

# درسنامه‌های ژنتیک

# احتمالات

۱ احتمالات مهم‌ترین و پایه‌ای‌ترین داستان در ژنتیک و حل مسائل آن است. در واقع مشکل اصلی این‌جاست که به این موضوع به‌صورت یک درس اولیه و مستقل نگاه نمی‌شود و معلم‌ها و دانش‌آموزان عزیزتر از جان، قبل از آن که خوب احتمالات را یاد بدهند و با یاد بگیرند، وارد مباحث دیگر می‌شوند و این‌جاست که همیشه پای یک چیزی لنگ می‌زند! پس دوستان مهربان بر شما باد یادگیری ریاضیات و احتمال مرتبط با مسائل ژنتیک. بخش احتمالات از آن‌جایی که یک جورهایی فقط ریاضی محض است و آموخته‌ی زیستی به همراهش نیست، شاید کمی خسته‌کننده و کسل‌کننده باشد؛ اما حواستان باشد اگر آن را ببیچانید! دوتا پیچ جلوتر (یعنی وقتی این مباحث ریاضی با موارد زیستی ترکیب شد) نسخه‌ی خودتان پیچیده می‌شود. ما در این بخش سعی کردیم چیزهای به‌درد بخور و کاربردی احتمال را بررسی کنیم نه چیزهای غیر کاربردی و الکی سخت را.



حواستان باشد در حل مسائل ژنتیک خیلی سراغ فرمول‌های اجق و جق نروید! جهت‌گیری تست‌های کنکور در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که آن‌چه اهمیت دارد، درک مفهوم است نه حفظ فرمول. تازه هر وقت که یک فرمولی خیلی در کلاس‌های کنکور این‌ور و اون‌ور جا می‌افتد و شایع می‌شود، طراح کنکور سوژه‌ی مسائلی که با آن فرمول حل می‌شوند را کمی دست‌کاری می‌کند تا با آن فرمول‌ها جواب غلط به‌دست بیاورید!! اون‌وقته که ...

۲ اولین و ساده‌ترین چیز در احتمال، احتمال وقوع یک اتفاق است. مثلاً می‌گویند احتمال این‌که در پرتاب یک سکه‌ی دو‌ریالی روی سکه (همون خط سابق!) بیاید  $\frac{1}{2}$  است. باید از همین‌جا خوب فهمید. دقت کنید در احتمال وقوع یک اتفاق ما با یک مخرج کسر طرفیم که در آن سهم کل حالات محتمل، موجود است (در این‌جا کلاً دو اتفاق: خط سابق و شیر سابق) و یک صورت کسر که در آن سهم حالت یا حالاتی که ما می‌خواهیم، موجود است. (در این‌جا یک حالت یعنی خط سابق آمدن!)

یا می‌گویند احتمال این که فرزندی که متولد می‌شود، پسر باشد،  $\frac{1}{2}$  است. یعنی برای بچه کلاً دو حالت با احتمال برابر وجود دارد؛ پسر شدن یا دختر شدن (کل حالت‌های محتمل = مخرج) که پسر شدن (صورت کسر) یکی از این ۲ حالت مخرج است.

تا این‌هاش که هتماً می‌گیر: بابا ولمون کن، اینارو که فورمون اوستاییم! OK!

۳ یک سؤال می‌پرسم! فرض کنید در یک جمعیت، برای هر فرد دو حالت وجود دارد: بیمار بودن یا سالم بودن. یعنی یک فرد یا سالم است یا بیمار. آیا می‌توانیم بگوئیم احتمال بیمار بودن یا سالم بودن در این جمعیت، هر کدام  $\frac{1}{2}$  است؟

پاسخ منفی است! در واقع تعداد حالات، تعیین‌کننده‌ی احتمال هر یک از حالات نیست. در هر موضوعی که دو حالت دارد، احتمال هر یک از حالات  $\frac{1}{2}$

نیست یا در هر موضوعی که ۳ نوع یا ۳ حالت دارد، احتمال هر حالت  $\frac{1}{3}$  نیست، بلکه فراوانی هر یک از حالات در محاسبه‌ی احتمال آن مؤثر است. مثلاً

اگر شما در کیسه‌ای دو نوع مهره‌ی سفید و سیاه داشته باشید، وقتی یک مهره از کیسه خارج می‌کنید، احتمال سفید یا سیاه بودن آن  $\frac{1}{2}$

نیست، موضوع مهم در محاسبه‌ی این احتمال این است که فراوانی هر یک از انواع مهره‌ها چه قدر است. یعنی اگر ۱۰ مهره سفید و ۲۰ مهره سیاه داشته

باشید، آن وقت اگر یک مهره را از کیسه خارج کنید، احتمال این که سفید باشد،  $\frac{1}{3}$  یا  $\frac{1}{4}$  و احتمال این که سیاه باشد  $\frac{2}{3}$  است نه  $\frac{1}{2}$ . حالا حالتی هست مثل

شیر یا خط که دو نوع حالت داریم و فراوانی هر دو با هم برابر است، یعنی همه‌ی سکه‌های دنیا یک شیر دارند و یک خط ولاغیر. پس دقت کنید علاوه

بر انواع حالت‌ها، فراوانی هر کدام از آن‌ها هم مهم است. اگر فراوانی حالت‌ها با هم برابر باشد، احتمال آن‌ها نیز با هم برابر خواهد بود (مثل سکه، تاس و ...)



▲ بعضی اوقات احتمالات خیلی به سختی قابل پیش‌بینی‌اند  
مثلاً خوردن به سنگ این قدری به ما!



▲ پیشگویی احتمالات بعضی وقتا یکم سخت می‌شه!  
مثلاً این خروس کدوم دونه گندم رو می‌خوره، املاً می‌خوره یا نه؟ آگه بخوره چندتا می‌خوره!!



▲ پیش‌بینی احتمال وقوع بعضی چیزا خیلی آسونه!  
مثلاً آگه من این دوتا تاس رو بندازم، احتمال جفت و آوردن یک یکمه!

۴ دقت کنید که در چیزهایی که تا حالا گفتیم، ۲ جور معنای دیگر هم نهفته است:

a یکی از این مفاهیم، مفهوم عمیق و جالب متمم است. به عنوان مثال وقتی به شما می‌گویند احتمال بیمار بودن فرزند متولد شده در خانواده‌ای

$\frac{1}{4}$  است، یعنی احتمال بیمار نبودن برای هر فرزند در این خانواده می‌شود  $\frac{3}{4}$ . هر چند این مفهوم، کاملاً تابلو و بدیهی به نظر می‌رسد، اما خوب ...

درک روح مفهوم متمم در حل مسائل پیچیده بسیار کمک‌کننده است.

b دومی این که احتمال یک جورهایی یعنی فراوانی. یعنی امکان دارد یک جمله‌ی احتمالی را به صورت فراوانی به شما بدهند. وقتی می‌گویند

احتمال بیمار شدن یک فرزند در این خانواده  $\frac{1}{4}$  است، یعنی  $\frac{1}{4}$  فرزندان این خانواده بیمار خواهند شد، یا این که فراوانی افراد بیمار در بین فرزندان

این خانواده  $\frac{1}{4}$  خواهد بود.

دقت کنید پیش‌بینی می‌شود که  $\frac{1}{4}$  فرزندان بیمار باشند نه این که قطعاً و در همه‌ی خانواده‌ها این‌گونه شود. در شماره (۶) این موضوع را بررسی خواهیم کرد.

۵ چیز دیگری که همه آن را قبول دارند اما خیلی وقت‌ها گولش را می‌خورند، این است که اگر احتمال خط آمدن در یک پرتاب سکه،  $\frac{1}{2}$  باشد، در

آزمایش‌های بعدی نیز این احتمال  $\frac{1}{2}$  است. یعنی اگر ۱۰ بار سکه‌ای را انداختید و خط آمد، بار یازدهم احتمال خط آمدن کم نمی‌شود و همان  $\frac{1}{2}$  می‌ماند.



احتمالاً خانواده‌هایی را دیده‌اید که ۵ تا دختر دارن و آقای پدر آرزویش داشتن یک پسر کاکل به سره. در این حالت ذهنیت پدر و مادر این است که چون ۵ تا بچه‌ی قبلی شون دختر شدن پس حتماً این دفعه احتمال پسر شدن بیشتره!! نه بابا! باز هم احتمال پسر یا دختر شدن همان  $\frac{1}{2}$  خواهد بود.



قبل از این‌که  
اون Z بزنه  
من این  
عکس رو از  
تلفن  
دفترمون  
گرفتم

پس رخ دادن یا رخ ندادن هر یک از حالت‌های ممکن، روی رخ دادن یا رخ ندادن هر یک از حالت‌های دیگر تأثیری ندارد.

۶ موضوع بدیهی و در عین حال غیرقابل باور! دیگر این است که احتمال، احتمال است نه واقعیت! یک روز یکی زنگ زده بود دفتر ما و می‌گفت این شجره‌نامه‌ها کلاً غلطه!! گفتم چرا؟ گفت چون بر طبق قوانین احتمالات باید  $\frac{1}{2}$  بچه‌ها پسر باشند و  $\frac{1}{2}$  دختر، در حالی که مثلاً در یک شجره‌نامه در کنکور در خانواده‌ای که ۴ تا بچه داشتند، یکی پسر بود و ۳ تای دیگر دختر.

احتمال می‌گوید احتمال پسر شدن  $\frac{1}{2}$  است و  $\frac{1}{2}$  بچه‌ها در یک جمعیت فرضی خیلی خیلی بزرگ پسر خواهند بود. اما در واقعیت و در جمعیت‌های کوچک (مثل یک خانواده) واقعیت می‌تواند غیر از احتمال باشد.

پس با این‌که احتمال شیر یا خط آمدن  $\frac{1}{2}$  است، اما امکان دارد که بعد از  $10^6$  بار پرتاب هر  $10^6$  بار خط بیاید! و این موضوع باز ردکننده‌ی  $\frac{1}{2}$  بودن احتمال شیر آمدن پرتاب یازدهم و هر پرتاب دیگری نیست، بلکه اگر  $n$  بار پرتاب کنیم ( $n \rightarrow +\infty$ )، هر چه  $n$  بزرگ‌تر می‌شود، احتمال شیر یا خط آمدن به  $\frac{1}{2}$  نزدیک‌تر خواهد شد.

احتمال وقوع یک اتفاق، حتماً عددی بین صفر و یک است (درصد هم عددی بین صفر و یک محسوب می‌شود).



۷ احتمال، دوتا قانون «ضرب» و «جمع» داره که اکثر بچه‌ها باهاش مشکل پیدا می‌کنن. قانون ضرب می‌گه احتمال رخ دادن ۲ تا اتفاق مستقل به‌صورت هم‌زمان، می‌شه حاصل ضرب احتمال رخ دادن هر یک از آن اتفاق‌ها.

یک آدم هم تو بانک صادرات حساب داره و هم تو بانک ملی. فرض کن احتمال برنده شدن در قرعه‌کشی بانک ملی  $\frac{1}{100}$  و در بانک



صادرات  $\frac{2}{100}$  باشه. خب حالا سؤال می‌گه احتمال این‌که این فرد در هر دوتا بانک برنده بشه، چه قدره؟

دقت کنید یک فرد داریم که دوتا اتفاق هم‌زمان مستقل براش افتاده:

$$\text{احتمال برنده شدن در بانک صادرات} \times \text{احتمال برنده شدن در بانک ملی} = \text{احتمال برنده شدن در هر دو بانک} = \frac{2}{100} \times \frac{1}{100} = \frac{2}{10000}$$

چه قدر احتمال دارد فرد فقط در بانک صادرات برنده شود؟



در این حالت دوتا اتفاق باید هم‌زمان بیفتند. یکی این‌که فرد در بانک صادرات برنده شود ( $\frac{2}{100}$ ) و دیگری این‌که در بانک ملی برنده نشود. چون احتمال برنده شدن در بانک ملی  $\frac{1}{100}$  بوده است، پس احتمال برنده نشدن در بانک ملی می‌شود یک منهای یک‌دهم، یعنی  $\frac{99}{100}$ .

$$\text{احتمال برنده نشدن در بانک ملی} \times \text{احتمال برنده شدن در بانک صادرات} = \text{احتمال برنده شدن فقط در بانک صادرات} = \frac{99}{100} \times \frac{2}{100} = \frac{198}{10000}$$

چه قدر احتمال دارد فرد فقط در یک بانک برنده شود؟



دقت کنید برای حالت فقط در یک بانک برنده شدن، ۲ حالت وجود دارد که هیچ‌وقت امکان ندارد این دو حالت هم‌زمان رخ دهند، یا حالت اول رخ می‌دهد یا حالت دوم. اگر حالت اول رخ دهد دیگر محال است حالت دوم رخ دهد و اگر حالت دوم رخ دهد محال است حالت اول رخ دهد چون شرط سؤال این است که فرد فقط در یک بانک برنده شود. برای حل این سؤال و سؤال‌های مشابه آن که حالت‌ها هم‌زمان نیستند و به‌جای هم رخ می‌دهند یعنی یا این رخ می‌دهد یا آن و ... احتمال حالت‌های مختلف را با هم جمع می‌کنیم.

(حالت دوم) احتمال برنده شدن فقط در بانک ملی + (حالت اول) احتمال برنده شدن فقط در بانک صادرات = احتمال برنده شدن فقط در یک بانک

$$= \left(\frac{2}{100} \times \frac{99}{100}\right) + \left(\frac{1}{100} \times \frac{99}{100}\right) = \frac{297}{10000}$$



به عبارت  $(\frac{2}{10} \times \frac{9}{10}) + (\frac{1}{10} \times \frac{8}{10})$  خوب دقت کنید. داخل پرانترها ضرب و بین پرانترها جمع است. پرانتز  $(\frac{2}{10} \times \frac{9}{10})$  حالت برنده شدن فقط در بانک صادرات است که در این حالت فرد باید هم‌زمان در بانک صادرات برنده شود  $(\frac{2}{10})$  و در بانک ملی بازنده  $(\frac{9}{10})$ . پس این دو عدد را ضرب می‌کنیم. پرانتز  $(\frac{1}{10} \times \frac{8}{10})$  حالت برنده شدن فقط در بانک ملی است، یعنی فرد به‌صورت هم‌زمان در بانک ملی برنده شده است  $(\frac{1}{10})$  و در بانک صادرات بازنده  $(\frac{8}{10})$ ، به همین دلیل این دو عدد را در هم ضرب کردیم. حالا برای فقط در یک بانک برنده شدن دو حالت داریم: یا فقط در بانک ملی برنده شدن و یا فقط در بانک صادرات برنده شدن. این دو حالت به‌جای هم اتفاق می‌افتند نه هم‌زمان و با هم. پس بین دو پرانتز جمع می‌گذاریم نه ضرب. کشتم فورموا!

**سؤال** احتمال این‌که فرد حداقل در یک بانک برنده شود، چه قدر است؟

شما حداقل دوتا سیب دارید. یعنی یا دوتا سیب دارید یا بیشتر. برنده شدن در حداقل یک بانک یعنی یا در هر دو برنده شود و یا فقط در یکی از آن‌ها. اما نمی‌تواند در هیچ بانکی برنده نشود! چون حداقل در یک بانک باید برنده شود! دقت کنید فرقی فقط در یک بانک برنده شدن با حداقل در یک بانک برنده شدن این است که حالت در هر دو بانک برنده شدن، در اولی نیست ولی در دومی هست.

$$\frac{28}{100} = (\frac{2}{10} \times \frac{1}{10}) + (\text{جواب سؤال قبله!}) = \frac{26}{100} \text{ در هر دو بانک برنده شدن} + \text{فقط در یک بانک برنده شدن} = \text{حداقل در یک بانک برنده شدن}$$

$$\frac{28}{100} = \frac{28}{100} - (\frac{9}{10} \times \frac{8}{10}) = 1 - (\text{در هیچ بانکی برنده نشدن}) = \text{حداقل در یک بانک برنده شدن}$$

از راه متمم هم می‌شود حل کرد:

دیدید با این که مفهوم متمم خیلی بدیهی است اما دیدن متمم سخت است! گاهی پنهان می‌شود!



▲ حمید هیچ‌وقت تو هیچ بانکی برنده نشده!

**۸** خب حالا ما این همه جون

کنسیم و توضیح ریاضی دادیم! الان می‌خوایم به صورت شهودی هم یه چیز کاملاً بدیهی اما جالب بگیم! به‌جای این آقاها فرض کنید شما تو بانک ملی و صادرات حساب دارید و واقعاً می‌خواید که برنده شوید. خب از قلب و مغز پول‌پرستتون بخواید به این سؤال جواب بده: احتمال برنده شدن شما در یکی از بانک‌ها بیشتره یا احتمال برنده شدنتون در هر دوتا بانک؟ می‌خوایم بدون محاسبه و به صورت شهودی به این سؤال جواب بدین. خب، معلومه احتمال این‌که یه آدمی اون قدر

خوش‌شانس باشه که تو هر دوتا بانک برنده بشه کم‌تر از اینکه تو یکی از بانک‌ها برنده بشه. از نظر ریاضی هم قضیه ضرب و جمع رو این‌جوری می‌شه جا انداخت: احتمال هر اتفاق، عددی بین صفر و یک، وقتی دوتا عدد بین صفر و یک رو در هم ضرب کنیم عدد حاصل کوچک‌تر می‌شه. مثلاً  $\frac{2}{10} \times \frac{1}{10}$  می‌شود  $\frac{2}{100}$  که از هر دو عدد  $\frac{2}{10}$  و  $\frac{1}{10}$  کوچک‌تر است (در واقع  $\frac{2}{10}$  و  $\frac{1}{10}$  هستند). این یعنی برای هم‌زمان برنده شدن در دو بانک، احتمال برنده شدن در هر بانک رو در هم ضرب می‌کنیم چرا که احتمال برنده شدن در هر دو بانک کم‌تر است از احتمال برنده شدن در هر یک از بانک‌ها.

