج) افراد دارای الل بیماری یعنی مردان بیمار (X^dY)، زنان بیمار (X^dX^d) و زنان ناقل (X^DX^d) و افراد سالم یعنی مردان سالم (X^DY)، زنان سالم (X^DX^D, X^DX^d)، حالا اگر بخواهیم نسبت افراد دارای الل بیماری به افراد سالم را با فرمول نشان دهیم به صورت زیر می باشد:

$$\frac{q + q^2 + 2pq}{p + p^2 + 2pq} = \frac{\frac{4}{10} + \frac{16}{100} + \frac{48}{100}}{\frac{6}{10} + \frac{36}{100} + \frac{48}{100}} = \frac{13}{18}$$

😊 **مثال ۱۵-۹:** اگر فراوانی هر یک از الل‌های I^A و I^B برابر با 0.2 باشد، فراوانی هر یک از گروه‌های خونی را در یک جمعیت با تعادل هاردی واینبرگ محاسبه کنید.

▼ پاسخ:

$$I^A + I^B + i = 1 \Rightarrow .2 + .2 + i = 1$$

$$i = .6$$

$$A \text{ گروه خونی} = I^A I^A + 2I^A i \Rightarrow (.2)(.2) + 2(.2)(.6) = \%28$$

$$B \text{ گروه خونی} = I^B I^B + 2I^B i \Rightarrow (.2)(.2) + 2(.2)(.6) = \%28$$

$$O \text{ گروه خونی} = ii \Rightarrow (.6)(.6) = .36 = \%36$$

$$AB \text{ گروه خونی} = 2I^A I^B \Rightarrow 2(.2)(.2) = .08 = \%8$$

😊 **مثال ۱۶-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ، ۶۴٪ افراد دارای گروه خونی O باشند و همچنین فراوانی الل گروه خونی I^A دو برابر فراوانی الل I^B باشد در این صورت چه نسبتی از افراد جمعیت دارای گروه خونی AB هستند.

▼ پاسخ:

$$O \text{ فراوانی الل} = \sqrt{0.64} = 0.8 \Rightarrow i = 0.64 \Rightarrow \text{فراوانی گروه خونی O} = 0.8$$

$$I^A + I^B + i = 1 \Rightarrow 2I^B + I^B + i = 1 \Rightarrow 3I^B + 0.8 = 1 \Rightarrow$$

$$3I^B = 0.2 \Rightarrow I^B = \frac{0.2}{3} \Rightarrow I^A = \frac{0.4}{3}$$

$$AB \text{ فراوانی گروه خونی} = 2I^A I^B = 2 \times \frac{0.4}{3} \times \frac{0.2}{3} = \frac{0.16}{9} \approx 1.77\%$$

😊 **مثال ۱۷-۹:** اگر در یک جمعیتی با تعادل هاردی واینبرگ، فراوانی الل گروه خونی I^A دو برابر فراوانی هر یک از الل‌های I^B و i باشد در این صورت چه نسبتی از افراد جمعیت دارای گروه خونی AB هستند.

▼ پاسخ:

$$I^A + I^B + i = 1 \Rightarrow I^A + \frac{1}{2}I^A + \frac{1}{2}I^A = 1 \Rightarrow 2I^A = 1 \Rightarrow I^A = \frac{1}{2}$$

$$I^A = 2I^B \Rightarrow \frac{1}{2} = 2I^B \Rightarrow I^B = \frac{1}{4}$$

$$AB \text{ فراوانی گروه خونی} = 2I^A I^B = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4} = 25\%$$

تست‌های کنکور سراسری

🕒 **تست ۱-۹:** در جمعیتی که یک درصد افراد آن کم خونی شدید گلبول‌های قرمز داسی شکل مبتلا هستند انتظار داریم که چند درصد این جمعیت زنان هوموزیگوس غالب باشند؟ (طبق قوانین احتمالات)

(سراسری ۸۱)

۴۰/۵ (۲)

۱۸ (۱)

۸۱ (۴)

۴۹/۵ (۳)

▼ پاسخ:

$$q^2 = \frac{1}{100} \text{ فرآوانی افراد دارای الل کم خونی داسی شکل}$$

$$q = \sqrt{\frac{1}{100}} = \frac{1}{10} \text{ فرآوانی الل کم خونی}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 0.9$$

$$\text{فرآوانی زنان هوموزیگوس غالب} = \frac{1}{2} p^2 = \frac{1}{2} (0.9)^2 = 0.405$$

گزینه‌ی «۲» صحیح است.

🕒 **تست ۲-۹:** در یک جمعیت متعادل (از نظر هاردی واینبرگ) فرآوانی الل غالب برابر ۰/۴ باشد انتظار داریم فرآوانی افراد مغلوب در نسل بعد چند درصد باشد؟

(سراسری خارج کشور ۸۴)

۶ (۲)

۴ (۱)

۳۶ (۴)

۱۶ (۳)

▼ پاسخ:

$$p = 0.4 \text{ فرآوانی الل غالب}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow q = 1 - 0.4 = 0.6$$

$$q^2 = (0.6)^2 = 0.36 \text{ فرآوانی افراد مغلوب}$$

گزینه‌ی «۴» صحیح است.

🕒 **تست ۳-۹:** اگر در جمعیت فرآوانی افرادی با لاله‌ی (نرمه‌ی) گوش آزاد ۰/۹۱ باشد فرآوانی پسران ناخالص با لاله‌ی گوش آزاد چند درصد می‌شود؟

(سراسری ۸۴)

۱۰/۵ (۲)

۹ (۱)

۴۲ (۴)

۲۱ (۳)

▼ پاسخ:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1 \Rightarrow 0.91 + q^2 = 1 \Rightarrow q^2 = 0.09 \Rightarrow q = \sqrt{\frac{9}{100}} = 0.3$$

لاله گوش پیوسته

لاله گوش آزاد

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 0.7$$

$$\text{فرآوانی پسران ناخالص} = \frac{1}{2} 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times 0.7 \times 0.3 = 0.21 = 21\%$$

گزینه‌ی «۳» صحیح است.

🕒 **تست ۴-۹:** در جمعیتی در حال تعادل تعداد زنان و مردان برابر است. اگر فراوانی ژن تالاسمی ۵٪ باشد فراوانی زنان ناقل در این جمعیت چند درصد است؟

(سراسری ۸۷)

- (۱) ۴/۷۵ (۲) ۹/۵ (۳) ۱۴/۵ (۴) ۱۹

▼ پاسخ:

$$q = \frac{5}{100} = \text{فراوانی ژن (الل) تالاسمی}$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = \frac{95}{100}$$

$$\text{فراوانی زنان ناقل} = \frac{1}{2} 2pq = \frac{1}{2} \times 2 \times \frac{5}{100} \times \frac{95}{100} = 4.75\%$$

گزینه‌ی «۱» صحیح است.

🕒 **تست ۵-۹:** در جمعیتی متعادل، نوعی بیماری دو اللی اتوزومی مغلوب، شایع است.