**سؤال** احتمال این‌که فرد برنده شود، چه قدر است؟

فرد در ۳ حالت می‌تواند برنده باشد یا فقط در بانک ملی یا فقط در بانک صادرات و یا در هر دو که این حالت را قبلاً حساب کردیم که می‌شه  $\frac{28}{100}$ .



## یک اشتباه رایج!

احتمال دارد که عده‌ای این سؤال را این‌گونه حل کنند:

$$\frac{1}{10} + \frac{2}{10} = \frac{3}{10}$$

اما می‌بینید که  $\frac{3}{10}$ ، به اندازه‌ی  $\frac{2}{10}$  از  $\frac{28}{100}$  بیشتر است و جواب درست نیست در حالی که به نظر می‌رسد در به‌دست آوردن  $\frac{3}{10}$  اشکالی وجود نداشته

باشد! اما یک اشتباه بسیار ظریف در محاسبه‌ی  $\frac{3}{10}$  وجود دارد و آن هم این است که دو صدم در هر دو بانک برنده‌شدن (محصول ضرب  $\frac{2}{10} \times \frac{1}{10}$ ) هم

درون احتمال در بانک ملی برنده‌شدن (یعنی در بانک ملی برنده‌شدن و در بانک صادرات برنده یا بازنده شدن) هست و هم درون احتمال در بانک

صادرات برنده‌شدن (یعنی در بانک صادرات برنده‌شدن و در بانک ملی برنده یا بازنده شدن) و ما حالت در دو بانک برنده‌شدن را دو بار محاسبه کرده‌ایم

به همین دلیل جواب ما  $\frac{2}{10}$  از جواب درست یعنی  $\frac{28}{100}$  بیشتر است و راه حل درست همان راه حل  $\frac{28}{100}$  است.

## سؤال چه قدر احتمال دارد که این فرد حداکثر در یک بانک برنده شود؟

وقتی می‌گویند شما حداکثر ۲ تا سیب دارید یعنی یا ۲ تا دارید یا کم‌تر. وقتی قرار است فرد حداکثر در یک بانک برنده شود یعنی یا فقط در یک بانک برنده شود و یا اصلاً برنده نشود.

$$\frac{98}{100} = \frac{26}{100} + \left(\frac{8}{10} \times \frac{9}{10}\right) = \frac{98}{100}$$

این سؤال را می‌شد خیلی خیلی راحت‌تر هم حل کرد. گفتیم حداکثر در یک بانک برنده‌شدن یعنی یا برنده‌شدن فقط در یک بانک یا اصلاً برنده

نشدن! پس می‌توانیم حالت در هر دو بانک برنده‌شدن  $\left(\frac{2}{10} \times \frac{1}{10}\right)$  را از مجموع حالات (عدد یک) کم کنیم (روش متمم). آن‌چه می‌ماند حداکثر در

یک بانک برنده‌شدن است.

۹ موضوع آخر موضوع جالب احتمال شرطی است. در واقع در احتمال شرطی مخرج کسر، کل اتفاقات و احتمالات نیست بلکه قسمتی از آن‌هاست و صورت کسر هم قسمتی از مخرج کسر است.

## سؤال چه قدر احتمال دارد فرد برنده، در هر دو بانک برنده شده باشد؟

دقت کنید این سؤال را با سؤال مشابه‌اش اشتباه نگیرید: چه قدر احتمال دارد فردی، در هر دو بانک برنده شود؟ به محل ویرگول در هر دو جمله توجه کنید (امکان دارد خود ویرگول نباشد اما حس ویرگول که هست!). در حالت اول ویرگول یا حس آن بعد از فرد برنده است و در حالت دوم بعد از فرد.

در واقع حالت اول کسری این‌شکلی است:

مخرج کسر قسمتی از کل است، یعنی مخرج کسر یک (کل) نیست بلکه احتمالی است که باید محاسبه شود و در مخرج قرار گیرد. صورت کسر قسمتی از مخرج کسر است. در این حالت باید احتمال مخرج و صورت را جدا از کل حساب کنیم و کسر را تشکیل دهیم.

$$\frac{2}{100} = \frac{2}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{2}{100}$$

$$\frac{28}{100} = 1 - \left(\frac{9}{10} \times \frac{8}{10}\right) = 1 - \frac{72}{100} = \frac{28}{100}$$

$$\frac{1}{14} = \frac{100}{28} = \frac{2}{100}$$

دقت کنید در احتمال شرطی صورت کسر (بعد ویرگول)

قسمتی از مخرج کسر است. در بعضی از سؤال‌ها قبل ویرگول

و بعد ویرگول مستقل از هم هستند و بعد ویرگول قسمتی از

قبل ویرگول نیست. این حالت را هم اگر مثل احتمال شرطی

حل کنید، به مشکل بر نمی‌خورید. فقط صورت و مخرج با هم

ساده می‌شوند. اگر خیلی هم حرفه‌ای شده باشید می‌فهمید

که در این حالت دیگر نیازی به نوشتن کسر نیست.



▲ من و برادرم داریم به این موضوع فکر می‌کنیم که چرا تا حالا تو هیچ بانکی برنده نشدیم! و تصمیم گرفتیم به اقدامات عملی‌تری دست بزنیم!!



در خانواده‌ای احتمال تولد فرزند بیمار  $\frac{1}{4}$  است. چه نسبتی از پسرهای خانواده، بیمار هستند؟ (بیماری اتوزومی ست)



$\frac{1}{16}$  (۴)

$\frac{1}{8}$  (۳)

$\frac{1}{4}$  (۲)

$\frac{1}{2}$  (۱)

پسر بودن و بیمار بودن ۲ تا اتفاق مستقل از هم هستند و بیمار بودن قسمتی از پسر بودن نیست. در واقع جواب این سؤال کسری



است که صورت آن پسر بیمار (بعد ویرگول) و مخرج آن پسر (قبل ویرگول) است.

$$\frac{\text{پسر بیمار}}{\text{پسر}} = \frac{\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{4}$$

در واقع  $\frac{1}{4}$  پسر بودن در صورت و مخرج با هم ساده می‌شوند و پاسخ می‌شود همان  $\frac{1}{4}$  احتمال بیمار بودن. سؤال زیر را حل کنید:

در خانواده‌ای احتمال تولد فرزند بیمار  $\frac{1}{4}$  است. چه نسبتی از فرزندان، پسرهای بیمار هستند؟



$\frac{1}{16}$  (۴)

$\frac{1}{8}$  (۳)

$\frac{1}{4}$  (۲)

$\frac{1}{2}$  (۱)

در این سؤال پسرها و بیمار بودن، هر دو بعد ویرگول هستند و قبل ویرگول کل فرزندان (یک). در این سؤال احتمال تولد پسر بیمار



(دوتا اتفاق هم‌زمان) می‌شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$  یعنی  $\frac{1}{16}$ . اما در سؤال قبلی (چه نسبتی از پسرها، بیمار هستند؟) در واقع احتمال پسر بودن را دیگر نباید

محاسبه کنیم. پسر بودن قطعی است و فقط باید احتمال بیمار بودن را حساب کنیم که می‌شود  $\frac{1}{4}$ .

قوانین احتمالات ریزه‌کاری‌های کاربردی دیگری هم دارد که آن‌ها را در تست‌ها می‌بینید. سعی ما در ارائه‌ی قلق‌های کاربردی بوده است و از ارائه‌ی فرمول‌های غیرضروری پرهیز کردیم.

# مفاهیم پایه ای

## ژن/DNA/گروه خونی/ فنوتیپ/ ژنوتیپ

شاید این درس از درس اول هم مهم تر باشد!! در این درس می خواهیم مفاهیم بسیار عمیق و پایه ای ژنتیک را برایتان باز کنیم، قبل از آن که وارد  $Aa \times Aa$  شویم!



▲ خواستیم عکس خودمونو بذاریم برای فنوتیپ خوشتیپی، گفتیم ریا نشه، آلن دلون (Alain Delon) رو گذاشتیم!  
این عکس در سال ۱۹۶۸ از ایشون گرفته شده.

1 ژنتیک یعنی این که صفت های فرد که می شود گفت همان پروتئین ها و شکل ظاهری فرد هستند (و فنوتیپ نام دارند) به وسیله ی DNA تعیین می شوند. یعنی DNA های مختلف (که توالی های نوکلئوتیدی متفاوتی دارند) طی فرآیند رونویسی و نهایتاً ترجمه (در پیش دانشگاهی می خوانید!) پروتئین های فرد را می سازند و با این کار فنوتیپ و صفت ها و شکل ظاهری فرد را به وجود می آورند.

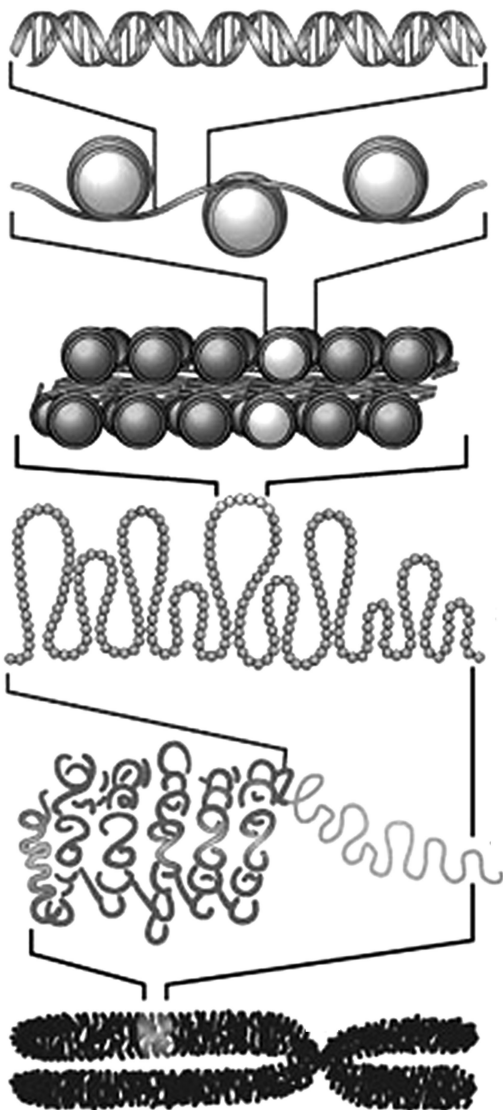
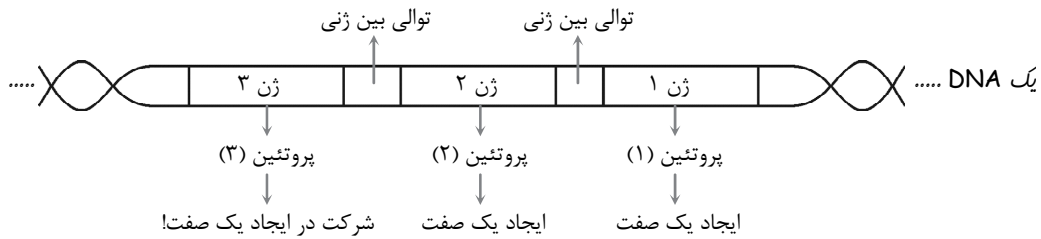
پروتئین = فنوتیپ = شکل ظاهر = صفات



DNA

2 به قسمتی از یک DNA ی دو رشته ای که ساخت یک پروتئین (یا RNA، در پیش دانشگاهی می خوانید) را بر عهده دارد، می گویند ژن. پس در واقع هر DNA مثل یک قطار است که از واگن های پی در پی به نام ژن ساخته شده است. آن چه باعث تفاوت بین ژن های مختلف می شود توالی متفاوت نوکلئوتیدهای آن هاست که در نتیجه پروتئین (یا RNA) متفاوتی می سازند.





**ترکیب** در واقع خیلی درست‌ترش این است که بگوییم هر ژن باعث ساخت یک رشته‌ی پلی‌پپتیدی (یا RNA!) می‌شود. چون بعضی از پروتئین‌ها چندین رشته‌ی پلی‌پپتیدی دارند و توسط چند ژن ساخته می‌شوند. این موضوع را در فصل اول کتاب پیش‌دانشگاهی می‌خوانید.

**۳** یک سؤال که این‌جا مطرح می‌شود این است که پس کروموزوم این وسط چه می‌شود؟ چرا می‌گویند ژن‌ها روی کروموزوم‌ها قرار دارند؟! ما که کروموزومی ندیدیم! به شکل روبه‌رو توجه کنید.

در واقع DNA و ژن‌های روی آن (توالی نوکلئوتیدهای DNA) درون کروموزوم‌ها، کروماتیدها و کروماتین‌ها بسته‌بندی و فشرده می‌شوند. کروموزوم، کروماتید و کروماتین هر سه از ترکیب DNA و پروتئین ساخته شده‌اند. کروموزوم و کروماتید حالت فشرده‌تر کروماتین هستند. کروماتین را در مرحله‌ی اینترفاز می‌بینیم و کروموزوم و کروماتید را در مرحله‌ی میتوز (یا میوز). البته این تعریف خیلی هم سفت و سخت نیست! یعنی وقتی طراح و تست به فشردگی و نام کروماتین اهمیت بدهد، ما هم تمرکز می‌کنیم که کروماتین و کروموزوم را دو نام مجزا در نظر بگیریم وگرنه کلمه‌ی کروموزوم بسیار پرکاربرد است و تقریباً در تمام مراحل زندگی یک سلول به کار می‌رود.

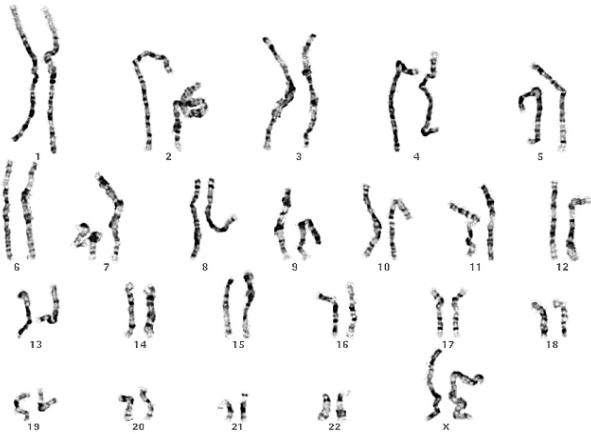
**۴** نتیجه این‌که هر فرد کروموزوم‌هایی دارد که در آن‌ها DNA وجود دارد. هر DNA از واگن‌های ژنی تشکیل شده است. ژن‌هایی که هر فرد دارد ژنوتیپ آن فرد را تعیین می‌کند. ژنوتیپ (DNA) هر فرد باعث ایجاد صفات، فنوتیپ و پروتئین‌های آن فرد می‌شود.



**نکته** در ژنتیک و مسائل آن معمولاً ژن‌ها و ژنوتیپ فرد و فنوتیپ‌ها و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها را با حرف نمایش می‌دهند. مثلاً در ژن‌های گروه خونی اصلی انسان، ژن A باعث ساخت پروتئین A می‌شود.



## معادله‌ها برای حل نکردن!

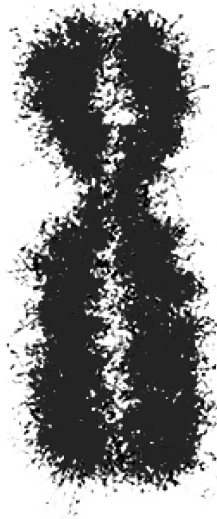
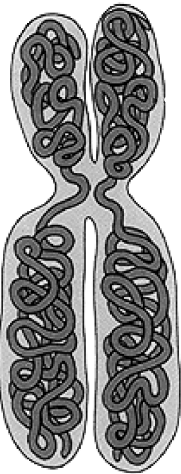


۵ حالا می‌خواهیم **اونوری** موضوع رو بررسی کنیم! شما را می‌فرستند درون هسته‌ی یک سلول انسان و بعد می‌گویند کروموزوم‌ها را بشمارید: ۱، ۲، ۳، ۴۶. بعد می‌گویند دقت کنید آیا چیز دیگری توجه شما را جلب می‌کند. می‌بینید که کروموزوم‌های انسان دوه‌دو هم‌اندازه و شبیه هم هستند. دقت کنید که  $2n = 46$  یک معادله برای حل کردن نیست که بنویسید: پس  $n = 23$ ! بلکه این معادله‌ای برای حل نکردن است. در واقع دانشمندان می‌خواستند با این معادله ۲ تا اطلاع به ما بدهند:

a هر سلول انسان ۴۶ کروموزوم دارد.

b کروموزوم‌ها درون سلول‌های انسانی دوه‌دو هم‌اندازه و شبیه هم هستند که به آن‌ها می‌گویند جفت کروموزوم‌های هم‌تا یا هومولوگ.

۶ پس کروموزوم‌های انسانی در هر سلول از ۲ **مجموعه** کروموزوم ۲۳ تایی تشکیل شده‌اند که کروموزوم‌های درون هر مجموعه نسبت به هم غیرهم‌تا و غیرهومولوگ و نامشابه هستند.



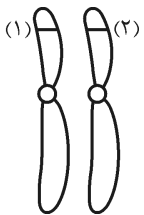
۷ انسان و جانوران  $2n$  هستند. البته تعداد کروموزوم‌های آن‌ها با هم فرق می‌کند. اما به هر حال دو مجموعه کروموزوم دارند. بعضی از گیاهان پلی‌پلوئید (چند  $n$ ، بیش از  $2n$ ) هستند. نخودفرنگی  $2n$  است (  $3n$  ها: تریپلوئید،  $4n$  ها: تتراپلوئید،  $6n$  ها: هگزاپلوئید و ...). پس امکان دارد شما وارد هسته‌ی سلول یوکاریوتی شوید و در آن کروموزوم‌ها ۳ تا ۳ یا ۴ تا ۴ یا ۶ تا ۶ تا شبیه هم باشند و ...

۸ مهم‌ترین نکته در رابطه با این موضوعات این است که:

a **موضوع** ژن‌های دو کروموزوم هم‌تا یکسان است.

b دو کروموزوم هم‌تا می‌توانند ژن‌های یکسان و یا متفاوتی (از نظر توالی نوکلئوتیدهایشان) درباره‌ی آن موضوع داشته باشند.

حالا این‌هایی که گفتیم یعنی چه؟



دو کروموزوم روبه‌رو هم‌تا هستند. جایگاه (۱) و (۲) را در نظر بگیرید. ژن‌هایی که در جایگاه (۱) و (۲) قرار می‌گیرند هر دو در مورد یک موضوع هستند. مثلاً اگر ژن (۱) در مورد گروه خونی است ژن (۲) هم در مورد گروه خونی است. حالا امکان دارد توالی‌های ژن‌های جایگاه‌های (۱) و (۲) کاملاً عین هم باشد و یا امکان دارد توالی ژن‌های جایگاه‌های (۱) و (۲) با هم متفاوت باشند. اما دقت کنید **موضوع** ژن‌های این دو جایگاه یکی است. مثلاً فرض کنید اگر ژن  $A$ ،  $B$  و  $O$  گروه‌های خونی بتوانند در جایگاه (۱) قرار بگیرند، هر کدام از این ۳ ژن می‌توانند در جایگاه (۲) نیز قرار بگیرند. این اتفاق باعث می‌شود ژنوتیپ فرد برای گروه خونی ۲ حرفی باشد:  $AA$ ،  $AB$ ،  $AO$ ،  $OO$  و ...

اگر علاوه بر موضوع، ژن‌هایی که در (۱) و (۲) قرار می‌گیرند هم کاملاً با هم یکسان باشند می‌گویند ژنوتیپ فرد هوموزیگوس است (مثل  $AA$ ،  $aa$ ،  $BB$ ،  $OO$ ) اما اگر با هم متفاوت باشند می‌گویند ژنوتیپ فرد هتروزیگوس است.

## کروموزوم‌ها ادامه دار!

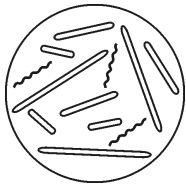
۹ پس وقتی وارد یک سلول شدیم اگر گفتید اولین کاری که می‌کنیم چیست؟! اول به کروموزوم‌های نگاه می‌کنیم! ببینیم خطی‌ست یا حلقوی! اگه حلقوی بود می‌گوییم سلول ما پروکاریوت است (باکتریه). پروکاریوت‌ها یک نسخه کروموزوم حلقوی (حاوی DNA حلقوی و پروتئین) دارند.

یک سری DNA های حلقوی کوچک هم به نام پلازمید در برخی از باکتری‌ها دیده می‌شوند.





۱۵ اگر کروموزوم‌های سلول خطی بود، ۲ تا کار دیگر می‌کنیم! یکی این که تعداد کل کروموزوم‌هایش را می‌شماریم و دوم این که می‌بینیم کروموزوم‌هایش چندتا چندتا به هم شبیه هستند.



مثلاً در سلول روبه‌رو کل کروموزوم‌ها ۱۲ تا است که این کروموزوم‌ها ۳ تا ۳ تا به هم شبیه هستند. پس برای سلول روبه‌رو می‌نویسیم  $12 = 3n$ . این سلول ۴ مجموعه کروموزوم دارد که در هر مجموعه ۳ کروموزوم قرار می‌گیرد. کروموزوم‌های درون یک مجموعه از ۴ مدل مختلف و نسبت به هم غیرهمتا هستند. به سلولی که یک مجموعه کروموزوم دارد:  $n$  یا هاپلوئید، دو مجموعه:  $2n$  یا دیپلوئید، سه مجموعه:  $3n$  یا تریپلوئید و ... می‌گویند. طبق تعریف کتاب درسی، هر مجموعه کروموزوم شامل کروموزوم‌هایی است که نسبت به هم همتا نیستند.

۱۱ کروموزوم‌ها را دو جور نشان می‌دهند، یکی  $\{$  جوری و دیگری  $\}$  جوری! در حالت اول کروموزوم ما تک‌کروماتیدی است یعنی یک کروماتید دارد، یک قطعه DNA دارد که حاوی دو رشته‌ی پلی‌نوکلئوتیدی است و یک سانترومر. در مرحله‌ی S (هماندسازی) اینترفاز، کروموزوم تک‌کروماتیدی مضاعف می‌شود و برای خودش یک کروماتید دیگر می‌سازد و می‌شود کروموزوم دوکروماتیدی یا مضاعف‌شده. کروموزوم ۲ کروماتیدی:

۱۲ یک سانترومر دارد.

۱۳ یک کروموزوم است نه ۲ تا کروموزوم.

۱۴ از دو کروماتید خواهری تشکیل شده است.

۱۵ دو قطعه DNA جدا از هم دارد که توالی آن‌ها عین هم است (در صورت عدم وقوع کراسینگ‌اور). البته این دو قطعه در محلی به نام سانترومر به یکدیگر متصل شده‌اند.

۱۶ ۴ نوار پلی‌نوکلئوتیدی دارد که دو به دو توالی آن‌ها عین هم است (در صورت عدم وقوع کراسینگ‌اور).



۱۷ توالی DNA و ژن‌های موجود روی دو کروماتید خواهری یک کروموزوم همیشه عین هم هستند (در صورت عدم وقوع کراسینگ‌اور موثر). یعنی اگر یک کروماتید ژن  $a$  داشته باشد کروماتید خواهری آن هم حتماً ژن  $a$  دارد.

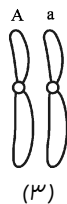
۱۸ به ۲ کروماتید یک کروموزوم ۲ کروماتیدی، کروموزوم می‌گویند. ۲ کروماتید خواهری همیشه، هم موضوع ژن‌هایشان یکی است و هم توالی ژن‌هایشان (اگر کراسینگ‌اور رخ ندهد). دو کروموزوم همتا همیشه موضوع ژن‌هایشان یکی است اما توالی نوکلئوتیدی‌های ژن‌های آن‌ها می‌تواند یکسان (هوموزیگوس) یا متفاوت (هتروزیگوس) باشد.



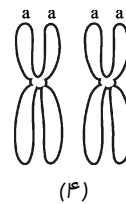
(۱) یک کروموزوم  
دوکروماتیری با موضوع و توالی یکسان



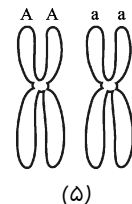
(۲) دو کروموزوم همتای تک‌کروماتیری با موضوع و توالی یکسان



(۳) دو کروموزوم همتای تک‌کروماتیری با موضوع یکسان و توالی متفاوت



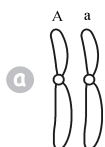
(۴) حالت دوکروماتیری شکل (۲)



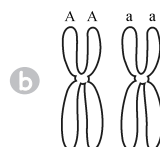
(۵) حالت دوکروماتیری شکل (۳)

وقتی می‌گوییم ژنوتیپ فردی  $Aa$  است یا  $AA$ ، داریم دو کروموزوم همتا یا هومولوگ تک‌کروماتیدی را نشان می‌دهیم نه دو کروماتید خواهری یک کروموزوم را. در واقع در مسائل ژنتیک خیلی کاری به حالت مضاعف و دوکروماتیدی کروموزوم‌ها نداریم.

۱۹ شکل زیر را در نظر بگیرید. دقت کنید در مورد حالت  $b$  نمی‌نویسیم ژنوتیپ  $AAaa$ ، بلکه آن را در حالت تک‌کروماتیدی در نظر می‌گیریم چرا که  $AAaa$  یعنی ۴ ژن و این یعنی سلول ما  $4n$  است در حالی که سلول ما  $2n$  است، فقط کروموزوم‌هایش مضاعف شده است.



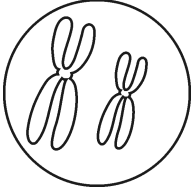
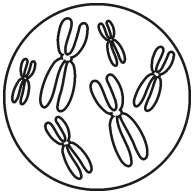
ژنوتیپ  $Aa$



ژنوتیپ  $Aa$



سلول مقابل یک سلول  $2n = 6$  را نشان می‌دهد که ۶ کروموزوم و ۶ سانترومر دارد و کروموزوم‌های آن دو کروماتیدی هستند. کل سلول ۱۲ کروماتید و یا ۱۲ قطعه DNA و یا ۲۴ نوکلئوتیدی دارد.



شکل مقابل یک مجموعه کروموزوم از یک سلول ..... را نشان می‌دهد.

$$3n = 6 \quad (2)$$

$$n = 1 \quad (4)$$

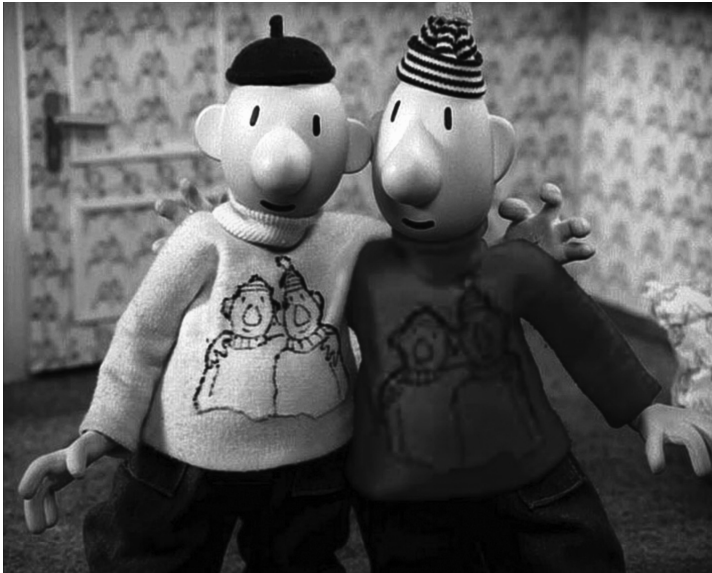
$$2n = 2 \quad (1)$$

$$2n = 8 \quad (3)$$

به صورت سؤال نگاه کنید. می‌گویید یک مجموعه از یک سلول. می‌دانید که هر مجموعه شامل کروموزوم‌های غیرهمتابست. پس وقتی عدد هاپلوئید یا  $n$  یک سلول ۲ باشد آن سلول یا  $n = 2$  است، یا  $2n = 4$  یا  $3n = 6$  یا  $4n = 8$  یا ... که فقط  $3n = 6$  در گزینه‌هاست.

## ژن‌ها، آلل‌ها، ژن

۱۵ هر قسمت از یک کروموزوم، جایگاه و محل قرارگیری ژن‌های مربوط به یک موضوع خاص است. مثلاً در جفت کروموزوم شماره‌ی ۹ انسان،



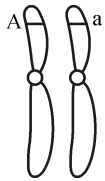
در محل بازوی بلند (این مطلب خارج از کتاب درسی است) همیشه و همیشه ژن‌های مربوط به گروه خونی قرار می‌گیرند (یعنی در واقع توالی‌های سازنده‌ی پروتئین‌های گروه خونی در این محل قرار می‌گیرند). سؤال این است که آیا در این جایگاه همیشه یک ژن و یک توالی قرار می‌گیرد؟ پاسخ منفی است! در این جایگاه برای گروه خونی ۳ ژن A، B، O با ۳ توالی متفاوت DNA می‌توانند قرار بگیرند. به ژن‌هایی که می‌توانند در یک جایگاه به جای هم قرار بگیرند می‌گویند ژن‌های آلل یا همان آلل. ژن‌های آلل در مورد یک موضوع هستند هر چند توالی آن‌ها با هم متفاوت است.

در واقع آلل صفتی است مثل برادر. من و کمیل هر دو آدم (ژن) هستیم و ضمناً نسبت به هم برادر (آلل) هستیم. ژن‌ها همگی ژن (آدم) هستند اما همه نسبت به هم برادر نیستند. ژن‌هایی که بتوانند به جای هم در یک جایگاه قرار بگیرند، آلل (برادر) هستند. مثلاً ۳ ژن A، B، O گروه فونی، ژن هستند و ضمناً نسبت به هم آلل می‌باشند. این ۳ ژن نسبت به ژن a (ژن زالی) آلل نیستند. هر چند هم A، B، O و هم a ژن هستند، اما اون ۳ تا با این یکی رابطه‌ای آللی و برادری ندارند. وقتی داریم می‌گوییم: «آلل A در گروه فونی»، به جورایی داریم می‌گوییم: «ژن A که نسبت به B و O آلل است». البته این آفرش رو که نمی‌گوییم، در همون کلمه‌ی آلل مستتره. ۳ عبارت ژن، آلل و جایگاه ژنی قبلی باها می‌توانند به درستی و در یک مفهوم به جای هم به کار بروند. مثلاً می‌توانیم بگوئیم هر انسان برای گروه فونی اصلی، ۲ ژن دارد = ۲ آلل دارد = ۲ جایگاه ژنی دارد. مثلاً وقتی می‌گوئیم فرد AB برای گروه فونی ۲ ژن دارد، یعنی ۲ آلل دارد، یعنی ۲ جایگاه ژنی دارد. پس همیشه می‌توانیم به جای ژن از آلل و به جای آلل از ژن استفاده کنیم، چیز وقتی که ژن‌های مورد بحث نسبت به هم آلل نباشند. یک عبارت دیگر عبارت «ژن‌های آلل» است. ژن‌های آلل یعنی ژن‌ها برادر هم هستند و می‌توانند به جای هم به کار روند.



شایع شده است که به جای عبارت درست ژن‌های آلل از عبارت کمی نادرست آلل‌های یک ژن استفاده می‌شود (اشتباه رایج). در واقع در عبارت دوم منظور از کلمه ژن، همان جایگاه ژنی است، یعنی آللهایی (ژن‌هایی) که می‌توانند به جای هم در یک جایگاه ژنی قرار بگیرند.

تکته‌ای که شاید کمی آدم را دچار سردرگمی کند این است که هر فرد ۲n برای گروه فونی ۲ جایگاه ژنی، ۲ ژن، ۲ آلل دارد (هر ۳ هم‌ارز هستند)، اما در محیط برای گروه فونی ۳ ژن A، B و O را داریم که نسبت به هم آلل هستند. پس این‌ها دیرید که در یک فرد، ۲ آلل، ژن یا جایگاه ژنی داشتیم و برای همان موضوع، در جمعیت ۳ آلل یا ژن. البته در جمعیت دیگر جایگاه ژنی معنا ندارد! پس وقتی به شما می‌گویند این ژن، ۵ آللی است، ژن یعنی جایگاه ژنی (اشتباه رایج) و ۵ آللی یعنی برای این جایگاه ژنی، ۵ ژن آلل (= ژن = آلل) در جمعیت وجود دارد.



۱۶ پس Aa چیه؟ A و a، ۲ تا ژن آلل هستند که در یک فرد ۲n و دیپلوئید روی یک جفت کروموزوم هم‌تا قرار گرفتند و ژنوتیپ آن فرد ۲n را کردند Aa.

Aaa یعنی چی؟ یعنی سلول‌های فرد مورد نظر، ۳n کروموزومی‌ست. به همین دلیل ژنوتیپ آن فرد در مورد این آلل‌ها ۳ تا ژن آلل (حرف) دارد.

۱۷ اگر آلل‌های موجود در ژنوتیپ یک فرد کاملاً شبیه هم باشند به آن فرد می‌گویند هموزیگوس مثل RR، aa و WWW. اگر در یک ژنوتیپ، آلل‌ها متفاوت باشند، فرد هتروزیگوس است مثل Bb، Aaa، RW و ...

۱۸ بین ژن‌های آلل یا همون آلل‌های یک ژن (در واقع آلل‌های یک جایگاه ژنی) یعنی مثلاً بین A و a، بین B، A و O و بین R و W، ۳ جور رابطه از نظر استعماری می‌تواند وجود داشته باشد:

a رابطه‌ی غالب و مغلوبی: مثلاً در فردی با ژنوتیپ Aa، آلل A بر آلل a غالب است. یعنی ژن A پروتئین اصلی و مهم را می‌سازد و ژن a یا پروتئینی نمی‌سازد و یا اگر هم پروتئینی بسازد، تأثیرش خیلی کم است. این است که می‌گویند فردی با ژنوتیپ Aa فنوتیپ A دارد. در رابطه‌ی غالب و مغلوبی آلل‌ها را با حرف بزرگ و کوچک نشان می‌دهند. پس هر جا دیدید Ll، Bb، Pp یعنی بین دو آلل رابطه‌ی غالب و مغلوبی برقرار است. البته عکس این قضیه برقرار نیست. مثلاً در گروه‌های خونی آلل‌های A و B بر O غالب هستند اما خبری از حرف کوچک و بزرگ نیست.

b رابطه‌ی هم‌توانی: وقتی زور ۲ تا ژن آلل با هم هم‌اندازه باشد و هر دو به صورت جدا خودشان را نشان دهند (و پروتئین بسازند)، به نسبت بین



این آلل‌ها می‌گویند هم‌توانی. مثلاً برای آلل‌های گروه خونی در فردی که ژنوتیپ AB دارد چون هم ژن A و هم ژن B هر دو روشن می‌شوند و به ترتیب پروتئین‌های A و B را می‌سازند، رابطه‌ی بین این ۲ تا آلل هم‌توان است. پس فردی با ژنوتیپ AB، فنوتیپ AB خواهد داشت، چون هم پروتئین A را می‌سازد و هم پروتئین B را. در اسب‌ها هم آلل موی سفید و قرمز نسبت به هم هم‌توان هستند. یعنی اسب که ۲n است اگر ۲ آلل قرمزی مو و سفیدی مو را در کنار هم داشته باشد، رنگش چه رنگی می‌شود؟ صورتی؟ نه اشتباه کردی!