اگر فراوانی الل غالب $\frac{3}{5}$ باشد، درصد مردان بیمار در این جمعیت درصد

(سراسری خارج کشور ۸۷)

است.

- (۱) چهار (۲) هشت
(۳) شانزده (۴) بیست و چهار

▼ پاسخ:

$$p = \frac{3}{5} = \text{فراوانی ال غالب}$$

$$q = \frac{2}{5} = \text{فراوانی الل مغلوب}$$

$$\text{درصد مردان بیمار} = \frac{1}{2} q^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5}\right)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{4}{25} = 8\%$$

گزینه‌ی «۲» صحیح است.

🕒 **تست ۶-۹:** صفتی تحت کنترل ۴ الل (a_1, a_2, a_3, a_4) است که (a_1) بر همه‌ی

الل‌ها غالب و فراوانی آن دو برابر فراوانی هر کدام از سایر الل‌هاست؛ مطلوب است،

(سراسری خارج کشور ۸۹)

فراوانی افرادی که فنوتیپ a_1 را دارند؟

- (۱) $\frac{4}{25}$ (۲) $\frac{8}{25}$
(۳) $\frac{12}{25}$ (۴) $\frac{16}{25}$

▼ پاسخ:

$$\frac{1}{2}a_1 = a_2 = a_3 = a_4$$

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1 \Rightarrow a_1 = \frac{2}{5} \text{ و } a_2 = \frac{1}{5} \text{ و } a_3 = \frac{1}{5} \text{ و } a_4 = \frac{1}{5}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} a_1 a_1 = \frac{2}{5} \times \frac{2}{5} \\ 2a_1 a_2 = 2 \times \frac{2}{5} \times \frac{1}{5} \\ 2a_1 a_3 = 2 \times \frac{2}{5} \times \frac{1}{5} \\ 2a_1 a_4 = 2 \times \frac{2}{5} \times \frac{1}{5} \end{array}$$

ژنوتیپ‌هایی که دارای فنوتیپ a_1 هستند.

$$\frac{4}{25} + \frac{4}{25} + \frac{4}{25} + \frac{4}{25} = \frac{16}{25}$$

گزینه‌ی «۴» صحیح است.

🕒 **تست ۷-۹:** در جمعیتی از مارمولک‌ها که تعادل هادری-واینبرگ برقرار می‌باشد، فراوانی افراد فاقد پرده‌ی شنا در پاها ۸۴٪ است. فراوانی مارمولک‌های نر دارای پرده‌ی شنا به افراد هموزیگوس کدام است؟ (با فرض این که الل مربوط به پاهای فاقد پرده‌ی شنا صفتی اتوزومی و بر الل مربوط به وجود پرده‌ی شنا در پاها غالب است.)

(سراسری خارج کشور ۸۹)

$$\frac{4}{13} \quad (۴) \qquad \frac{2}{13} \quad (۳) \qquad \frac{2}{6} \quad (۲) \qquad \frac{1}{16} \quad (۱)$$

▼ پاسخ:

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

۸۴٪ غالب

$$q^2 = 1 - 0.84 = 0.16 \Rightarrow$$

$$q = \sqrt{0.16} = 0.4$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 0.6$$

$$\frac{\frac{1}{2}q^2 \text{ (نر دارای پرده‌ی شنا)}}{p^2 + q^2} = \frac{\frac{1}{2} \times 0.16}{0.36 + 0.16} = \frac{2}{13}$$

گزینه‌ی «۳» صحیح است.

تست ۸-۹: ۱۶٪ افراد جمعیت در حال تعادلی، مبتلا به کم‌خونی گلبول‌های داسی شکل هستند، نسبت دختران ناقل بیماری به افراد خالص این جمعیت، ... است.

(سراسری ۹۰)

$$\begin{array}{l} \frac{2}{3} \quad (1) \\ \frac{6}{13} \quad (3) \\ \frac{3}{13} \quad (2) \\ \frac{12}{13} \quad (4) \end{array}$$

پاسخ: ▼

$$q^2 = 0.16 \Rightarrow q = \sqrt{0.16} \Rightarrow q = 0.4$$

$$p + q = 1 \Rightarrow p = 0.6$$

$$\frac{\frac{1}{2} \times 2pq}{p^2 + q^2} = \frac{0.6 \times 0.4}{0.36 + 0.16} = \frac{6}{13}$$

گزینه‌ی «۳» صحیح است.

تست ۹-۹: در جمعیتی متعادل، فراوانی ال‌های $A = 0.5$ ، $B = 0.2$ و $O = 0.3$ فرض شده است. چند درصد از افراد این جامعه، حداقل یک ژن A خواهند داشت؟

(سراسری خارج کشور ۹۰)

$$40 \quad (1) \quad 50 \quad (2) \quad 60 \quad (3) \quad 75 \quad (4)$$

پاسخ: ▼

با توجه به جدول زیر:

ال‌های گروه خونی	I^A	I^B	i
I^A	$I^A I^A$	$I^A I^B$	$I^A i$
I^B	$I^A I^B$	$I^B I^B$	$I^B i$

$$I^A I^A + 2I^A i + 2I^A I^B$$

$$(0.5 \times 0.5) + 2(0.5 \times 0.3) + 2(0.5 \times 0.2) = 0.75$$

گزینه‌ی «۴» صحیح است.

عوامل برهم زنده‌ی تعادل هاردی - واینبرگ

برای برقراری تعادل هاردی واینبرگ نباید جهش، شارش ژن، آمیزش‌های غیرتصادفی، رانش ژن و انتخاب طبیعی رخ دهد. اگر این عوامل رخ دهند، جمعیت از تعادل خارج می‌شود.

۱- جهش: جهش همواره رخ می‌دهد و هیچ روشی برای متوقف کردن آن شناخته نشده است. معمولاً جهش را عامل اصلی تغییر فراوانی الل‌ها در نظر نمی‌گیرند چون آهنگ جهش برای بسیاری از ژن‌ها اندک است. مهم‌ترین نقش جهش ایجاد تنوع در جمعیت است ولی جهت آن را تعیین نمی‌کند.

😊 **مثال ۱۸-۹:** اگر در هنگام آمیزش جمعیت مقابل $400 \cdot RR + 200 \cdot RW + 400 \cdot WW$ ، ۲۰۰ آلل R به W جهش یابد فراوانی الل‌های تغییر یافته نسل بعد را به دست آورید.