به جاهائیش قرمز می‌شه و به جاهائیش سفید. به این رنگ اسب می‌گن اَبَرش!



غالب ناقص: به حالت دیگر هم هست که هر ۲ تا آل فعال هستند و پروتئین می‌سازند، ولی پروتئین‌هایشان با هم قاطی می‌شوند و یک چیز حد وسطی درست می‌شود و اثر هیچ‌یک از آل‌ها را جدا نمی‌شود پیدا کرد. مثلاً آل قرمزی (R) و آل سفیدی (W) رنگ گل میمونی، نسبت به هم غلبه‌ی ناقص دارند و در کنار هم گل صورتی ایجاد می‌کنند. پس گل میمونی با ژنوتیپ RW فنوتیپش صورتی است. همین‌طور رابطه‌ی بین آل موی صاف و آل موی فرفری در انسان غالب ناقص است. یعنی فردی که هم آل موی فرفری و هم آل موی صاف را دارد، موهایش موجدار (چیزی حد وسط صاف و فرفری) می‌شود.

۱۹) حالا  $AaBb$  یعنی چی؟ یعنی ژنوتیپ‌های ۲ جفت ژن در یک فرد  $۲n$ ، که دوه‌دو نسبت به هم آل هستند (یعنی A با a و B با b). ولی  $Aaaa$  یعنی ژنوتیپ‌های ۴ آل مربوط به یک جایگاه در یک فرد  $۴n$  کروموزومی که هر ۴ تا ژن نسبت به هم آل هستند.

## سفت‌ترین مفهوم

خب، همه‌ی این‌ها را گفتیم تا بتوانیم توی این کادر این‌ها را در کنار هم ترکیب کنیم و کل داستان ژنتیک را یک‌جا برایتان تعریف کنیم.

۲۰) صفت‌ها<sup>۱</sup> دو دسته‌اند: تک‌ژنی و چندژنی. صفت تک‌ژنی (اتوزومی) صفتی است که یک فرد  $n$  برای آن صفت یک آل (ژن و یک جایگاه ژنی) دارد، فرد  $۲n$ ،  $۲$  تا ژن،  $۳n$ ،  $۳$  تا و ... حالا پس چرا بهش می‌گن تک‌ژنی؟ چون مبنای تعریف صفت تک‌ژنی بر اساس یک سلول هاپلوئید است (یعنی هر فرد  $n$  برای کنترل آن صفت فقط یک آل، ژن یا جایگاه ژنی دارد). پس  $Aa$  در انسان در کنترل یک صفت تک‌ژنی نقش دارد. چرا؟ این‌که  $۲$  تا آل دارد! چون انسان  $۲n$  است، برای یک صفت تک‌ژنی  $۲$  آل (ژن، جایگاه ژنی) خواهد داشت. یک جاندار  $۶n$  برای یک صفت تک‌ژنی  $۶$  آل خواهد داشت. صفت‌های گروه خونی و رنگ گل میمونی و خیلی از صفات دیگر تک‌ژنی هستند.



▲ گل میمونی و مرغ مگس‌خوار

۲۱) حالا همین صفت تک‌ژنی که فرد  $n$  یک جایگاه و یک ژن فرد  $۲n$ ،  $۲$  جایگاه و  $۲$  ژن (آل) برایش دارد، در کل جامعه می‌تواند ۲ نوع ژن (آل) داشته باشد یا بیشتر. مثلاً برای رنگ گل میمونی که صفتی تک‌ژنی است و گل میمونی  $۲n$  برای این صفت  $۲$  تا آل و  $۲$  تا جایگاه دارد، در محیط هم ۲ نوع آل (ژن) و  $R$  و  $W$  وجود دارد. اما در مورد گروه خونی اصلی در انسان که آن هم یک صفت تک‌ژنی است و هر فرد  $۲n$  برایش  $۲$  تا جایگاه و  $۲$  تا ژن (آل) دارد، در محیط و برای این  $۲$  جایگاه، ۳ نوع آل (ژن) با توالی‌های متفاوت وجود دارد که می‌تواند در آن  $۲$  تا جایگاه قرار بگیرد. به صفات تک‌ژنی که بیش از  $۲$  آل در محیط برای قرارگیری در جایگاه‌هایشان دارند، می‌گویند صفات تک‌ژنی چندآلی. پس تا این‌جا یاد گرفتی که:

a) صفت‌های تک‌ژنی اتوزومی صفت‌هایی هستند که در هر فرد  $n$  یک جایگاه و یک آل (ژن)، در هر فرد  $۲n$ ،  $۲$  جایگاه و  $۲$  ژن (آل) و ... دارند.

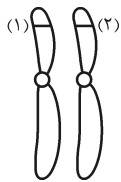
b) صفت‌های تک‌ژنی در محیط یا ۲ نوع آل برای قرار دادن در جایگاه‌هایشان دارند و یا بیش از دو نوع آل، که در حالت اول به آن‌ها می‌گویند تک‌ژنی دوآلی و در حالت دوم تک‌ژنی چندآلی.

می‌فواهیم یک بار دیگر به یک تفصیل جواب بدهیم:

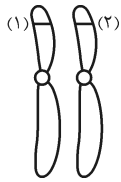
«صفت تک‌ژنی ۳ آلی»

آقا مگر شما همیشه تا این‌جا می‌تلفظید که ژن و آل هر دو یک معنا دارند؟ پس چرا این‌جا می‌گوئیم تک‌ژنی و بعرض می‌گوئیم ۳ آلی؟ چرا این‌جا تعداد ژن‌ها و آل‌ها با هم برابر نیستند؟ درست خوب من قسمت اول یعنی صفت «تک‌ژنی» یعنی در فرد، یعنی در فرد، یعنی در فردی که  $n$  باشد یک ژن، یک آل و یک جایگاه ژنی داریم. اما قسمت بعری یعنی «۳ آلی» مربوط به محیط، به محیط، به محیط است. یعنی برای همان صفت تک‌ژنی که فرد  $n$  یک ژن، آل یا جایگاه دارد، در محیط، در محیط، در محیط  $۳$  ژن (آل) با توالی متفاوت داریم!

۱- تا قبل از تیر کروموزوم‌های جنسی، هر صفتی که در این فصل از آن حرف می‌زنیم، اتوزومی است و همه‌ی این قواعد در حالت اتوزومی صادق است.



۳۲ شکل روبه‌رو یک جفت کروموزوم همتا را در گل میمونی نشان می‌دهد. فرض کنید جایگاه‌های (۱) و (۲) محل قرارگیری ژن‌های (آلل‌های) رنگ گل میمونی باشند. رنگ گل میمونی صفتی تک‌ژنی است و چون گل میمونی  $2n$  است پس برای این صفت تک‌ژنی در فرد ۲ جایگاه و ۲ ژن خواهد داشت. در محیط برای این صفت تک‌ژنی ۲ آلل  $R$  و  $W$  وجود دارد. پس این صفت صفتی تک‌ژنی و دو آلی است. در جایگاه (۱) یا آلل  $R$  قرار می‌گیرد یا آلل  $W$ . در جایگاه (۲) نیز یا آلل  $R$  قرار خواهد گرفت یا آلل  $W$ . این قرارگیری‌های متفاوت باعث ایجاد ۳ نوع ژنوتیپ  $RR$ ،  $RW$  و  $WW$  در جمعیت می‌شود (نحوه‌ی محاسبه‌ی انواع ژنوتیپ‌ها را از روی انواع آلل‌ها، بعداً می‌خوانیم).



۳۳ شکل روبه‌رو یک جفت کروموزوم همتا را در انسان نشان می‌دهد که ژن‌های گروه خونی اصلی روی آن قرار می‌گیرند. انسان  $2n$  است و گروه خونی اصلی صفتی تک‌ژنی است. پس هر فرد برای این صفت باید ۲ جایگاه و ۲ آلل (ژن) داشته باشد. در محیط برای این صفت ۳ نوع آلل (ژن)  $A$ ،  $B$  و  $O$  وجود دارد. پس این صفت، صفتی تک‌ژنی و چند آلی است چون در محیط بیش از ۲ نوع آلل دارد. در جایگاه (۱) یکی از ۳ آلل  $A$ ،  $B$  و  $O$  می‌تواند قرار گیرند، در جایگاه (۲) نیز همین طور است. این قرارگیری‌های متفاوت نهایتاً باعث ایجاد ۶ نوع ژنوتیپ برای گروه‌های خونی اصلی می‌شود (کمی جلوتر چگونگی به‌دست آوردن انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها را خواهیم گفت).

این ۶ نوع ژنوتیپ ۴ نوع فنوتیپ ایجاد می‌کنند. دقت کنید که آلل  $A$  و  $B$  بر آلل  $O$  غالب‌اند. در واقع آلل  $O$  روشن نمی‌شود در حالی که آلل‌های  $A$  و  $B$  روشن می‌شوند و پروتئین‌های  $A$  و  $B$  را می‌سازند. به همین دلیل فرد  $AB$  پروتئین‌های  $A$  و  $B$  را روی گلبول‌های قرمز می‌سازد و فنوتیپش  $AB$  است در حالی که فرد  $AO$ ، فقط پروتئین  $A$  را روی گلبول‌های قرمزش دارد و آلل  $O$  خاموش است. به پروتئین‌های  $A$  و  $B$  که مربوط به گروه خونی اصلی هستند آنتی‌ژن‌های گروه خونی می‌گویند.  $O$  اصلاً آنتی‌ژن نیست چون ژن  $O$ ، نمی‌تواند پروتئین فعالی بسازد. فردی با ژنوتیپ  $OO$  که گروه خونی  $O$  دارد روی سطح گلبول‌های قرمزش نه آنتی‌ژن  $A$  دارد، نه آنتی‌ژن  $B$  و نه آنتی‌ژن  $O$  (این آخری اصلاً وجود خارجی ندارد!).



در خون فردی که گلبول‌های قرمزش آنتی‌ژن  $A$  دارند، پادتنی علیه آن به‌وجود نمی‌آید (پادتن ضد  $A$ ). همین‌طور پادتن ضد  $B$  در مورد آنتی‌ژن  $B$ . اما اگر فردی آنتی‌ژن  $A$  را نداشته باشد حتماً در پلاسما خونش پادتن ضد آنتی‌ژن  $A$  را دارد. مثلاً فردی با گروه خونی  $AB$  روی گلبول‌های قرمزش هم آنتی‌ژن  $A$  دارد و هم آنتی‌ژن  $B$ ، اما در پلاسما خونش هیچ‌یک از پادتن‌های ضد  $A$  و ضد  $B$  را ندارد یا فردی با گروه خونی  $A$ ، آنتی‌ژن  $A$  روی گلبول‌های قرمزش دارد و پادتن ضد  $B$  در پلاسما خونش.

ژنوتیپ	فنوتیپ	چه آنتی‌ژن‌هایی دارد؟	چه پادتن‌هایی دارد؟
AO AA	A	آنتی‌ژن A	پادتن ضد B
BO BB	B	آنتی‌ژن B	پادتن ضد A
AB	AB	آنتی‌ژن A و آنتی‌ژن B	نه پادتن ضد A دارد و نه پادتن ضد B
OO	O	نه آنتی‌ژن A دارد و نه آنتی‌ژن B	هم پادتن ضد A دارد و هم پادتن ضد B

کاربرد این نکات را به صورت غیرمستقیم در حل مسائل ژنتیک خواهید دید.

یک نکته‌ی مهم دیگر این‌که ژن‌های آلل در یک فرد  $2n$  یا بیشتر، روی کروموزوم‌های هم‌تا قرار می‌گیرند و می‌توانند یکسان باشند. مثلاً در فردی با ژنوتیپ  $AA$  برای گروه خونی، این فرد ۲ تا ژن آلل دارد که از یک نوع آلل هستند، پس این فرد هوموزیگوس است. از طرف دیگر در محیط برای گروه‌های خونی ۳ نوع ژن آلل داریم که نمی‌توانند با هم یکسان باشند. در واقع در محیط ژن‌های آلل همیشه با هم متفاوت‌اند، چون در محیط انواع آن‌ها اهمیت دارد نه تعداد آن‌ها. اما در یک فرد ژن‌های آلل می‌توانند متفاوت باشند (هتروزیگوس) یا یکسان (هوموزیگوس)، چون کار به انواعشان نداریم بلکه با تعدادشان سروکله می‌زنیم.



۲۲ گفتیم که صفت‌ها دو دسته‌اند: تک‌ژنی و چندژنی و باز هم گفتیم که صفت‌های تک‌ژنی (که هر فرد  $n$  برایش یک آلل (ژن یا جایگاه ژنی)، هر فرد  $2n$ ،  $2 \times 2$  تا و ...) در محیط یا  $2$  نوع آلل دارند (صفت‌های تک‌ژنی  $2$  آللی، مثل رنگ گل میمونی) و یا بیش از  $2$  نوع آلل (صفت‌های تک‌ژنی چندآللی، مثل گروه خونی اصلی).



حال می‌رسیم به حساب! صفت‌های چندژنی. صفت‌های چندژنی صفت‌هایی هستند که پروتئین‌های متعدد و متفاوتی در کنترل و ایجاد آن‌ها نقش دارند و چندین ژن در چندین جایگاه متفاوت، آن پروتئین‌ها را می‌سازند. با صفت‌های چندژنی باید مثل چند زیرصفت تک‌ژنی برخورد کرد، که هر یک از زیرصفت‌های تک‌ژنی خودش می‌تواند در محیط  $2$  آللی باشد یا چندآللی. مثلاً فرض کنید یک صفت  $3$  ژنی است. اول این‌که، صفتی  $3$  ژنی است یعنی چه؟ یعنی یک فرد هاپلوئید  $3$  تا جایگاه یا  $3$  تا ژن (آلل) برای آن صفت دارد. خب حالا یک انسان برای یک صفت  $3$  ژنی چند آلل دارد؟ چون انسان  $2n$  است برای هر زیرصفت تک‌ژنی  $2$  آلل خواهد داشت پس نهایتاً برای یک صفت  $3$  ژنی،  $6$  ژن خواهد داشت که هر  $6$  ژن با هم آلل نیستند (چون در یک جایگاه نمی‌توانند به جای هم قرار بگیرند). این ژن‌ها دوه‌دو نسبت به هم آلل هستند (چون فرد  $2n$  است). دقت کنید که هر یک از این  $3$  ژن ( $3$  جایگاه ژن در فرد هاپلوئید) می‌توانند در محیط دوآللی یا چندآللی باشند.

آقا باز هم ژن، آلل و جایگاه ژنی رو قاطی کردیم! اینو بگو یعنی پی: یک صفت  $2$  ژنی در انسان  $2n$  که اولی  $3$  آللی و دومی  $5$  آللی است.

قبلاً گفتیم که صفت  $2$  ژنی مربوط به فرد است نه محیط (جمعیت). یعنی یک فرد  $n$  برای یک صفت  $2$  ژنی، خودش  $2 \times 2 = 4$  آلل (جایگاه ژنی) دارد. یک فرد  $2n$  برای این صفت،  $2 \times 2 \times 2 = 8$  آلل (جایگاه ژنی) دارد.

قسمت دوم جمله بالا مربوط به محیط و جمعیت است.

زیرصفت اول در محیط  $3$  آللی =  $3$  ژنی است و زیرصفت دوم در محیط  $5$  آللی =  $5$  ژنی است. یعنی برای زیرصفت اول در محیط  $3$  ژن هست که نسبت به هم آلل هستند و از این  $3$  ژن (آلل)  $2$  تا در هر فرد  $2n$  قرار می‌گیرند و ...

صفات چندژنی در محدوده‌ی کتاب درسی رنگ چشم، طول قد، وزن، رنگ مو، رنگ پوست و ساخت پروتئین هموگلوبین در انسان هستند که همگی توسط بیش از یک ژن (چند ژن) کنترل می‌شوند.



### یک اشتباه رایج!

سهواً و اشتباهی این‌طور مصطلح شده است که به جای کلمه‌ی **جایگاه ژن** از کلمه‌ی **ژن** استفاده می‌کنند. مثلاً می‌گویند ژن (۱)  $3$  نوع آلل در محیط دارد. معمولاً این‌جاست که بچه‌ها کاملاً و کلاً همه چیز را قاطی می‌کنند و چیزی نمی‌فهمند! منظور از این‌که ژن (۱)  $3$  نوع آلل در محیط دارد این است که در جایگاه ژن (۱)،  $3$  نوع آلل (ژن) می‌تواند قرار بگیرد!! به هر حال این غلط خیلی خیلی مصطلح است حتی از این به بعد در این کتاب!! به هر حال ما در این فصل خوب خوب فرق جایگاه ژن، ژن و آلل را برایتان توضیح دادیم.

به شما می‌گویند یک فرد  $2n$  برای یک صفت  $3$  ژنی که ژن اول در محیط  $3$  آللی، ژن دوم  $2$  آللی و ژن سوم  $5$  آللی است، چند آلل دارد؟ جواب این سؤال را قبلاً دادیم و گفتیم که همان‌طور که یک فرد  $2n$  برای یک صفت تک‌ژنی که در محیط  $1000$  تا آلل دارد،  $2$  آلل خواهد داشت، برای یک صفت  $3$  ژنی نیز حداکثر  $6$  آلل خواهد داشت، مستقل از انواع آلل‌های ژن‌ها در محیط.