▼ پاسخ:

$$R = \frac{400 \times 2 + 200 \times 1 - 200}{1000 \times 2} = 0.4$$

$$R + W = 1 \Rightarrow W = 1 - 0.4 = 0.6$$

😊 **مثال ۱۹-۹:** اگر ۶۴٪ افراد یک جمعیت در حال تعادل هاردی واینبرگ مبتلا به بیماری هانتینگتون باشند و در اثر جهش ۲۰ آلل هانتینگتون به الل سالم جهش یابد چند درصد افراد نسل بعد سالم خواهند بود؟

▼ پاسخ:

ابتدا فراوانی هر یک از الل‌های سالم و بیمار را محاسبه می‌کنیم، سپس فراوانی الل جهش‌یافته را از الل بیماری کم و به فراوانی الل سالم اضافه می‌کنیم:

$$\underbrace{p^2 + 2pq}_{\text{هانتینگتون}} + \underbrace{q^2}_{\text{سالم}} = 1 \Rightarrow 0.64 + q^2 = 1 \Rightarrow q^2 = 1 - 0.64 \Rightarrow$$

$$\text{فراوانی الل سالم } q^2 = 0.36 \Rightarrow q = 0.6$$

$$\text{فراوانی الل هانتینگتون } p + q = 1 \Rightarrow p = 1 - 0.6 \Rightarrow p = 0.4$$

$$\text{فراوانی جهش} = \frac{\text{تعداد الل جهش‌یافته}}{\text{کل الل‌ها}} = \frac{20}{2 \times 100} = \frac{20}{200} = 0.1$$

$$\text{اثر جهش} \begin{cases} p = 0.4 - 0.1 = 0.3 \\ q = 0.6 + 0.1 = 0.7 \end{cases} \Rightarrow q^2 = (0.7)^2 = 0.49 = 49\%$$

فراوانی افراد سالم نسل بعد

۲- شارش ژن: شارش ژن (مهاجرت افراد) با تغییر خزانه‌ی ژنتیکی جمعیت‌ها و یا تغییر فراوانی الل‌ها می‌تواند تعادل هاردی - واینبرگ را در یک جمعیت برهم زند. شارش

یک طرفه‌ی ژن، می‌تواند باعث افزایش تنوع در جمعیت مقصد شود. شارش‌های دو طرفه موجب افزایش تنوع درون جمعیت‌ها شده ولی از تنوع بین جمعیت‌ها کم می‌کند به عنوان مثال اگر دو جمعیت مجزا از کبوترهای سفید و قهوه‌ای داشته باشیم در اثر مهاجرت دو طرفه، هر جمعیت به پرندگانی با رنگ‌های قهوه‌ای و سفید تبدیل می‌شوند از اینرو دو جمعیت متفاوت قبل از شارش، بعد از مهاجرت دوطرفه عملاً به یک جمعیت تبدیل می‌شوند.

😊 **مثال ۲۰-۹:** پس از مهاجرت ۱۰۰ فرد با فنوتیپ مغلوب به جمعیت،

$$100 \cdot aa + 200 \cdot Aa + 100 \cdot AA$$

▼ **پاسخ:**

۱۰۰ فرد با فنوتیپ مغلوب یعنی ۲۰۰ الل مغلوب به جمعیت اضافه شده لذا:

$$a \text{ فراوانی الل} = \frac{200 \cdot (Aa) \times 1 + 100 \cdot (aa) \times 2 + 200 \cdot (\text{الل شارش یافته})}{400 \times 2 + 200 \cdot (\text{الل شارش یافته})}$$

$$a = \frac{600}{1000} = 0.6 \text{ فراوانی الل مغلوب}$$

$$A + a = 1 \Rightarrow A = 1 - 0.6 = 0.4 \text{ فراوانی الل غالب}$$

😊 **مثال ۲۱-۹:** اگر در اثر مهاجرت افراد، ۱۰۰ فرد مینور از جمعیت

$$100 \cdot cc + 200 \cdot Cc + 100 \cdot CC$$

آورید.

▼ **پاسخ:**

ترکیب جمعیتی جدید پس از خروج ۱۰۰ فرد مینور از جمعیت:

$$100 \cdot CC + 100 \cdot Cc + 100 \cdot cc$$

$$C \text{ فراوانی الل غالب} = \frac{100 \cdot (CC) \times 2 + 100 \cdot (Cc) \times 1}{300 \times 2} = \frac{300}{600} = 0.5$$

$$C + c = 1 \Rightarrow c = 1 - 0.5 = 0.5 \text{ فراوانی الل مغلوب}$$

😊 **مثال ۲۲-۹:** اگر در اثر مهاجرت، ۲۰۰ الل مغلوب به جمعیت $100 \cdot AA + 200 \cdot Aa + 100 \cdot aa$ وارد شوند، فراوانی الل‌ها را به دست آورید.

▼ **پاسخ:**

۲۰۰ الل مغلوب یعنی معادل ۱۰۰ فرد با فنوتیپ مغلوب به جمعیت اضافه شدند لذا:

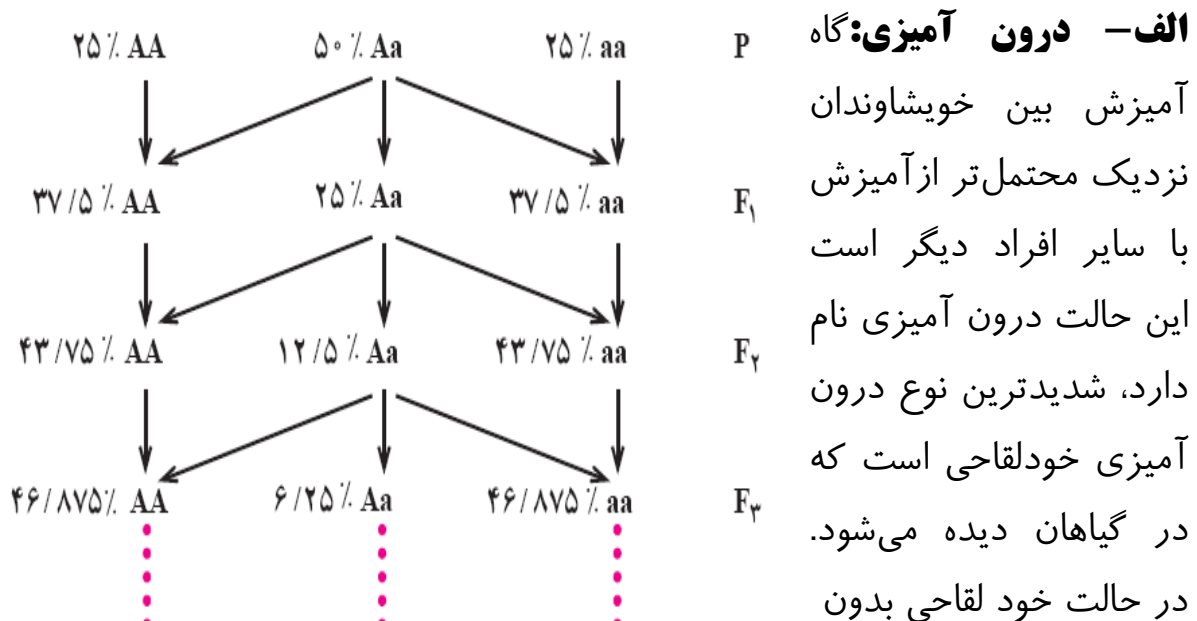
$$\text{فراوانی الل } a = \frac{200 \cdot (Aa) \times 1 + 100 \cdot (aa) \times 2 + 200 \cdot (\text{الل شارش یافته})}{400 \times 2 + 200 \cdot (\text{الل شارش یافته})}$$

$$\text{فراوانی الل مغلوب } a = \frac{600}{1000} = 0.6$$

$$A + a = 1 \Rightarrow A = 1 - 0.6 = 0.4$$

فراوانی الل غالب $A = 0.4$

۳- آمیزش‌های غیر تصادفی: سه نوع آمیزش غیر تصادفی در طبیعت رخ می‌دهد. این آمیزش‌ها بیش‌تر در مورد جوامع محدودی که تحت کنترل بشر هستند صورت می‌گیرند (انتخاب مصنوعی). آمیزش‌های غیر تصادفی عبارتند از درون آمیزی، آمیزش‌های همسان پسندانه و آمیزش‌های ناهمسان پسندانه.



اینکه فراوانی اللی تغییر کند، افراد هتروزیگوس از جمعیت حذف شده و جمعیت به دو گروه تقسیم می‌گردد: یک گروه هموزیگوس غالب (AA) و یک گروه هموزیگوس مغلوب (aa). همان‌طور که در بالا مشاهده می‌کنید، وقتی دو فرد هتروزیگوس با هم آمیزش می‌کنند، در نسل بعد ۵۰٪ از فراوانی هتروزیگوس‌ها کاسته و به فراوانی هموزیگوس‌ها افزوده می‌شود (۲۵٪ به هموزیگوس مغلوب و ۲۵٪ به هموزیگوس غالب).

😊 مثال ۲۳-۹: اگر فراوانی ژنوتیپ یک جمعیت به صورت:

$$0.25aa + 0.50Aa + 0.25AA$$

افراد جمعیت هموزیگوت می‌شوند؟

▼ پاسخ:

زمانی فراوانی هموزیگوس‌ها بیش از ۹۹٪ می‌شود که فراوانی هتروزیگوس‌ها کم‌تر از ۱٪ شود، حال اگر فراوانی افراد هتروزیگوس را آن قدر بر ۲ تقسیم کنیم تا مقدار آن از ۱

کم‌تر شود می‌توانیم تعداد نسل‌ها را به دست آوریم:

$$\text{نسل اول } Aa: \frac{50}{2} = 25$$

$$\text{نسل دوم: } \frac{25}{2} = 12.5$$

$$\text{نسل سوم: } \frac{12.5}{2} = 6.25$$

$$\text{نسل چهارم: } \frac{6.25}{2} = 3.125$$

$$\text{نسل پنجم: } \frac{3.125}{2} = 1.5625$$

$$\text{نسل ششم: } \frac{1.5625}{2} < 1$$

😊 مثال ۲۴-۹: بعد از سه نسل خودلقاحی افراد جمعیتی با ترکیب

$$40 \cdot RR + 80 \cdot RW + 40 \cdot WW$$

تعداد گل‌های قرمز چه تغییری می‌کند؟

▼ پاسخ:

$$40 \cdot RR + 80 \cdot RW + 40 \cdot WW$$

↓

$$40 \cdot$$

↓

$$20 \cdot$$

↓

$$10 \cdot RW \text{ (در نسل سوم)}$$

$$80 \cdot (P) - 10 \cdot (F_p) = 70 \cdot$$

$$70 \cdot \div 2 = 35 \cdot \Rightarrow 40 \cdot RR + 35 \cdot = 75 \cdot RR$$

😊 **مثال ۲۵-۹:** بعد از ۷ نسل خودلقاحی افراد جمعیتی با ترکیب $40 \cdot RR + 80 \cdot RW + 40 \cdot WW$ فراوانی ال R را به دست آورید؟

▼ **پاسخ:**

چون در خودلقاحی فراوانی ال‌ها تغییر نمی‌کند لذا نیاز به ۷ نسل خودلقاحی افراد نیست و می‌توانیم فراوانی ال R را در همین نسل محاسبه کنیم:

$$R = \frac{40 \cdot (RR) \times 2 + 80 \cdot (RW) \times 1}{1600 \times 2} = 0.5$$

😊 **مثال ۲۶-۹:** بعد از ۳ نسل خودلقاحی افراد جمعیتی با ترکیب $0.64AA + 0.32Aa + 0.04aa$ چند درصد به جمعیت فنوتیپ مغلوب اضافه

می‌شود؟

▼ **پاسخ:**

$$0.64AA + 0.32Aa + 0.04aa$$

↓

$$0.16Aa$$

↓

$$0.08Aa$$

↓

$$0.04Aa$$

$$0.28 \div 2 = 0.14 \Rightarrow 0.32 (P) - 0.04 (F_p) = 0.28 \Rightarrow$$

$$(0.64 + 0.14)AA + 0.04Aa + (0.04 + 0.14)aa$$

ترکیب جمعیت پس از ۳ نسل خودلقاحی: $0.78AA + 0.04Aa + 0.18aa$

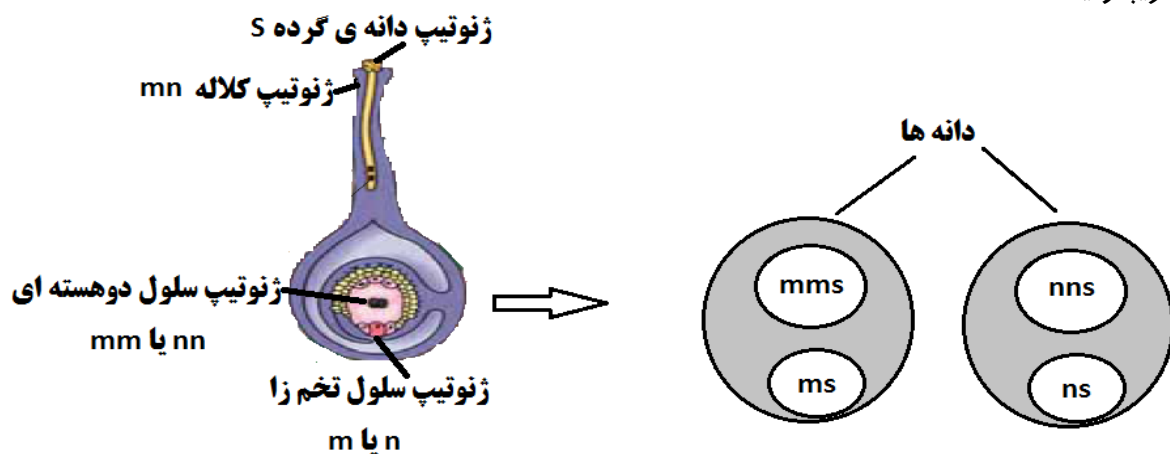
ب- آمیزش همسان پسندانه: در صورتی که افراد مورد آمیزش بیش از حد معمول به یکدیگر مشابه باشند، این آمیزش را همسان پسندانه می‌نامند. این تشابه ممکن است بر مبنای فنوتیپ (قد بلند با قد بلند و یا قد کوتاه با قد کوتاه) و یا ژنوتیپ $(AA \times AA)(Aa \times Aa)(aa \times aa)$ باشد.