اگر انسانی برای کنترل یک صفت ژنوتیپ AaDdMN داشته باشد، این صفت چند ژنی است؟

تست

(۴) شش

(۳) سه

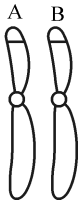
(۲) دو

(۱) تک

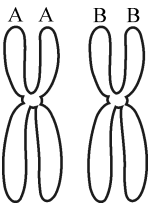
انسان  $2n$  است پس برای یک صفت تک ژنی  $2$  آلل دارد، برای یک صفت دو ژنی  $4$  آلل و برای یک صفت سه ژنی  $6$  آلل. پس این صفت  $3$  ژنی است چون یک انسان برای کنترل آن  $6$  آلل دارد.

پاسخ

نکته‌ی بسیار مهمی که در مباحث پایه‌ای ژنتیک باید به آن توجه کنید این است که ما همه‌ی موارد فوق را در حالت تک کروماتیدی بودن کروموزوم‌ها حساب کردیم. مثلاً وقتی گفتیم فردی با ژنوتیپ RR برای صفت رنگ گل  $2$  تا آلل دارد، منظور در حالت تک کروماتیدی بودن کروموزوم‌ها بوده است. معمولاً منظور طراح هم همین است مگر این که مرحله‌ی آن را ذکر کند. کروماتید فقط در حالت مضاعف بودن کروموزوم به کار می‌رود.



مثلاً در فردی با گروه خونی AB در مرحله‌ی  $G_1$  که کروموزوم‌ها تک کروماتیدی هستند، آلل‌ها به صورت روبه‌روست:



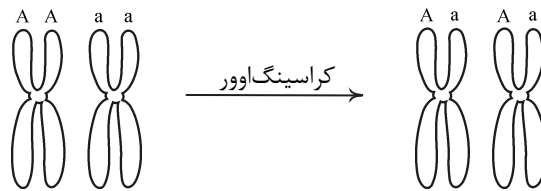
اما در مرحله‌ی  $G_2$  و میتوز و اواخر S که کروموزوم‌ها  $2$  کروماتیدی شده‌اند، آلل‌های فرد با ژنوتیپ AB به صورت روبه‌روست:

در این حالت هم ژنوتیپ فرد AB است نه AAbb.

دقت کنید در یک کروموزوم دو کروماتیدی در حالت عادی (یعنی بدون رخ دادن کراسینگ‌اوور!) همیشه آلل‌ها (ژن‌ها) و توالی‌های دو DNA و دو کروماتید دقیقاً و عمیقاً شبیه هم هستند (می‌دانید که در یک کروموزوم دو کروماتیدی، دو قطعه DNA داریم که هر کدام از آن‌ها دورشته‌ای است).

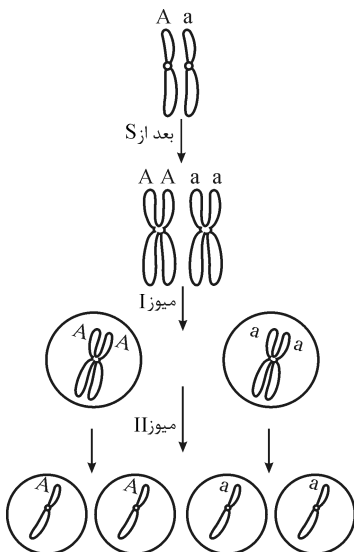
تکلیف

در پیش‌دانشگاهی خواهید خواند که در مرحله‌ی پروفاز میوز I که تتراد تشکیل می‌شود، احتمال دارد در صورت برخورد دو کروموزوم هم‌تا به هم، آلل‌های کروماتیدهای غیرخواهری این دو کروموزوم با هم جابه‌جا شود (به این می‌گویند کراسینگ‌اوور). در این حالت در صورت هتروزیگوس بودن ژنوتیپ فرد، حالتی رخ می‌دهد که آلل‌ها در دو کروماتید یک کروموزوم با هم متفاوت خواهند بود.



**۲۵** گفتیم که در فرد  $2n$  با ژنوتیپ Aa، A و a روی یک جفت کروموزوم هم‌تا هستند که این کروموزوم‌ها بعد از مرحله‌ی S، دو کروماتیدی می‌شوند. در جانوران در سلول‌های زاینده (که  $2n$  هستند) میوز رخ می‌دهد و گامت‌ها ساخته می‌شوند. در آنافاز میوز I، ژن‌های آلل (A و a) از هم جدا می‌شوند. به این می‌گویند اصل تفکیک ژن‌ها که هم‌زمان با تفکیک کروموزوم‌ها در آنافاز میوز I اتفاق می‌افتد. نام دیگر این قانون، قانون اول مندلی است که کمی جلوتر آن را بیشتر می‌نویسیم!

**۲۶** یک قانون دیگر هم هست به اسم اصل جورشدن مستقل ژن‌ها! که از طرف آقای مندلی مطرح شد و خیلی قانون درستی نیست! این قانون می‌گوید در فردی  $2n$  با ژنوتیپ AaBb ژن‌های A و a (که ژن‌های آلل هستند) روی جورشدن و تقسیم شدن ژن‌های B و b (که آن‌ها هم نسبت به هم آلل هستند) در گامت‌ها تأثیر نمی‌گذارند. در پاسخ می‌گوییم: بستگی دارد، حالا به چی؟ پایین با هم می‌بینیم: اگر A/a و B/b روی دو جفت کروموزوم و جدا از هم باشند، بله جورشدن این ژن‌ها مستقل از هم صورت می‌گیرد:





$\frac{A}{a}$

A می‌تواند با b وارد یک گامت شود یا A می‌تواند با B وارد یک گامت شود و این یعنی جورشدن مستقل ژن‌ها →

$\frac{B}{b}$

$\frac{A}{a} \frac{B}{b}$

اما حالت دیگری هست که A/a و B/b روی یک جفت کروموزوم هستند. در این حالت می‌گویند این دو جفت ژن پیوسته‌اند:

در این شرایط دو حالت امکان‌پذیر است که A با b پیوسته (روی یک کروموزوم) باشد یا با B. در هر صورت در این حالت اصل جورشدن مستقل ژن‌ها نقض می‌شود چرا که فرضاً در صورت پیوسته بودن A و B با هم، A در هر گامتی برود، B هم مجبور است که برود و A و B مستقل از هم نیستند.

## بازوری، کروموزوم‌ها؟

۲۷ گفتیم که در سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها یک کروموزوم اصلی و حلقوی می‌بینیم و در هسته‌ی یوکاریوت‌ها تعداد متعددی کروموزوم خطی.

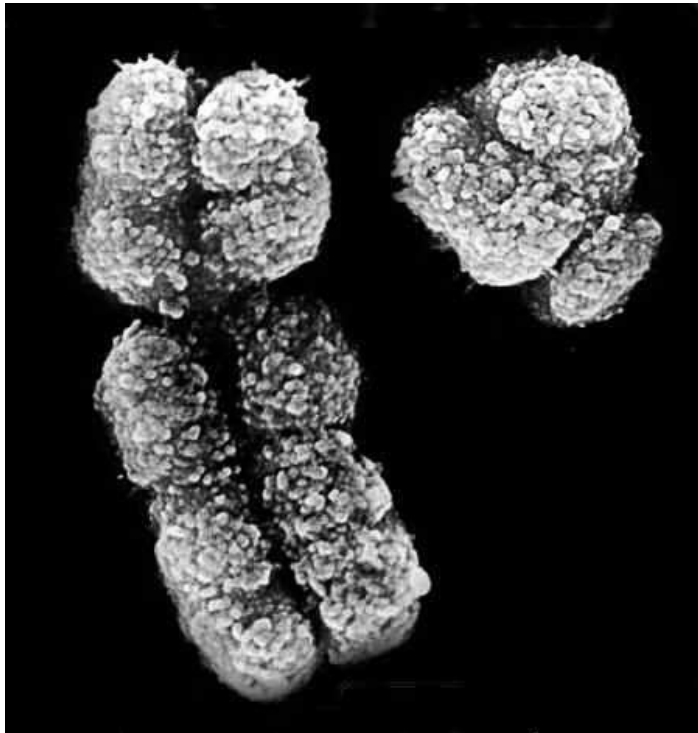
بیشتر جانوران و گیاهان ۲n هستند. بعضی از گیاهان پلی‌پلوئید (چند n، بیش از ۲n) هستند.

قارچ‌ها هاپلوئیدند. کلامیدوموناس و اسپیروژیر (هر ۲ جزو جلبک‌های سبز) هاپلوئید هستند. دیاتوم‌ها (جزو فرمانروی آغازیان) ۲n هستند.

۲۸ تعداد کروموزوم‌های سلول‌های جانداران زیر در کتاب ذکر شده است. آن‌ها را بلد باشید:

ملخ نر: ۲۳	مرغ: ۷۸	شامپانزه: ۴۸
ملخ ماده: ۲۴	فروس: ۷۸	سیب زمینی: ۴۸
انسان: ۴۶	سگ: ۷۸	آلو: ۴۸
سرفس مارزبان: ۱۲۶۲ (بیش از ۵۰۰ جفت)	پنی سیلیوم: ۲	مگس سرکه: ۸

دقت کنید از روی تعداد کروموزوم‌ها نمی‌توان فهمید که فرد چند n است.



▲ کروموزوم‌های Y طفلی‌ها، نسل به نسل اندازه‌شون رو به زواله

۲۹ در جانوران، باز هم دقت کنید در جانوران،

کروموزوم‌هایی هستند که به صورت مستقیم باعث تعیین جنسیت جانور می‌شوند یعنی باعث می‌شوند جانور نر یا ماده شود. به این کروموزوم‌ها، کروموزوم‌های جنسی می‌گویند. به بقیه‌ی کروموزوم‌های فرد که در تعیین جنسیت نقش مستقیمی ندارند، کروموزوم‌های غیرجنسی یا اتوزوم می‌گویند.

۳۰ تعداد کروموزوم‌های جنسی و مکانیسم تعیین

جنسیت در جانوران یکسان نیست. اما بیشتر جانوران (انسان، سگ، مرغ و خروس، پرنده‌ها و پروانه‌ها و ...) یک جفت کروموزوم جنسی دارند.

۳۱ در انسان یک جفت کروموزوم جنسی، در زنان

شامل دو کروموزوم X (که همتا هستند) و در مردان شامل یک کروموزوم X و یک کروموزوم Y است. X و Y نسبت به هم همتا نیستند. Y کروموزومی کوچک‌تر و متفاوت از X است.

در انسان وجود کروموزوم Y باعث نر شدن و نبود آن باعث ماده شدن فرد می‌شود، اما در همه‌ی جانوران این‌گونه نیست.

۳۲ در پرندگان و پروانه‌ها نرها XX هستند و ماده‌ها XY (برعکس انسان). به صورت قراردادی در پرندگان و پروانه‌ها XY را به صورت ZW و



▲ اشتباه نکنید! این تبلیغ شرکت apple نیست، هر چند ما بهش علاقمندیم؛ خواستیم مقایسه‌ی اندازه‌ی بعضی ملخ‌های کوچولو دستتون بیاد!!

XX را به صورت ZZ هم نمایش می‌دهند. دقت کنید هر دو جورش درسته.

۳۳ ملخ نر  $2n = 23$  و ملخ ماده  $2n = 24$  است. ملخ نر را به صورت  $XO + 22A$  و ملخ ماده را به صورت  $XX + 22A$  هم نمایش می‌دهند. A اول کلمه‌ی اتوزوم است. O در XO در واقع فقدان یک کروموزوم جنسی را نشان می‌دهد  $1X + 22A$  می‌شود ۲۳ کروموزوم.

این دید که هر سلول  $2n$  لزوماً تعداد کروموزوم‌هایش زوج است، همیشه درست نیست. مثلاً ملخ نر که  $2n$  است، ۲۳ کروموزوم دارد.

کروموزوم X و Y نسبت به هم هم‌تا نیستند و اندازه‌ی متفاوتی دارند و اطلاعات روی آن‌ها (موضوع آلل‌های آن‌ها) با هم یکسان نیست.

۳۴ با این‌که ملخ نر  $2n = 23$  است، دقت کنید که از نظر کروموزوم جنسی دو نوع گامت تولید می‌کند. در نصف گامت‌هایش کروموزوم X وجود دارد ( $X + 11A$ ) و در نصف دیگر کروموزوم X وجود ندارد و O وجود دارد! ( $O + 11A$ ). یعنی نصف گامت‌های ملخ نر ۱۲ کروموزومی هستند و نصف دیگر آن‌ها ۱۱ کروموزومی.

۳۵ به صفاتی که ژن‌های کنترل‌کننده‌ی آن‌ها روی کروموزوم X قرار دارند، صفات

وابسته به X می‌گویند. در ژنتیک صفات وابسته به X از این جهت اهمیت دارند که ساز و کار حل مسائل آن‌ها با مسائل اتوزومی کمی متفاوت است. چرا که مثلاً در مرد که  $XY + 44$  است و  $2n$  است، برای همه‌ی صفات‌های تک‌ژنی اتوزومی، ۲ آلل هست اما برای صفات‌های وابسته به X تک‌ژنی فقط یک آلل وجود دارد.

شکل زیر از صفحه‌ی ۴۴ کتاب پیش‌دانشگاهی برداشته شده است و تعدادی از ژن‌های روی کروموزوم X را نشان می‌دهد. اسم و ترتیب قرارگیری آن‌ها را روی کروموزوم X به‌خاطر بسپارید:



۱- تحلیل عضلانی دوشن (بیماری)

۲- رنگدانهای شدن شبکیه‌ی چشم (بیماری)

۳- سیناپسین I (نام یک پروتئین)

۴- کام شکاف‌دار، وابسته به X (بیماری)

۵- پذیرنده‌ی آنژیوتانسین ۲ (نام یک پروتئین)

۶- نشانگان زالی - ناشنوایی (بیماری)

۷- پروتئین ریوزومی  $L_{10}$  (نام یک پروتئین)

برای این‌که ترتیب این ژن‌ها یادتون نره، اینو داشته باشید: ترس کپن ۱۰!!

علاوه بر این‌ها ژن‌های دو بیماری هموفیلی و کوررنگی هم روی کروموزوم X هستند و این بیماری‌ها وابسته به X اند.

## صفات تاثیر محیط

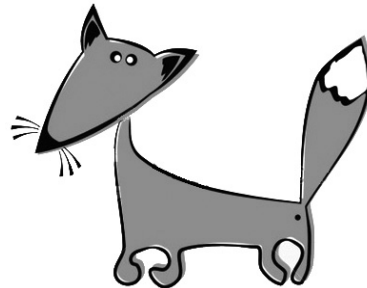
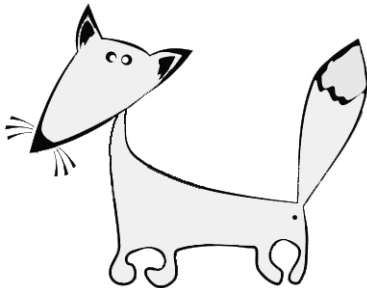
۳۶ همه‌ی صفات‌های موجودات زنده ژنتیکی هستند و به وسیله‌ی ژن‌ها کنترل می‌شوند، اما همین صفات می‌توانند هیچی، کمی یا خیلی تحت تأثیر محیط هم باشند. دقت کنید محیط هم خیلی‌وقت‌ها از طریق تأثیر روی ژن‌ها صفات را تغییر می‌دهد. مثلاً محیط می‌تواند باعث خاموش شدن یا روشن شدن یک ژن شود یا می‌تواند باعث شود از روی یک ژن کم‌تر یا بیشتر پروتئین ساخته شود و ... در نهایت تأثیر محیط روی صفات یعنی تأثیر محیط روی فنوتیپ. مثلاً دوقلوهای همسان ژن‌ها و ژنوتیپ کاملاً یکسانی دارند اما اگر در دو محیط متفاوت بزرگ شوند، برخی از صفات آن‌ها با هم متفاوت می‌شود، این یعنی آن صفات تحت تأثیر محیط هستند. برخی صفات آن‌ها هم یکسان خواهد ماند، این یعنی یا آن صفات تحت تأثیر محیط نیستند و یا این‌که محیط دوقلوی مورد بررسی در مورد آن صفت خاص یکسان بوده است (امکان دارد دو محیط متفاوت تشابه‌هایی هم داشته باشند، بالاخره از بعضی جهات).

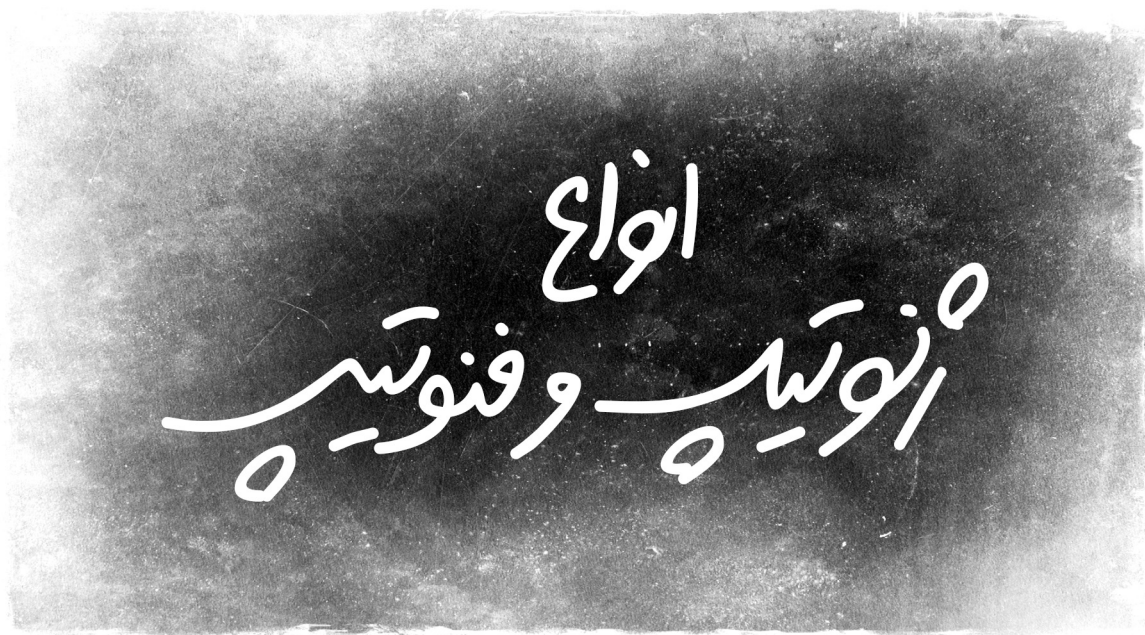


▲ پرسپولیسیا ما رو ببخشن! ایشالا تو کتاب بعدی جبران می‌کنیم!