ج- آمیزش ناهمسان پسندانه: آمیزش بین دو فرد که با هم تفاوت‌های فنوتیپی و ژنوتیپی دارند، برقرار می‌شود. در این نوع آمیزش از فراوانی افراد هموزیگوس کم و بر جمعیت هتروزیگوس‌ها افزوده می‌شود.

در بعضی از گیاهان یک ژن خودناسازگار، مانع از آمیزش‌های همسان پسندانه و یا خودلقاحی شده، از این طریق آمیزش ناهمسان پسندانه را موجب می‌شود. به عنوان مثال در گیاه شبدر ژن خود ناسازگار یک ژن چند الی است، ال‌های ژن خود ناسازگار

کلاله، مانع از رشد لوله‌ی گرده‌ی دارای ژن مشابه خود شده و از این طریق مانع از آمیزش همسان پسندانه می‌شوند.

در شکل ۱-۹ اگر ژنوتیپ کلاله، mn باشد در کیسه رویانی ژنوتیپ سلول تخم‌زا m یا n و ژنوتیپ سلول دوهسته‌ای mm یا nn می‌شود در کلاله‌ی mn دانه‌های گرده‌ی با ژنوتیپ m یا n نمی‌توانند رشد کنند ولی دانه‌ی گرده‌ی با ژنوتیپ متفاوت با کلاله مثلاً S می‌تواند رشد کند. بعد از لقاح مضاعف دو نوع دانه ایجاد خواهد شد، دانه‌ای با سلول‌های تخم دیپلوئید ns و تریپلوئید nns و یا دانه‌ای با سلول‌های تخم دیپلوئید ms و تریپلوئید mms .



شکل ۱-۹: عملکرد ژن خودناسازگار در گیاه شبدر.

نکته‌ی ۱-۹: آلل‌های ژن خودناسازگار مانع پیدایش رویان هموزیگوس و همچنین

رویان مشابه ژنوتیپ گیاه ماده می‌شود.

😊 **مثال ۲۷-۹:** اگر در گیاه شبدر، سلول تخم دیپلوئید تشکیل شده دارای ژنوتیپ xy باشد و ژنوتیپ کلاله نیز xz باشد، ژنوتیپ سلول تخم تریپلوئید و دانه‌ی گرده‌ای که در لقاح شرکت داشته را مشخص کنید. (الل‌های x ، y و z مربوط به الل‌های ژن خودناسازگارند.)

▼ **پاسخ:**

چون کلاله دارای الل x می‌باشد لذا می‌توان نتیجه گرفت ژنوتیپ دانه‌ی گرده y بوده و ژنوتیپ سلول تخم تریپلوئید نیز xyy خواهد بود.

😊 **مثال ۲۸-۹:** از دگر لقاحی گیاه ذرت نر با ژنوتیپ A_1A_2 و گیاه ذرت ماده‌ی با ژنوتیپ سلول A_1A_3 چقدر احتمال دارد دانه‌ی دارای اندوخته‌ی با ژنوتیپ $A_3A_3A_1$ به وجود آید؟ (الل‌های A_3 ، A_2 و A_1 مربوط به الل‌های ژن خودناسازگارند).

▼ **پاسخ:**

گیاه ذرت نر دو نوع دانه‌ی گرده با ژنوتیپ‌های A_1 و A_2 تولید می‌کند چون دانه‌ی گرده‌ی A_1 مشابه یکی از الل‌های کلاله می‌باشد لذا می‌توان نتیجه گرفت که این دانه هیچ شانس‌ی برای لقاح با سلول‌های دو هسته‌ای A_1A_1 یا A_3A_3 نخواهد داشت. از این رو احتمال تشکیل دانه‌ای با سلول تریپلوئید $A_3A_3A_1$ صفر است.

😊 **مثال ۲۹-۹:** از دگر لقاحی گیاه ذرت نر با ژنوتیپ A_1A_2 و گیاه ذرت ماده‌ی با ژنوتیپ A_1A_3 چقدر احتمال دارد دانه‌ی دارای پوسته‌ی با ژنوتیپ A_1A_3 به وجود آید؟ (الل‌های A_1 ، A_2 ، A_3 مربوط به الل‌های ژن خودناسازگارند).

▼ **پاسخ:**

همان‌طور که در فصل ۸ عنوان شد پوشش دانه‌ها همیشه ژنوتیپی شبیه ژنوتیپ گیاه ماده را دارند چرا که از تغییر پوشش تخمک به وجود می‌آیند لذا ژنوتیپ پوشش دانه‌ها صد در صد A_1A_3 خواهد برد.

😊 **مثال ۳۰-۹:** اگر برای یک ژن خود ناسازگار در جمعیت گیاه شبدر ۵ الل وجود داشته باشد :

الف) چند نوع ژنوتیپ در این جمعیت وجود دارد ؟

ب) برای هر یک از کلاله‌های گیاهان شبدر، چند نوع دانه‌ی گرده قدرت رشد دارند؟

ج) اگر یک الل بر سایر الل‌ها غالب باشد و دیگر الل‌ها با هم رابطه‌ی غالب و مغلوبی نداشته باشند، چند نوع فنوتیپ در این جمعیت قابل انتظار است؟

▼ **پاسخ:**

الف) چون در حالت خودناسازگاری ژنی تشکیل ژنوتیپ‌های هوموزیگوس غیرممکن است از این رو در این جمعیت فقط ۱۰ نوع ژنوتیپ وجود دارد:

$$5 + \underbrace{4 + 3 + 2 + 1}_{\text{هتروزیگوس}} = 10$$

هوموزیگوس

ب) برای هر کلاله در حالت خودناسازگاری دو الل که شبیه الل‌های کلاله باشند

الل $n - 2 \Rightarrow 5 - 2 = 3$ نمی‌توانند رشد کنند لذا:

غالب

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5

(ج)

ژنوتیپ: $a_1a_2, a_1a_3, a_1a_4, a_1a_5, a_2a_3, a_2a_4, a_2a_5, a_3a_4, a_3a_5, a_4a_5$
 فنوتیپ: $a_1 \quad a_2a_3 \quad a_2a_4 \quad a_2a_5 \quad a_3a_4 \quad a_3a_5 \quad a_4a_5$

۴- رانش ژن: اگر یک جمعیت خیلی کوچک باشد، فراوانی یک الل می‌تواند با گذشت زمان کاملاً تصادفی کم یا زیاد شود و از این طریق تعادل جمعیت بر هم می‌خورد. رانش ژن همانند جهش فرایندی تصادفی و غیر جهت‌دار است و اثر آن در جمعیت‌های کوچک شدیدتر است و معمولاً به کاهش تنوع درون جمعیت می‌انجامد (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹: پدیده‌ی رانش ژن. در اثر رانش ژن، قورباغه‌های قهوه‌ای حذف و جمعیت قورباغه‌ها سبز شده است.