۲۷ در انسان رنگ پوست، قد و هوش صفت‌هایی هستند که تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند. این صفت‌ها چندژنی هم هستند. در گل ادریسی صفت رنگ گل تحت تأثیر محیط است. اگر گل ادریسی را در خاک اسیدی بکاریم گل‌ها آبی می‌شوند (قابل توجه استقلالی‌ها!!) و اگر در خاک خنثی بکاریم گل‌ها صورتی می‌شوند. رنگ روباه قطبی هم صفتی تحت تأثیر محیط است. افزایش دمای هوا در تابستان باعث می‌شود که ژن‌های آنزیم‌های سازنده‌ی رنگیزه در روباه فعال شوند و با ساخته شدن آنزیم‌های سازنده‌ی ملانین در فصل تابستان رنگ روباه قهوه‌ای می‌شود. در فصل

زمستان با کاهش دمای محیط، خاموش شدن ژن‌ها و عدم ساخت آنزیم‌های سازنده‌ی ملانین، ملانینی ساخته نمی‌شود و روباه سفید می‌شود. دقت کنید رنگ بدن روباه قطبی مثل بقیه‌ی صفت‌های دیگر تحت کنترل ژن‌هاست. اما ژن‌های کنترل‌کننده‌ی رنگ بدن روباه قطبی تحت تأثیر محیط هستند.





## انواع ژنوتیپ‌ها صفاً اتوزوم

۱ تا این جا یاد گرفتیم که صفات می‌توانند تک‌ژنی باشند [یعنی فرد هاپلوئید برای آن صفت یک ژن، یک آلل یا یک جایگاه ژنی داشته باشد، فرد دیپلوئید ۲ تا، تریپلوئید ۳ تا و ...] یا چندژنی [یعنی یک فرد هاپلوئید که هیچ کروموزوم همتایی ندارد برای کنترل آن صفت چند ژن دارد که این ژن‌ها نسبت به هم آلل نیستند. چون ژن‌های آلل روی جفت کروموزوم‌های همتا قرار می‌گیرند، در حالی که فرد هاپلوئید کروموزوم همتا ندارد.]

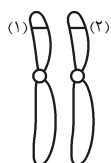
۲ جدا از همه‌ی این مسائل گفتیم که در یک صفت تک‌ژنی، ۲ آلل برای جایگاه‌های آن می‌تواند در محیط (جمعیت) وجود داشته باشد (صفت تک‌ژنی دوآلی) یا بیشتر از ۲ آلل (صفات تک‌ژنی چندآلی). در این مبحث می‌خواهیم ببینیم با انواع آلل‌های موجود در محیط (جمعیت)، برای یک صفت تک‌ژنی یا چندژنی چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ در جمعیت به وجود می‌آید.

۳ رنگ گل در گل میمونی صفتی تک‌ژنی است. چرا؟ چون گل میمونی ۲n برای این صفت ۲ آلل دارد. می‌دانید که این صفت تک‌ژنی، دوآلی است. چرا؟ چون در محیط (جمعیت گل‌های میمونی) نیز ۲ آلل R و W را دارد. با توجه به ۲n بودن گل میمونی می‌دانید که ژنوتیپ‌های گل میمونی ۲ آلی هستند.

در یک فرد n، ژنوتیپ جاندار برای یک صفت تک‌ژنی دوآلی یا چندآلی، یک آلل دارد.

در یک فرد ۲n، ژنوتیپ جاندار برای یک صفت تک‌ژنی دوآلی یا چندآلی، دو آلل دارد.

در یک فرد ۳n، ژنوتیپ جاندار برای یک صفت تک‌ژنی دوآلی یا چندآلی، سه آلل دارد.



خب حالا ۲ جایگاه روبه‌رو را که مربوط به آلل‌های رنگ گل در گل میمونی است، در نظر بگیرید. می‌خواهیم ببینیم با توجه به آلل‌های موجود در محیط نهایتاً چند نوع ژنوتیپ ۲ آلی به‌وجود می‌آید. در جایگاه (۱) هر دو آلل R و W می‌توانند قرار بگیرند. در جایگاه (۲) هم همین‌طور. در نگاه اول به نظر می‌رسد که ۲ حالت در جایگاه (۱) رخ می‌دهد و ۲ حالت در جایگاه (۲) و با در نظر گرفتن جایگاه (۱) و (۲) به صورت هم‌زمان، ۲×۲ یعنی ۴ ژنوتیپ ۲ آلی برای رنگ گل میمونی ۲n در جمعیت به وجود می‌آید.



اما نکته‌ی ظریف و جالب این است که ژنوتیپ RW با ژنوتیپ WR فرقی ندارد و یک نوع ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شود. پس از ۴ تا ژنوتیپ RR ، RW ، WR ، WW ، تا ۲ عین هم هستند. بنابراین نهایتاً برای رنگ گل میمونی ۲n ، ۳ نوع ژنوتیپ ۲ آلی RR ، RW و WW در جمعیت دیده می‌شود.

RR و RW → ۲ حالت دارد → ؟ R

فقط WW → یک حالت دارد → ؟ W

(چون حالت RW را بالا حساب کردیم! فقط یک حالت دارد)

به نمودار بالا دقت کنید اگر در یک جایگاه R بگذاریم، برای جایگاه بعدی ۲ حالت داریم، یا R می‌گذاریم یا W. اگر در یک جایگاه W بگذاریم، برای جایگاه بعدی دیگر ۲ حالت جدید نداریم. چون RW را قبلاً تولید کرده‌ایم و فقط یک ژنوتیپ WW را، جدید می‌توانیم ایجاد کنیم!  $2 + 1 = 3$

**۴** حالا یک صفت تک‌ژنی و چندآلی را در انسان ۲n در نظر بگیرید. گروه خونی اصلی در انسان تک‌ژنی است؛ یعنی هر فرد ۲n برای این صفت، ۲ آلی دارد. این صفت در محیط، ۳ آلی A ، B ، O را دارد. می‌خواهیم ببینیم با این ۳ آلی موجود در محیط چند نوع ژنوتیپ ۲ آلی برای انسان می‌توان ساخت.

گفتیم هر انسان برای هر صفت تک‌ژنی ۲ جایگاه دارد. فرض کنید در یک جایگاه A قرار گیرد.

؟ A : حالت اول

در جایگاه بعدی چند نوع آلی می‌توانیم قرار دهیم؟ درست است، ۳ نوع: A ، B ، O. یعنی ۳ نوع ژنوتیپ AA ، AB ، AO تشکیل می‌شود.

؟ B : حالت دوم

حالا فرض کنید در یک جایگاه B قرار می‌دهیم و جایگاه کناری‌اش خالی است. حالا در کنار B چه آللهایی را قرار دهیم تا ژنوتیپ‌های غیر تکراری ایجاد شود؟ AB را در بالا تشکیل دادیم، پس در کنار B، در این لحظه اگر A را قرار دهیم، AB تکراری تشکیل می‌شود. بنابراین در کنار B ، ۲ آلی B و O را قرار می‌دهیم که ۲ نوع ژنوتیپ غیر تکراری BB و BO تشکیل می‌شود. در حالت سوم آلی O را در یک جایگاه قرار می‌دهیم و در مورد جایگاه کناری‌اش فکر می‌کنیم!

؟ O : حالت سوم

در حالت اول A و در حالت دوم B در کنار O قرار گرفت. پس در حالت سوم فقط یک ژنوتیپ غیر تکراری می‌توان ایجاد کرد و آن هم حالتی است که O در کنار O قرار گیرد و ژنوتیپ OO تشکیل شود.

AO , AA , AB → ۳ حالت ؟ A : حالت اول

BO , BB → ۲ حالت ؟ B : حالت دوم

OO → ۱ حالت ؟ O : حالت سوم

مجموع انواع ژنوتیپ‌های ۲ آلی که می‌توان با ۳ نوع آلی مختلف ساخت، می‌شود  $3 + 2 + 1 = 6$ . پس در جمعیت انسان‌ها برای صفت تک‌ژنی ۳ آلی گروه خونی ۶ نوع ژنوتیپ در جمعیت وجود دارد که هر فرد فقط یکی از آن‌ها را دارد.

**۵** حالا در انسان برای یک صفت اتوزومی (غیر وابسته به X) و تک‌ژنی که در محیط ۴ آلی دارد، چند نوع ژنوتیپ وجود دارد؟ دقت کنید که یک انسان ۲n است و برای همه‌ی صفت‌های تک‌ژنی ۲ آلی دارد. حالا می‌خواهیم ببینیم با ۴ نوع آلی موجود در جمعیت، چند نوع ژنوتیپ دوتایی (۲ آلی) در انسان‌ها دیده می‌شود. اگر بر اساس روش حل قبلی بروید ۴ حالت به‌وجود می‌آید که نهایتاً  $1 + 2 + 3 + 4 = 10$  نوع ژنوتیپ، یعنی نهایتاً ۱۰ نوع ژنوتیپ ۲ آلی با ۴ آلی می‌توان ساخت.

برای یک صفت اتوزومی تک‌ژنی و ۲ آلی،  $2 + 1 = 3$  یعنی ۳ نوع ژنوتیپ دوآلی در جمعیت وجود دارد.

برای یک صفت اتوزومی تک‌ژنی و ۳ آلی،  $3 + 2 + 1 = 6$  یعنی ۶ نوع ژنوتیپ دوآلی در جمعیت وجود دارد.

برای یک صفت اتوزومی تک‌ژنی و ۵ آلی،  $5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 15$  یعنی ۱۵ نوع ژنوتیپ دوآلی در جمعیت وجود دارد.

برای یک صفت اتوزومی تک‌ژنی n آلی (دو یا چند یا هر چندتا!)  $n + (n - 1) + (n - 2) + \dots$  نوع ژنوتیپ ۲ آلی در جمعیت وجود

دارد.



## سپس چه؟ $\frac{n(n+1)}{2}$



یک روز وقتی آقای گاوس کلاس پنجم ابتدایی بود و خیلی شیطونی می کرد! معلمش را وادار کرد که او را بگذارد سر یک کاری! معلمش برای این که او را تنبیه کند، به او گفت: مجموع اعداد ۱ تا ۱۰۰ را حساب کن. یعنی حاصل عبارت  $۱۰۰+۹۹+۹۸+۹۷+۹۶+۹۵+۹۴+۹۳+۹۲+۹۱+۱۰۰$ . معلم گاوس فکر می کرد که تا گاوس حساب کنه شب می شه!!

خلاصه بعد از کم تر از یک دقیقه آقای گاوس به جواب رسید و معلم گاوس بدجوری پُکُر! شد. حالا چه جوری؟

$$\begin{matrix} 1 & + & 2 & + & 3 & + & 4 & + & \dots & + & 99 & + & 100 \\ 100 & + & 99 & + & 98 & + & 97 & + & \dots & + & 2 & + & 1 \end{matrix}$$

در بالا مجموع ۱ تا ۱۰۰ را دو بار نوشته ایم: یک بار از ۱ تا ۱۰۰ و بار دیگر از ۱۰۰ تا ۱. اگر دقت کنید، مجموع عددهای زیر هم می شود ۱۰۱. یعنی هم ۱+۱۰۰، هم ۲+۹۹، هم ۳+۹۸ و ... حالا چندتا ۱۰۱ داریم؟ چون ۱۰۰ تا عدد داشتیم، پس ۱۰۰ تا ۱۰۱ داریم. پس حاصل دو بار جمع ۱ تا ۱۰۰ می شود  $۱۰۰ \times ۱۰۱$  و حاصل یک بار جمع ۱ تا ۱۰۰ می شود

$$\frac{100 \times 101}{2} \text{ یا } \frac{100 \times (100+1)}{2}$$

$$\frac{n^2+n}{2} \text{ یا } \frac{n(n+1)}{2}$$

بنابراین مجموع  $n$  عدد طبیعی متوالی تشکیل یک تصاعد عددی با قدرنسبت یک می دهد که مجموع آن ها می شود:

پس در محاسبه ی انواع ژنوتیپ های دوآللی برای یک صفت  $n$  آللی اتوزومی:

می توانیم به جای روش  $۳=۲+۱$  از روش  $\frac{2 \times (2+1)}{2} = 3$  استفاده کنیم.

می توانیم به جای روش  $۶=۳+۲+۱$  از روش  $\frac{3 \times (3+1)}{2} = 6$  استفاده کنیم.

می توانیم به جای روش  $۱۰=۴+۳+۲+۱$  از روش  $\frac{4 \times (4+1)}{2} = 10$  استفاده کنیم.

می توانیم به جای روش  $n+(n-1)+(n-2)+\dots$  از روش  $\frac{n(n+1)}{2}$  استفاده کنیم.

متماً با فوآندن این درس نامه ها با فوآرتون فکر کردید که اگر ما کتاب ریاضی می نوشتیم، چه کولاک می شد!! درست فکر کردید!

برای یک صفت تک ژنی و اتوزومی ۱۰ آللی در انسان، چند نوع ژنوتیپ در جمعیت دیده می شود؟

۵۵ (۱)      ۱۰۰ (۲)      ۹۰ (۳)      ۴۵ (۴)

به جای  $n$  می گذاریم ۱۰.  $\frac{10 \times (10+1)}{2}$  که می شود ۵۵ نوع ژنوتیپ دوآللی.

اگر برای یک صفت تک ژنی ۶ آلل در جمعیت انسان دیده شود، چند نوع ژنوتیپ هتروزایگوس برای این صفت در جمعیت دیده

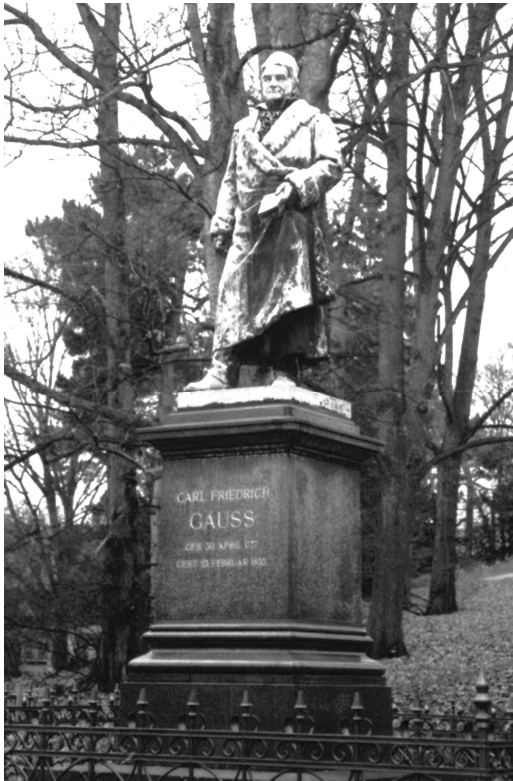
۱۵ (۱)      ۲۱ (۲)      ۹ (۳)      ۶ (۴)

$$\frac{6 \times (6+1)}{2} = 21$$

خب، کمی از سؤال بالایی جلوتر است. انواع ژنوتیپ را حساب می کنیم:

از این ۲۱ نوع ژنوتیپ به تعداد آلل ها، ژنوتیپ هوموزایگوس داریم و بقیه ی آن ها ( ۱۵ نوع) ژنوتیپ هتروزایگوس است.

همیشه تعداد انواع آلل ها و تعداد انواع ژنوتیپ های هوموزایگوس با هم برابر است.



**تست** برای یک صفت اتوزومی، تک‌ژنی و ۲ آللی چند نوع آمیزش ژنوتیپی در جمعیت انسان دیده می‌شود؟

- ۴ (۱) ۶ (۲)  
۹ (۳) ۱۲ (۴)

**پاسخ** برای یک صفت تک‌ژنی ۲ آللی،  $\frac{2 \times (2+1)}{2}$  یعنی ۳ نوع ژنوتیپ در جمعیت داریم. حالا ببینیم چند نوع آمیزش می‌شود. ساده‌اش این است که فرض کنیم در جمعیتی که برای صفت اتوزومی ۳ نوع ژنوتیپ داریم، ۳ نوع مرد داریم و ۳ نوع هم زن، پس ۳×۳ یعنی ۹ نوع آمیزش داریم. پاسخ این است که نعخیرا فرض کنید آل‌های شما A و a باشند. پس ژنوتیپ‌های شما می‌شوند AA، Aa و aa. چون صفت اتوزومی است نباید زن و مرد بودن را در نظر بگیریم.

حُب ازدواج‌های AA را تصور کنید:  $\begin{matrix} & & AA \\ & \times & \\ AA & & \\ & \times & \\ & & aa \end{matrix}$  شد ۳ نوع

حالا ازدواج‌های Aa را بشمرید:  $\begin{matrix} & & Aa \\ & \times & \\ Aa & & \\ & \times & \\ & & aa \end{matrix}$  نباید ازدواج AA×Aa را حساب

کنید چرا که قبلاً این کار را در بالا انجام داده‌اید. AA×Aa

همان AA×AA است، چون صفت اتوزومی است. ازدواج‌های aa را بشمرید: aa×aa. کل انواع آمیزش‌های ممکن شد: ۳+۲+۱ یعنی ۶ نوع آمیزش. یعنی همان فرمول  $\frac{n(n+1)}{2}$  که ۳ تا از ۹ نوع (۳×۳) کم‌تر است. چرا؟ چون در ۹ نوع آمیزش، آمیزش‌های AA×Aa، AA×AA، aa×AA و Aa×aa (آمیزش‌هایی که دو طرف، ژنوتیپشان یکی نیست) را دو بار حساب می‌کنیم که این غلط است، چون صفت اتوزومی است. به جدول روبه‌رو نگاه کنید و متوجه شوید که چرا ۳×۳ غلط است. می‌بینید که این جدول ۹ خانه دارد اما ۳ تایی آن‌ها را نباید حساب می‌کردید.