عواملی که موجب رانش ژن می‌شوند بر دو نوع‌اند:

الف- اثر تنگنا: در اثر یکی از سوانح طبیعی مثل سیل، زلزله، آتش سوزی و غیره رخ می‌دهد و بخشی از ژن‌های خزانه‌ی ژنی حذف می‌شوند. به نظر می‌رسد چیتاهای افریقایی (*Acinonyx jubatus jubatus*) به علت اثر تنگنا دچار رانش ژن شده‌اند و تنوع ژنتیکی در جمعیت آن‌ها کاهش یافته است و آن‌ها خیلی شبیه هم شده‌اند به طوری که پیوند پوست بین هر دو عضو این دو جمعیت امکان‌پذیر است.

ب- اثر بنیان‌گذار: با مهاجرت تعدادی از افراد یک جمعیت بزرگ به یک مکان جدید مثل یک جزیره رانش ژن رخ می‌دهد چرا که این جمعیت کوچک بعداً جمعیت بزرگی را بنیان‌گذاری می‌کنند که افراد آن بسیار شبیه هم خواهند بود مثلاً مردم فنلاند به دلیل اثر بنیان‌گذار رانش ژن بسیار شبیه هم هستند.

😊 **مثال ۳۱-۹:** در جمعیت ملخ‌ها، صفت طول شاخک یک صفت اتوزومی بوده

و الل شاخک بلند بر شاخک کوتاه غالب است. اگر فراوانی الل غالب در یک جمعیت صد هزرتایی برابر با $0/6$ باشد و بر اثر رانش ژن همه‌ی ملخ‌های شاخک کوتاه از بین بروند، فراوانی الل غالب در جمعیت باقی‌مانده

چقدر خواهد بود؟

▼ پاسخ:

$$L = 0/6 \Rightarrow L + I = 1 \Rightarrow I = 1 - 0/6 = 0/4$$

$$LL(0/6)^2 + LI(2 \times 0/6 \times 0/4) + II(0/4)^2 \Rightarrow$$

$$0/36LL + 0/48LI + 0/16II$$

$$100000 \text{ نفری جمعیت} = 3600 \cdot LL + 4800 \cdot LI + 1600 \cdot II$$

پس از رانش

$$\rightarrow 3600 \cdot LL + 4800 \cdot LI + 0 \cdot II \Rightarrow$$

$$L \text{ فراوانی الل} = \frac{3600 \cdot (LL) \times 2 + 4800 \cdot (LI) \times 1}{8400 \times 2} = 0/714$$

۵- انتخاب طبیعی: طبق نظریه‌ی انتخاب طبیعی داروین، افرادی که از نظر ویژگی‌های

فیزیکی و رفتاری با محیط خود تطابق بیش‌تر دارند، احتمال بقا و زادآوری آن‌ها نیز بیش‌تر است. انتخاب طبیعی یکی از مهمترین عوامل در تغییر یک جمعیت است.

انتخاب طبیعی با تغییر قدرت حاملین ژن‌ها، فراوانی الل‌ها را تغییر می‌دهد. به عنوان مثال اگر افراد هموزیگوس دارای قدرت تولید مثل بهتری نسبت به هتروزیگوس‌ها باشند، هتروزیگوس‌ها که سازگاری کم‌تری دارند، از طبیعت حذف می‌شوند.

برای اینکه بتوانیم یک توصیف کمی درباره‌ی اثر انتخاب طبیعی داشته باشیم، کمیته‌ی ژنتیکی موسوم به شایستگی تکاملی (Fitness) را تعریف می‌کنیم. شایستگی تکاملی هر فرد نشان می‌دهد که سهم نسبی او در تشکیل خزانه‌ی ژنی نسل بعد چقدر است. اگر یک ژنوتیپ صددرصد در خزانه‌ی ژنتیکی سهم داشته باشد شایستگی تکاملی آن ۱ و اگر هیچ سهمی نداشته باشد، شایستگی تکاملی آن صفر خواهد بود.

عواملی که در بقا یا موفقیت تولیدمثلی می‌توانند نقش داشته باشند عبارتند از: انتخاب جفت، تعداد دفعات جفت‌گیری، تولید گامت‌های سالم، تعداد زیگوت‌هایی که بوجود می‌آیند، تعداد زیگوت‌هایی که به نوزاد نمو می‌یابند، شانس زنده ماندن زاده تا رسیدن به سن تولید مثل و یا شانس زنده ماندن والدین در مواردی که زاده‌ها به مراقبت والدین نیاز دارند.

😊 **مثال ۳۲-۹:** اگر شایستگی تکاملی مگس‌های بال کوتاه ۰/۵ باشد، در

جمعیتی با ترکیب $10 \cdot II + 20 \cdot LI + 10 \cdot LL$ ، فراوانی ژنوتیپی و

فراوانی الل‌ها را در نسل بعد محاسبه کنید:

$$10 \cdot LL + 20 \cdot LI + 10 \cdot II$$

$\downarrow \times 1$ شایستگی تکاملی
 $\downarrow \times 1$
 $\downarrow \times 0.5$


$$10 \cdot LL + 20 \cdot LI + 5 \cdot II$$

$$L \text{ فراوانی ال} = \frac{10 \cdot (LL) \times 2 + 20 \cdot (LI) \times 1}{35 \cdot 2} = \frac{40 \cdot 2}{70 \cdot 2} = \frac{4}{7}$$

$$L + I = 1 \Rightarrow I = 1 - \frac{4}{7} = \frac{3}{7}$$

$$LL \left(\frac{4}{7}\right)^2 + LI \left(2 \times \frac{4}{7} \times \frac{3}{7}\right) + II \left(\frac{3}{7}\right)^2$$

$$LL \frac{16}{49} + LI \frac{24}{49} + II \frac{9}{49}$$

 **نکته ۲-۹:** انتخاب طبیعی بر فنوتیپ مؤثر است. در جمعیت مگس‌ها افراد

ناخالص، هم ال خوب (L) و هم ال بد (I) را دارند ولی چون فنوتیپ مطلوب (بال بلند) را دارند، انتخاب طبیعی تفاوتی بین آن‌ها و افراد LL قائل نمی‌شود. ال‌های 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 ال‌ها اثر بگذارد که در یک فرد به صورت خالص درآیند و فنوتیپ نامطلوب را ظاهر کنند. ال‌های نامطلوب مغلوب آهسته‌تر از ال‌های نامطلوب غالب از جمعیت حذف می‌شوند.

برتری افراد ناخالص: اگر شایستگی افراد ناخالص از شایستگی افراد هر دو نوع خالص (غالب و مغلوب) بیش‌تر باشد، هیچ‌کدام از دو ال از جمعیت حذف نمی‌شوند. چون اگر هر یک از این دو ال حذف شوند، دیگر فرد ناخالص وجود نخواهد داشت! نمونه‌ای از این حالت را در مورد برتری افراد ناقل بیماری کم‌خونی داسی‌شکل در محیط مالاریا خیز می‌بینیم. افراد هوموزیگوس مغلوب معمولاً قبل از رسیدن به سن تولید مثل می‌میرند لذا شایستگی تکاملی آن‌ها صفر است، افراد هتروزیگوس در شرایط معمولی مشکلی ندارند مگر اینکه اکسیژن محیط کم شود، افراد هوموزیگوس غالب برخلاف افراد هتروزیگوس به بیماری مالاریا مقاوم نیستند لذا اگر در مناطق مالاریا خیز زندگی کنند شایستگی تکاملی شان کم می‌شود.

😊 مثال ۳۳-۹: با توجه به ترکیب جمعیتی زیر فراوانی ال‌های Hb^A, Hb^S را در محیط‌های مالاریا خیز و سایر مناطق به دست آورید.

$$10 \cdot Hb^A Hb^A + 20 \cdot Hb^A Hb^S + 10 \cdot Hb^S Hb^S$$

▼ پاسخ:

ابتدا تعداد افراد هر ژنوتیپ را در شایستگی تکاملی‌شان ضرب می‌کنیم و سپس فراوانی ال‌ها را در جمعیت باقی‌مانده به دست می‌آوریم:
در مناطق مالاریا خیز:

$$10 \cdot 0.8 / 8 (Hb^A Hb^A) + 20 \cdot 0.1 (Hb^A Hb^S) + 10 \cdot 0.0 (Hb^S Hb^S)$$

$$8 \cdot Hb^A Hb^A + 20 \cdot Hb^A Hb^S + 0 \Rightarrow$$

$$Hb^A \text{ فراوانی ال} = \frac{8 \cdot 0.8 + 20 \cdot 0.1}{28 \cdot 0.8} = \frac{36}{56}$$

$$Hb^S = 1 - \frac{36}{56} = \frac{20}{56}$$

در سایر مناطق:

$$10 \cdot 0.1 (Hb^A Hb^A) + 20 \cdot 0.1 (Hb^A Hb^S) + 10 \cdot 0.0 (Hb^S Hb^S)$$

$$10 \cdot Hb^A Hb^A + 20 \cdot Hb^A Hb^S + 0 \Rightarrow$$

$$Hb^A \text{ فراوانی ال} = \frac{10 \cdot 0.1 + 20 \cdot 0.1}{30 \cdot 0.1} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3}$$

$$Hb^S = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$$

تست‌های کنکور سراسری

😊 تست ۱۰-۹: اگر ژنوتیپ ژن خود ناسازگاری سلول مادر هاگ نر XY و سلول مادر هاگ ماده XO باشد در بین تخم‌هایی که تشکیل می‌شوند احتمال سلول تخمی با ژنوتیپ YO چقدر است؟ (O, Y و X ال‌های ژن خود ناسازگاری هستند)

(۱) صفر (۲) ۵۰٪ (۳) ۲۵٪ (۴) ۱۲/۵٪

▼ پاسخ:

سلول مادر هاگ نر دو نوع دانه‌ی گرده X و Y تولید می‌کند چون کلانه دارای ژنوتیپ XO است لذا تنها دانه‌ی گرده‌ی Y می‌تواند بر روی کلانه رشد کند از این رو ۵۰٪ دانه‌ها XY و ۵۰٪ دیگر ژنوتیپ YO خواهند داشت.
گزینه‌ی «۲» صحیح است.

🕒 **تست ۱۱-۹:** اگر برای ژن خود ناسازگار در گیاهی ۴ آلل فرض شود در جمعیت این

گیاه چند نوع ژنوتیپ می‌تواند وجود داشته باشد؟ (سراسری ۱۵)

۴ (۱)

۸ (۳)

۶ (۲)

۱۰ (۴)

▼ **پاسخ:**

چون در حالت خودناسازگاری ژنی، تشکیل ژنوتیپ‌های هوموزیگوس غیرممکن است

لذا: ژنوتیپ $۶ = ۱ + ۲ + ۳ + ۴$

هتروزیگوس هوموزیگوس

گزینه‌ی «۲» صحیح است.

🕒 **تست ۱۲-۹:** نمونه‌ای از آمیزش ناهمسان پسندانه در یک گیاه نهاندانه توسط ژنی

چهار اللی به نام ژن خود ناسازگاری تنظیم می‌شود از آمیزش گیاه ماده با

ژنوتیپ A_3A_4 و گیاه نر، با ژنوتیپ A_2A_1 حداکثر چند نوع ژنوتیپ در آلومن‌های

دانه‌های حاصل قابل پیش بینی است؟ (سراسری ۱۴)

۴ (۱)

۸ (۳)

۶ (۲)

۲ (۴)

▼ **پاسخ:**

چون ال‌های گیاه نر با ال‌های گیاه ماده کاملاً متفاوت‌اند لذا تحت تأثیر خودناسازگاری

ژنی قرار نمی‌گیرند و در نتیجه ۴ نوع ژنوتیپ برای آلومن‌های دانه قابل پیش‌بینی

است. ال‌های گیاه نر

		A_1	A_2
سلول دو هسته‌ای	A_3A_3	$A_1A_3A_3$	$A_2A_3A_3$
	A_4A_4	$A_1A_4A_4$	$A_2A_4A_4$

گزینه‌ی «۱» صحیح است.

🕒 **تست ۱۳-۹:** در آمیزش ناهمسان پسندانه گیاه شبدر سلول تخم حاصل ژنوتیپ ...

را می‌تواند داشته باشد. (سراسری ۱۳)

(۱) دانه گرده دهنده آنتروزیئید

(۲) تخمک گیاه دهنده تخمزا

(۳) مادگی گیاه پذیرنده آنتروزیئید

(۴) پرچم گیاه دهنده آنتروزیئید

▼ پاسخ:

الل‌های ژن خودناسازگار مانع از تشکیل تخمی مشابه با ژنوتیپ گیاه ماده می‌شوند ولی سلول‌های تخم می‌توانند از نظر ژنوتیپ مشابه ژنوتیپ پرچم گیاه دهنده‌ی آنتروزوئید باشد. (به تست ۹-۹ رجوع شود)
گزینه‌ی «۴» صحیح است.

🕒 **تست ۱۴-۹:** از عوامل مؤثر در برقرار ماندن تعادل هاردی- واینبرگ در یک جمعیت، این است که:

(سراسری خارج کشور ۸۸)

- ۱) انتخاب طبیعی رخ دهد.
- ۲) آمیزش‌ها غیرتصادفی باشد.
- ۳) فراوانی الل‌ها نسبتاً ثابت بماند.
- ۴) مهاجرت به درون جمعیت صورت گیرد.