	AA	Aa	aa
AA	۱	۲	۳
Aa	تکراری با ۲	۴	۵
aa	تکراری با ۳	تکراری با ۵	۶

**تست** برای یک صفت اتوزومی تک‌ژنی و ۵ آللی چند نوع آمیزش از نظر انواع ژنوتیپ در جمعیت انسان دیده می‌شود؟

- ۲۵ (۱) ۱۰۰ (۲) ۱۲۰ (۳) ۲۲۵ (۴)

**پاسخ** انواع ژنوتیپ در جمعیت می‌شود  $\frac{5 \times 6}{2}$  یعنی ۱۵ نوع. انواع آمیزش در این صفت تک‌ژنی و اتوزومی می‌شود:  $\frac{15 \times 16}{2} = ۱۲۰$ .

**تک‌توجه** در صفات وابسته به X انواع آمیزش‌ها می‌شود انواع XX×X یا XY×X. اما در صفات اتوزومی اگر X، انواع ژنوتیپ‌های جمعیت باشد، انواع آمیزش‌ها به خاطر حذف آمیزش‌های تکراری، می‌شود  $\frac{x(x+1)}{2}$ .

## سبب؟ انواع فنوتیپها

خب، تا این‌جا فهمیدید که برای صفت تک‌ژنی n آللی در جمعیت افراد ۲n (در افراد ۲n ها!)  $\frac{n(n+1)}{2}$  نوع ژنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود. حالا با دانستن رابطه‌ی بین آل‌ها (از نظر وجود یا عدم وجود رابطه‌ی غالب و مغلوبی) می‌خواهیم از طریق انواع ژنوتیپ، انواع فنوتیپ را هم به‌دست آوریم.

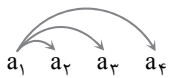
**تست** در یک صفت تک‌ژنی اتوزومی ۴ آللی که یکی بر سه‌تای دیگر غالب است، چند نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

- ۶ (۱) ۵ (۲) ۷ (۳) ۳ (۴)

**پاسخ** برای حل این جور سؤال‌ها از راه  $\frac{n(n+1)}{2}$  انواع ژنوتیپ را حساب می‌کنیم که می‌شود  $\frac{4 \times 5}{2}$  یعنی ۱۰ نوع ژنوتیپ. بعد آل‌ها را روی

یک خط می‌نویسیم (هر چی نوشتی، نوشتی. مهم نیست، قراردادیه).  $a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4$





بعد می‌آئیم و آلل یا آلل‌های غالب را با یک خط به آللهایی که روی آن غلبه دارند وصل می‌کنیم. مثلاً در این سؤال  $a_1$  بر بقیه غالب است: کلاً شد ۳ تا خط.

(تعداد رابطه‌های غالب و مغلوبی بین آلل‌ها) - تعداد خط‌ها = انواع فنوتیپ‌ها

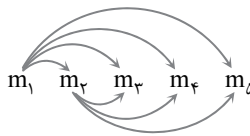
انواع فنوتیپ‌ها  $= 10 - 3 = 7$

در واقع تعداد خط‌ها نشان‌دهنده‌ی تعداد رابطه‌های غالب و مغلوبی بین آلل‌هاست.

در یک صفت تک‌ژنی اتوزومی ۵ آللی، آلل  $m_1$  بر بقیه و  $m_2$  بر  $m_3$ ،  $m_4$  و  $m_5$  غالب است و رابطه‌ی بین بقیه‌ی آلل‌ها هم غالب ناقص است. چند نوع فنوتیپ برای این صفت در جمعیت دیده می‌شود؟

- ۷ (۴)
- ۸ (۳)
- ۹ (۲)
- ۱۱ (۱)

$\frac{n(n+1)}{2} = \frac{5 \times 6}{2} = 15$



انواع فنوتیپ‌ها = تعداد خط‌ها - انواع ژنوتیپ‌ها  $= 15 - 7 = 8$

با توجه به سؤال قبل چند نوع فنوتیپ حد واسط در این جمعیت دیده می‌شود؟

- ۶ (۴)
- ۵ (۳)
- ۴ (۲)
- ۳ (۱)

این سؤال از سؤال قبلی پیشرفته‌تر است. ۱۵ نوع ژنوتیپ داریم. به تعداد آلل‌ها (۵ نوع) ژنوتیپ هموزیگوس داریم ( $m_2m_2$ ,  $m_1m_1$ ) و به تعداد خط‌ها (۷ نوع) هم ژنوتیپ‌هایی داریم که هتروزیگوس هستند؛ اما حد واسط نیستند، چون آلل  $m_2$  و  $m_1$  غالب‌اند ( $m_2m_2$ ,  $m_1m_1$ ,  $m_2m_3$ ,  $m_1m_4$  و  $m_1m_5$ ). پس از ۱۵ نوع ژنوتیپ ۳ نوع ژنوتیپ باقی می‌ماند که هم هتروزیگوس هستند و هم حد واسط (یعنی یکی از آلل‌ها بر دیگری غالب نیست). ضمناً صورت سؤال گفته که غیر از  $m_2$  و  $m_1$  رابطه‌ی بین بقیه‌ی آلل‌ها غالب ناقص است.  $15 - (7 + 5) = 3$

### حداکثر انواع فنوتیپ‌ها



«رابطه‌ی غالب مغلوبی، تقریباً این‌جوریه!»

اگر هیچ خطی بین آلل‌ها نباشد؛ یعنی هیچ آللی بر هیچ آللی غالب نیست و این یعنی صفر را از  $\frac{n(n+1)}{2}$  کم می‌کنیم و باز! این یعنی انواع فنوتیپ‌ها و انواع ژنوتیپ‌ها با هم برابر می‌شوند. پس انواع فنوتیپ‌ها در حالتی که هیچ رابطه‌ی غالب و مغلوبی بین آلل‌ها برقرار نیست، می‌شود  $\frac{n(n+1)}{2}$ . اگر بین همه‌ی آلل‌ها یک خط بکشیم این یعنی بین همه‌ی آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی برقرار است و اگر تعداد خط‌ها را بشمریم، می‌بینیم که می‌شود  $\frac{n(n-1)}{2}$  و اگر آن را از انواع ژنوتیپ‌ها [ $\frac{n(n+1)}{2}$ ] کم کنیم، آن‌چه می‌ماند (انواع فنوتیپ‌ها) می‌شود  $n$ ، یعنی به تعداد آلل‌ها.

→ (به تعداد انواع ژنوتیپ‌ها)  $\frac{n(n+1)}{2} - 0 = \frac{n(n+1)}{2}$  حداکثر انواع فنوتیپ‌ها

وقتی که هیچ خطی بین هیچ آللی نیست یعنی وقتی که هیچ آللی بر آلل دیگر غالب نیست.

→ (به تعداد انواع آلل‌ها)  $\frac{n(n+1)}{2} - \frac{n(n-1)}{2} = n$  حداقل انواع فنوتیپ‌ها

وقتی که بین همه‌ی آلل‌ها خط هست و همه‌ی آلل‌ها با هم رابطه‌ی غالب و مغلوبی دارند.



برای یک صفت تک‌ژنی ۷ آللی رابطه‌ی بین آلل‌ها را نمی‌دانیم. حداکثر انواع فنوتیپ‌ها با حداقل آن چه قدر اختلاف دارد؟

تست

۲۸ (۱)      ۲۱ (۲)      ۲۰ (۳)      ۱۶ (۴)

پاسخ

حداکثر انواع فنوتیپ‌ها برابر انواع ژنوتیپ‌هاست؛ یعنی همان  $\frac{n(n+1)}{2}$  که می‌شود  $\frac{7 \times 8}{2} = 28$ . حداقل انواع فنوتیپ‌ها برابر انواع آلل‌هاست که می‌شود ۷.

$28 - 7 = 21$

کدام یک نمی‌تواند انواع فنوتیپ‌های یک صفت تک‌ژنی ۴ آللی در انسان باشد؟

تست

۱۲ (۱)      ۱۰ (۲)      ۷ (۳)      ۴ (۴)

پاسخ

$$\text{(حداکثر)} \quad \frac{n(n+1)}{2} = \text{انواع ژنوتیپ‌ها} \leq n = \text{انواع آلل‌ها (حداقل)}$$

پس در این سؤال انواع فنوتیپ‌ها بین ۴ و ۱۰ متغیر است و نمی‌تواند ۱۲ باشد. ۱۰ وقتی است که هیچ رابطه‌ای غالب و مغلوبی نباشد، ۹ وقتی است که فقط یک آلل بر یک آلل دیگر غالب باشد، ۸ وقتی است که یک آلل فقط بر ۲ آلل غالب باشد و همین‌طور بیا پایین تا بررسی به ۴. تلاش کن می‌رسی. چند جور سؤال دیگر هم ببینیم:

یک صفت تک‌ژنی اتوزومی اندازه‌ی یک گیاه را کنترل می‌کند. اگر گیاهانی با اندازه‌های ۱۰، ۱۲، ۱۸، ۲۰ سانتی‌متری دیده شود، این صفت چگونه کنترل می‌شود؟

تست

- (۱) به وسیله‌ی ۲ آلل که رابطه‌ی غالب و مغلوبی ندارند.      (۲) به وسیله‌ی ۳ آلل که رابطه‌ی غالب و مغلوبی ندارند.
- (۳) به وسیله‌ی ۳ آلل که یکی بر دوتای دیگر غالب است.      (۴) به وسیله‌ی ۴ آلل که یکی بر ۳ تای دیگر و دومی بر ۲ تای دیگر غالب است.

صورت سؤال می‌گوید که صفت تک‌ژنی و اتوزومی ما ۴ نوع فنوتیپ دارد. حالا تک تک گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم:

پاسخ

نوع ژنوتیپ نمی‌تواند ۴ نوع فنوتیپ بدهد!  $\frac{2 \times 3}{2} = 3$  = انواع ژنوتیپ : گزینه‌ی (۱)

$6 - 0 = 6$  = انواع فنوتیپ  $\frac{3 \times 4}{2} = 6$  = انواع ژنوتیپ : گزینه‌ی (۲)

$6 - 2 = 4$  = انواع فنوتیپ  $\frac{3 \times 4}{2} = 6$  = انواع ژنوتیپ : گزینه‌ی (۳)

$a_1 \quad a_2 \quad a_3$

$10 - 5 = 5$  = انواع فنوتیپ  $\frac{4 \times 5}{2} = 10$  = انواع ژنوتیپ : گزینه‌ی (۴)

$a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4$

در یک صفت ۲ ژنی در انسان، برای ژن اول ۳ آلل وجود دارد که اولی بر ۲ آلل دیگر غالب است و برای ژن دوم ۵ آلل وجود دارد که اولی بر ۴ آلل دیگر و دومی بر ۳ آلل باقی‌مانده غالب است. برای این صفت چند نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

تست

۲۸ (۱)      ۳۲ (۲)      ۲۴ (۳)      ۱۵ (۴)

این سؤال یاد می‌دهد که انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها در صفت‌های چندژنی برابر است با حاصل ضرب انواع ژنوتیپ یا فنوتیپ برای هر ژن.

پاسخ

$\dots \times \text{انواع ژنوتیپ ژن دوم} \times \text{انواع ژنوتیپ ژن اول} = \text{انواع ژنوتیپ یک صفت چندژنی}$

$\dots \times \text{انواع فنوتیپ ژن دوم} \times \text{انواع فنوتیپ ژن اول} = \text{انواع فنوتیپ یک صفت چندژنی}$

$a_1 \quad a_2 \quad a_3$

$4 = 4 - 2 = \left(\frac{3 \times 4}{2}\right) - 2$  = انواع فنوتیپ ژن اول = انواع ژنوتیپ - تعداد خط‌ها

$a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5$

$8 = 8 - 7 = \left(\frac{5 \times 6}{2}\right) - 7$  = انواع فنوتیپ ژن دوم = انواع ژنوتیپ - تعداد خط‌ها

$32 = 4 \times 8$  = انواع فنوتیپ‌های صفت ۲ ژنی



**تست**  
 در فردی ۲n صفتی تحت کنترل ۳ جفت ژن است که آلل‌های دو جفت از آن‌ها دارای رابطه‌ی غالب و مغلوبی و آلل‌های جفت دیگر فاقد رابطه‌ی غالب و مغلوبی هستند. برای این صفت چند نوع فنوتیپ در جمعیت وجود دارد؟

(۱) ۶ (۲) ۸ (۳) ۲۷ (۴) اطلاعات مسئله کافی نیست.

**پاسخ**  
 پاسخ ۱۲ (۲×۲×۳) برای این سؤال غلط است و نمی‌دانم چرا و چگونه این اشتباه رایج شده است. صفتی تحت کنترل ۳ جفت ژن است، خب قبول، حالا ما از کجا فهمیدیم که ژنی که رابطه‌ی آلل‌های آن غالب و مغلوبی است، ۲ آللی است و ۱۰ آللی نیست؟! پس این‌طور نیست که هر وقت سؤال به ما نگفت ژن چندآلی است، ما خودمان بگوییم ۲ آللی است. نه، این کار نادرست است و طرح این‌طور سؤال‌ها فرا را فوش نمی‌آید!

**تست**  
 در فردی ۲n صفتی تحت کنترل ۴ جفت ژن ۲ آللی است که رابطه‌ی بین آلل‌ها در دو جفت از این ژن‌ها، هم‌توانی و در دو جفت دیگر از نوع غالب و مغلوبی است. برای این صفت چند نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

(۱) ۱۶ (۲) ۳۶ (۳) ۵۴ (۴) ۸۱

**پاسخ**  
 این سؤال، اصلاح‌شده‌ی سؤال قبل است و در آن معلوم است که هر ژن ۲ آللی است. برای ژن‌هایی که بین ۲ آلل آن‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی هست، ۲ نوع و برای آن‌هایی که نیست، ۳ نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود.

$2 = 3 - 1 = 2$  = انواع فنوتیپ برای ژن ۲ آللی با رابطه‌ی غالب و مغلوبی  $a_1 \rightarrow a_2$  = انواع فنوتیپ برای ژن ۲ آللی  $\frac{2 \times 3}{2} = 3$

$3 = 3 - 0 = 3$  = انواع فنوتیپ برای ژن ۲ آللی بدون رابطه‌ی غالب و مغلوبی  $a_1 \quad a_2$  = انواع فنوتیپ برای ژن ۲ آللی  $\frac{2 \times 3}{2} = 3$

$36 = 3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$  = انواع فنوتیپ‌ها برای صفت ۴ ژنی

**تست**  
 انواع فنوتیپ‌های کدام یک بیشتر است؟

- (۱) صفتی تک‌ژنی و ۶ آللی که یکی بر بقیه غالب است.
- (۲) صفتی ۲ ژنی که ژن اول ۴ آللی (یکی بر بقیه غالب) و ژن دوم ۳ آللی (هم‌توان) است.
- (۳) صفتی ۳ ژنی که همه‌ی ژن‌ها ۲ آللی و رابطه‌ی بین آلل‌ها هم‌توانی است.
- (۴) صفتی ۴ ژنی که همه‌ی ژن‌ها ۲ آللی و رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی است.

یکی یکی، حساب می‌کنیم:

**پاسخ**  
 $16 = 21 - 5 = 16$  = انواع فنوتیپ این صفت  $\Rightarrow$

(۱) گزینه‌ی (۱):  $\frac{n(n+1)}{2} = \frac{6 \times 7}{2} = 21$   $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4 \rightarrow a_5 \rightarrow a_6$

(۲) گزینه‌ی (۲):  $42 = 6 \times 7 = 42$   $\Rightarrow$

ژن اول:  $\frac{n(n+1)}{2} = \frac{4 \times 5}{2} = 10$   $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4$  = انواع فنوتیپ ژن اول  $10 - 3 = 7$

ژن دوم:  $\frac{n(n+1)}{2} = \frac{3 \times 4}{2} = 6$   $a_1 \quad a_2 \quad a_3$  = انواع فنوتیپ ژن دوم  $6 - 0 = 6$

(۳) گزینه‌ی (۳):  $27 = 3 \times 2 \times 3 = 27$   $\Rightarrow$

عین ژن اول: ۱ ژن دوم: ۳  
 عین ژن دوم: ۳ ژن سوم: ۳

(۴) گزینه‌ی (۴):  $16 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$   $\Rightarrow$

ژن اول:  $\frac{n(n+1)}{2} = \frac{2 \times 3}{2} = 3$   $a_1 \rightarrow a_2$  = انواع فنوتیپ ژن اول  $3 - 1 = 2$   
 عین ژن اول: ۱ ژن دوم: ۳

عین ژن دوم: ۳ ژن سوم: ۳  
 عین ژن سوم: ۳ ژن چهارم: ۳



با در نظر گرفتن هم‌زمان ۳ صفت حالت مو، گودی روی چانه و وضعیت نرمه‌ی گوش، چند نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

تست

۲۷ (۴)

۱۲ (۳)

۸ (۲)

۶ (۱)

هر کدام از صفت‌های حالت مو، گودی روی چانه و وضعیت نرمه‌ی گوش تک‌ژنی و دوآللی هستند. چرا؟ چون یک آلل برای گود بودن روی چانه است و آن یکی برای گود نبودن، یک آلل برای نرمه‌ی گوش آزاد است و آن یکی برای نرمه‌ی گوش پیوسته، یک آلل برای موی صاف است و آن یکی برای موی فرفری (در حالتی که هر دو آلل در کنار هم قرار می‌گیرند، موی فرد موج‌دار می‌شود). در محدوده‌ی کنکور! صفت حالت مو ۳ نوع فنوتیپ دارد (چون آلل‌ها نسبت به هم رابطه‌ی غالب و مغلوبی ندارند) و صفت گودی روی چانه و نرمه‌ی گوش هر کدام ۲ نوع فنوتیپ دارند، چرا که رابطه‌ی بین آلل‌های آن‌ها غالب و مغلوبی است.