▼ پاسخ:

اگر یک جمعیت بخواهد در تعادل هاردی- واینبرگ بماند ضرورت دارد که آمیزش‌ها تصادفی باشد، مهاجرت (شارش ژن) و رانش ژن رخ ندهد، انتخاب طبیعی نیز رخ ندهد و فراوانی الل‌ها ثابت باشد یعنی در اثر جهش و یا انتخاب طبیعی دستخوش تغییر نشود.
گزینه‌ی «۳» صحیح است.

🕒 **تست ۱۵-۹:** از درون آمیزی گیاهانی با ترکیب جمعیتی $(.0/64BB + .0/32Bb + .0/4bb)$ پس از سه نسل خود لقاحی، چند درصد از فنوتیپ غالب، کاسته خواهد شد؟

(سراسری خارج کشور ۸۶)

۷ (۱) ۱۴ (۲) ۱۸ (۳) ۲۸ (۴)

▼ پاسخ:

فنوتیپ مغلوب فنوتیپ غالب (۰.۹۶)

$$P) \quad .0/64BB + .0/32Bb + .0/4bb$$
$$\downarrow$$
$$.0/16$$
$$\downarrow$$
$$.0/8$$
$$\downarrow$$
$$.0/4Bb$$
$$\Rightarrow .0/32 - .0/4 = .0/28 \Rightarrow .0/28 \div 2 = .0/14$$

$$F_3) \quad \overbrace{(\frac{0}{64} + \frac{0}{14})BB + \frac{0}{4}Bb}^{\text{فنوتیپ مغلوب}} + \overbrace{(\frac{0}{4} + \frac{0}{16})bb}^{\text{فنوتیپ غالب} (\frac{0}{82})}$$

فراوانی فنوتیپ غالب کاسته شده $\frac{0}{14} = \frac{0}{82} - \frac{0}{96}$

گزینه‌ی «۲» صحیح است.

تست ۱۶-۹: اگر نمونه‌ای از آمیزش‌های ناهمسان پسندانه توسط ژن خود ناسازگار سه الی (X, Y, Z) کنترل شود و ژنوتیپ آلومن حاصل از این آمیزش ZYY باشد، ژنوتیپ سلول تخم حاصل و ژنوتیپ کلایه‌ی والد به ترتیب (از راست به چپ) کدام می‌تواند باشد؟ (سراسری ۸۹)

zy-xy (۲)

xy-zy (۱)

zx-zy (۴)

zx-xy (۳)

▼ پاسخ:

همان‌طور که در فصل ۸ خوانده‌اید در سلول‌های تریپلوئید مثل ZYY، ژنوتیپ سلول دو هسته‌ای، YY بوده و ژنوتیپ دانه‌ی گرده نیز Z بوده است از این رو می‌توان نتیجه گرفت دانه‌ی گرده روی کلایه‌ای رشدیافته که فاقد الل Z بوده است چون در حالت خودناسازگاری ژنی کلایه مانع از رشد دانه‌ی گرده با الل مشابه با الل‌های خودش می‌شود در گزینه‌های ۲، ۳ و ۴ چون کلایه‌ها دارای الل Z می‌باشند نمی‌تواند پاسخ صحیح باشند.

گزینه‌ی «۱» صحیح است.

تست ۱۷-۹: نیمی از افراد در یک جمعیت دارای تعادل هاردی - واینبرگ، دارای ژنوتیپ ناخالص و نیمی دیگر بطور مساوی دارای ژنوتیپ خالص‌اند، با دو نسل خودلقاحی نسبت افراد هتروزیگوس به هوموزیگوس می‌شود. (سراسری ۸۹)

$\frac{1}{5}$ (۲)

$\frac{1}{4}$ (۱)

$\frac{1}{8}$ (۴)

$\frac{1}{7}$ (۳)

▼ پاسخ:

اگر ترکیب جمعیت را با عدد فرضی زیر در نظر بگیریم:

$$\frac{1}{4} AA + \frac{2}{4} Aa + \frac{1}{4} aa$$

↓

$$\frac{1}{4}$$

↓

$$\frac{1}{8}$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8} \Rightarrow \text{هوموزیگوس} = \text{هتروزیگوس} - 1$$

$$\frac{\text{هتروزیگوس}}{\text{هوموزیگوس}} = \frac{\frac{1}{8}}{\frac{7}{8}} = \frac{1}{7}$$

گزینه‌ی «۳» صحیح است.

🕒 **تست ۱۸-۹:** در مناطقی که عارضه‌ی گلبول‌های قرمز داسی شکل شایع است، شایستگی تکاملی..... در هنگام شیوع مالاریا نسبت به قبل از آن..... (سراسری ۸۷)

(۱) افراد ناخالص - بیش‌تر می‌شود

(۲) هموزیگوت‌های مغلوب - کم‌تر می‌شود

(۳) هموزیگوت‌های غالب و مغلوب - کم‌تر می‌شود.

(۴) هموزیگوت‌های مغلوب و هتروزیگوت‌ها - تغییر نمی‌کند

▼ پاسخ:

با توجه به جدول زیر مشخص می‌شود که فراوانی هموزیگوت‌های مغلوب و هتروزیگوس چه در محیط‌های مالاریاخیز و چه در سایر مناطق تغییر نمی‌کند.

گزینه‌ی «۴» صحیح است.

🕒 **تست ۱۹-۹:** اگر در جمعیتی با ژنوتیپ $25\% AA + 50\% Aa + 25\% aa$ سه نسل خودلقاحی صورت گیرد فراوانی نسبی کدام گزینه تغییر نمی‌کند؟ (آزاد پزشکی ۹۰)

- (۱) افراد هموزیگوت
(۲) آلل‌ها
(۳) افراد هتروزیگوت
(۴) افراد مغلوب

▼ پاسخ:

در خودلقاحی فراوانی آلل‌ها تغییر نمی‌کند.
گزینه‌ی «۲» صحیح است.

🕒 **تست ۲۰-۹:** در آمیزش شبدر اگر ژنوتیپ کیسه‌گرده **AB** و ژنوتیپ پارانشیم خورش **AD** باشد و سه ژن **A, B, D** خود ناسازگار باشند کدام گزینه را نمی‌توانیم داشته باشیم؟ (آزاد پزشکی ۹۰)

- (۱) سلول رویشی **B**
(۲) تخم‌زای **A**
(۳) گامت نر **A**
(۴) دانه‌گرده **B**

▼ پاسخ:

در حالت خودناسازگاری دانه‌ی گرده‌ی که ژنوتیپ مشابه با کلاله (که می‌تواند ژنوتیپ مشابه پارانشیم خورش **AD**) داشته باشد، نمی‌تواند لوله‌ی گرده تشکیل دهد، بنابراین احتمال تشکیل گامت نر **A** وجود ندارد.
گزینه‌ی «۳» صحیح است.