پاسخ

▼ موهای مجعد (مظفرالدین‌شاه)<sup>۱</sup>



صفتی تک‌ژنی به ۳۰ شکل مختلف در یک جمعیت دیده می‌شود. این صفت حداقل چندآللی است؟

تست

۹ (۴)

۸ (۳)

۷ (۲)

۶ (۱)

(انواع ژنوتیپ‌ها)  $\leq \frac{n(n+1)}{2} \leq n$  (انواع آلل‌ها)

پاسخ

برای محاسبه‌ی حداقل انواع آلل‌ها باید نامعادله‌ی زیر را حل کنیم:

$$\text{انواع فنوتیپ‌ها} \leq \frac{n(n+1)}{2}$$

چون حل این نامعادله وقت‌گیر و سخت است، گزینه‌ها را امتحان می‌کنیم. کم‌ترین گزینه‌ای که در نامعادله‌ی  $\frac{n(n+1)}{2} \leq 30$  صدق کند، حداقل انواع آلل‌ها برای این صفت است. ۶ و ۷ در نامعادله صدق نمی‌کنند ولی ۸ و ۹ هر دو در نامعادله صدق می‌کنند و چون حداقل را خواسته است ما ۸ را انتخاب می‌کنیم.

صفتی تک‌ژنی به ۳۰ شکل مختلف در یک جمعیت دیده می‌شود. این صفت حداکثر چندآللی است؟

تست

۴۰ (۴)

۲۰ (۳)

۳۰ (۲)

۱۵ (۱)

وقتی صفتی ۳۰ نوع فنوتیپ مختلف دارد، می‌تواند تک‌ژنی و حداکثر ۳۰ آللی باشد.

پاسخ

(انواع ژنوتیپ‌ها)  $\leq \frac{n(n+1)}{2} \leq n$  (انواع آلل‌ها)

هیچ‌وقت انواع آلل‌ها از انواع فنوتیپ‌ها بیشتر نمی‌شود. حداکثر انواع آلل‌ها برابر است با انواع فنوتیپ‌ها و در حالت معمول انواع آلل‌ها همیشه کم‌تر مساوی انواع فنوتیپ‌ها است.

۱- موهای مظفرالدین‌شاه مجعد بود، باور کنیم. دیگه اون موقع شاه بود نمی‌تونستیم بهش بگیم کلاهتو بردار می‌خوایم از موهات عکس بگیریم. حالا سیبیل‌اشم موجداره؛ ما تلاشمونو کردیم، باور کنیم!!



یک بار دیگه بگیم! وقتی یک صفت به ۳۰ حالت در یک جمعیت دیده می شود یعنی انواع فنوتیپها برای آن صفت ۳۰ نوع است. حالا می خواهیم ببینیم این صفت حداقل چندآلی است. یعنی کوچک ترین انواع آلها برای یک صفت که می تواند در یکی از حالت هایش (منظور از نظر رابطه ی غالب و مغلوبی است که چندتا آل بر چندتای دیگر غالب باشد) ۳۰ نوع فنوتیپ تولید کند. اگر  $n = 6$  باشد، انواع فنوتیپ هایش بین  $\frac{6 \times 7}{2}$  و  $6$  یعنی ۲۱ متغیر است. می بینید که اصلاً ۳۰ در بازه ی  $21 \leq$  انواع فنوتیپها  $6 \leq$  نیست. همین طور اگر انواع آلها ۷ نوع باشند، انواع فنوتیپها بین ۲۸ و ۲۱ متغیر است که باز هم ۳۰ در این بازه نیست. اگر  $n = 8$  یا بالاتر باشد (تا  $n = 30$ ) در همه ی این حالات، انواع فنوتیپها می تواند در حالتی ۳۰ باشد. اما خب در  $8 \leq n \leq 30$  که در همه ی آن ها انواع ۳۰ فنوتیپ براساس نوع خاصی از رابطه ی بین آلها ممکن است، کدام یک حداقل انواع آلهاست؟ معلومه دیگه  $n = 8$  حداقل انواع آلهایی هست که می توانند ۳۰ نوع فنوتیپ تولید کنند.

اگر صفتی ۳۶ نوع فنوتیپ داشته باشد، این صفت می تواند تحت کنترل ..... ژن دوآلی باشد.

۳ (۱) ۴ (۲) ۵ (۳) ۶ (۴)

اول بفهمیم سؤال چی می گه. هر ژن ۲ آلی، اگر رابطه ی بین آل هایش غالب و مغلوبی باشد، ۲ نوع و اگر نباشد ۳ نوع فنوتیپ تولید می کند. حالا صفتی داریم چندژنی که همه ی ژن های آن ۲ آلی هستند و ۳۶ نوع فنوتیپ دارد. می خواهیم ببینیم این صفت چندژنی است یعنی از چندتا  $\times 2$  یا  $\times 3$  تشکیل شده است. پس ۳۶ را نسبت به ۲ و ۳ تجزیه می کنیم. امیدوارم در درس ریاضی این جور تجزیه کردن به اعداد اول را خوانده باشید! الان صبح خیلی زود است و نمی توانم آن را با معلم ریاضی چک کنم! می بینید که ۳۶ یعنی ۲ تا  $\times 2$  و ۲ تا  $\times 3$ . یعنی این صفت ۴ ژنی است که در ۲ ژن آن بین دو آل رابطه ی غالب و مغلوبی برقرار است (۲ نوع فنوتیپ) و در ۲ ژن آن بین دو آل رابطه ی غالب و مغلوبی وجود ندارد (۳ نوع فنوتیپ).

کدام یک نمی تواند انواع فنوتیپ های یک صفت ۲ ژنی و ۳ آلی باشد؟

۶ (۱) ۱۲ (۲) ۱۵ (۳) ۱۸ (۴)

خوب دقت کنید. هر یک از ژن ها ۳ آلی است. رابطه ی این آلها می تواند هم توانی، آل اول غالب بر آل دوم، آل اول غالب بر آل دوم و سوم و یا آل اول غالب بر آل دوم و سوم و آل دوم غالب بر آل سوم باشد. هر ژن  $\frac{3 \times 4}{2}$  یعنی ۶ نوع فنوتیپ دارد.

رابطه ی دیگری بین ۳ آل یک صفت تک ژنی نمی توان یافت.  
 خب، ما در بالا انواع فنوتیپ های یک ژن ۳ آلی را حساب کردیم در حالی که این صفت ۲ ژنی است و انواع فنوتیپ های آن می تواند به صورت های روبرو باشد:  
 $6 \times 6 = 36$  یعنی در هر دو ژن در این صفت، رابطه ی بین ۳ آل هم توانی است.  $4 \times 6$  یعنی در یک ژن رابطه ی بین ۳ آل هم توانی است (۶ نوع فنوتیپ) و در مورد ژن دیگر، یکی از ۳ آل بر ۲ آل دیگر غالب است (۴ نوع فنوتیپ) و ...  
 یک راه حل دیگر این بود که حساب نکنید! می دانید که یک ژن ۳ آلی انواع فنوتیپ هایش بین ۳ تا ۶ متغیر است و می تواند ۳، ۴، ۵ و ۶ نوع فنوتیپ داشته باشد. همان طور که در راه حل پایین می بینید، فقط ۶ در این بازه نیست.

حداکثر انواع فنوتیپ  $\times$  حداقل انواع فنوتیپ  $\leq$  انواع فنوتیپ برای یک صفت ۲ ژنی و ۳ آلی  $\leq$  حداقل انواع فنوتیپ  $\times$  حداقل انواع فنوتیپ

$3 \times 3 = 9$  (انواع آل)  $\times$  (انواع آل)  $\leq$  (انواع فنوتیپ)  $\times$  (انواع فنوتیپ)  $= 36$

$3 \times 3 = 9$   $\times$   $3 \times 3 = 9$

صفات وابسته به X

در مورد صفات وابسته به X خیلی اتفاق پیچیده ای نمی افتد. مردها، پرنده ها و پروانه های ماده که XY هستند و در ملخ های نر که XO هستند، انواع ژنوتیپ های صفت وابسته به X تک ژنی برابر انواع آلهاست چرا که فقط یک کروموزوم X دارند.



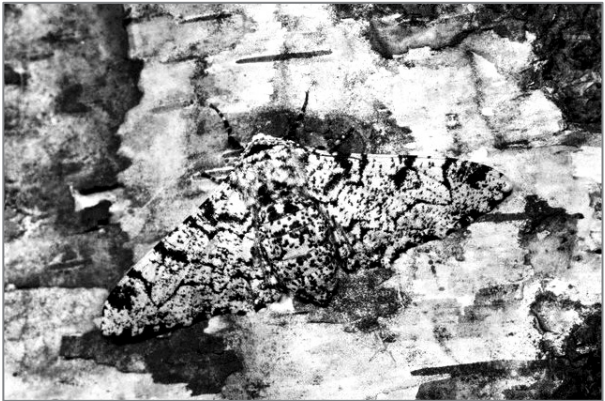
در مورد زن‌ها، پرنده‌ها و پروانه‌های نر و ملخ‌های ماده که XX هستند، انواع ژنوتیپ‌ها برای یک صفت تک‌ژنی n آلی برابر  $\frac{n(n+1)}{2}$  خواهد بود، به همان دلیلی که برای صفت‌های تک‌ژنی اتوزومی n آلی در افراد 2n شد  $\frac{n(n+1)}{2}$ . چرا که در هر دو حالت 2 تا جایگاه آلی داریم. در صفات اتوزومی این دو جایگاه، 2 کروموزوم همتای اتوزوم هستند و در این‌جا این دو جایگاه، دو کروموزوم همتای X!

**تست ۱** برای یک صفت وابسته به X تک‌ژنی و 4 آلی، چند نوع آمیزش بین ژنوتیپ‌های مختلف انسانی امکان‌پذیر است؟

۲۰ (۱)                      ۴۰ (۲)                      ۸۰ (۳)                      ۱۶۰ (۴)

**پاسخ ۱** در مردها چند نوع ژنوتیپ داریم؟ به تعداد انواع آل‌ها، یعنی 4 نوع. در زن‌ها چند نوع ژنوتیپ داریم؟  $\frac{n(n+1)}{2}$ ، یعنی 10 نوع ژنوتیپ.  $4 \times 10 = 40$  = انواع آمیزش

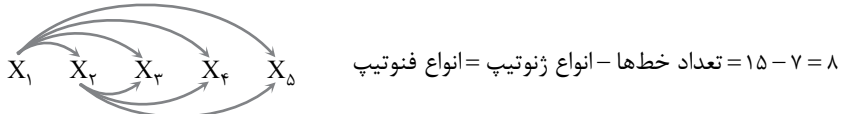
**تست ۲** در بیستون بتولاریا برای یک صفت وابسته به X تک‌ژنی 5 آلی که اولی بر بقیه و دومی بر 3 آل دیگر غالب است، به ترتیب چند نوع



**فنوتیپ در پروانه‌های نر و ماده دیده می‌شود؟**

۵ - ۸ (۲)                      ۸ - ۵ (۱)  
۸ - ۱۰ (۴)                      ۱۰ - ۸ (۳)

**پاسخ ۲** بیستون بتولاریای ماده XY است و به تعداد انواع آل‌ها ژنوتیپ خواهد داشت و با توجه به این‌که فقط یک کروموزوم X دارد، به تعداد انواع آل‌ها هم فنوتیپ خواهد داشت. بیستون بتولاریای نر XX است و  $\frac{n(n+1)}{2}$  یعنی 15 نوع ژنوتیپ دارد.

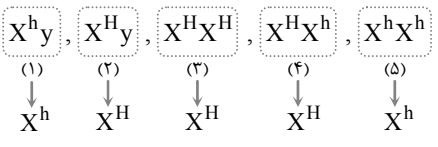


**۶** یک نکته‌ی ظریف دیگر در مورد انواع ژنوتیپ و فنوتیپ در صفات وابسته به X وجود دارد!

**تست ۳** برای یک صفت وابسته به X و 2 آلی که یکی بر دیگری غالب است، چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ در جمعیت انسان دیده می‌شود؟

۴ - ۶ (۴)                      ۲ - ۵ (۳)                      ۴ - ۵ (۲)                      ۲ - ۳ (۱)

**پاسخ ۳** در واقع ایده‌ی سؤال این است که اگر در مورد یک صفت وابسته به X زنان و مردان را با هم در نظر بگیریم، انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها را چگونه حساب می‌کنیم؟ فرض کنید آل غالب  $X^H$  و آل مغلوب  $X^h$  باشد:



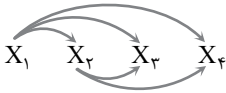
در این جمعیت 5 نوع ژنوتیپ متفاوت می‌بینیم. پس در کل جمعیت 5 نوع ژنوتیپ داریم. اما وقتی فنوتیپ این ژنوتیپ‌ها را می‌نویسیم می‌فهمیم که دو نوع فنوتیپ بیشتر نداریم:  $X^H$  و  $X^h$ . در واقع در صفات وابسته به X جنسیت در انواع ژنوتیپ‌ها محاسبه می‌شود ولی در انواع فنوتیپ‌ها نه. علتش هم معلوم است چون XX یا XY بودن خودشان دو نوع ژنوتیپ متفاوت هستند اما می‌توانند فنوتیپ یکسانی را نشان دهند.

**تست ۴** برای یک صفت وابسته به X و 4 آلی که اولی بر بقیه و دومی بر سومی و چهارمی غالب است، چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ در جمعیت انسان دیده می‌شود؟

۵ - ۱۴ (۴)                      ۵ - ۱۰ (۳)                      ۹ - ۱۴ (۲)                      ۵ - ۴ (۱)



در مردها ۴ نوع ژنوتیپ و ۴ نوع هم فنوتیپ داریم. در زن‌ها  $\frac{4 \times 5}{2}$  یعنی ۱۰ نوع ژنوتیپ و ۵-۱۰ یعنی ۵ نوع فنوتیپ داریم.



خب، در محاسبه‌ی انواع ژنوتیپ در کل جمعیت انواع ژنوتیپ مردها و زن‌ها را با هم جمع می‌کنیم:  $10 + 4$ . چرا؟ چون  $X_1 Y$  با  $X_1 X_1$  دو نوع ژنوتیپ متفاوت هستند و الی آخر ... اما محاسبه‌ی انواع فنوتیپ‌ها در کل جمعیت می‌شود انواع فنوتیپ‌های زن‌ها (که یا مساوی یا بیشتر از انواع فنوتیپ در مردهاست). حالا چرا؟ چون فنوتیپ  $X_1 Y$ ،  $X_1 X_1$ ،  $X_1 X_2$ ،  $X_1 X_3$ ،  $X_1 X_4$  هم می‌شود  $X_1$  و ... یعنی هر فنوتیپی را شما در مردان با این آلل‌ها تصور کنید حتماً در زن‌ها هست. اما حالت‌هایی هست که فنوتیپی در زن‌ها به وجود می‌آید (اگر رابطه‌ی آلل‌ها غالب و مغلوبی نباشد = فنوتیپ‌های حد واسط) که در مردها نیست چون فقط یک کروموزوم  $X$  دارند. در مردها ۴ نوع فنوتیپ داریم و در زن‌ها ۵-۱۰ یعنی ۵ نوع فنوتیپ. پس فقط یک نوع فنوتیپ هست که در زن‌ها هست ولی در مردها نیست: فنوتیپ  $X_3 X_4$ .

در یک صفت وابسته به  $X$  و ۴ آللی که رابطه‌ی غالب و مغلوبی بین آلل‌ها نیست، چند نوع فنوتیپ در زن‌ها دیده می‌شود که در



مردها نیست؟

- ۵ (۴)
- ۶ (۳)
- ۴ (۲)
- ۱۰ (۱)

در مردها ۴ نوع فنوتیپ داریم. در زن‌ها هم  $\frac{4 \times 5}{2}$  یعنی ۱۰ نوع فنوتیپ داریم (صفرتا از انواع ژنوتیپ‌ها کم می‌شود چون رابطه‌ی غالب و مغلوبی بین آلل‌ها نیست). هر ۴ نوع فنوتیپی که در مردها هست در زن‌ها هم هست.  $X_1 Y$  در مردها، فنوتیپی شبیه  $X_1 X_1$  در زن‌ها دارد،  $X_2 X_2$ ،  $X_3 X_4$  و ... ۶ نوع ژنوتیپ حد واسط در زن‌ها هست که اصلاً در مردها وجود ندارد.



## معادله‌ی درجه ۲

گاهی در حل بعضی از مسائل به یک معادله‌ی درجه ۲ می‌رسید. خیلی خودتان را ناراحت نکنید، می‌توانید گزینه‌ها را امتحان کنید. دقت کنید در این معادله‌ها معمولاً یکی از  $n$ ها منفی درمی‌آید که قابل قبول نیست.

اگر طول منقار که صفتی وابسته به  $X$  و تک‌ژنی است، در سهره‌های نر ۱۰ نوع ژنوتیپ داشته باشد، در سهره‌های ماده چند نوع



ژنوتیپ دارد؟

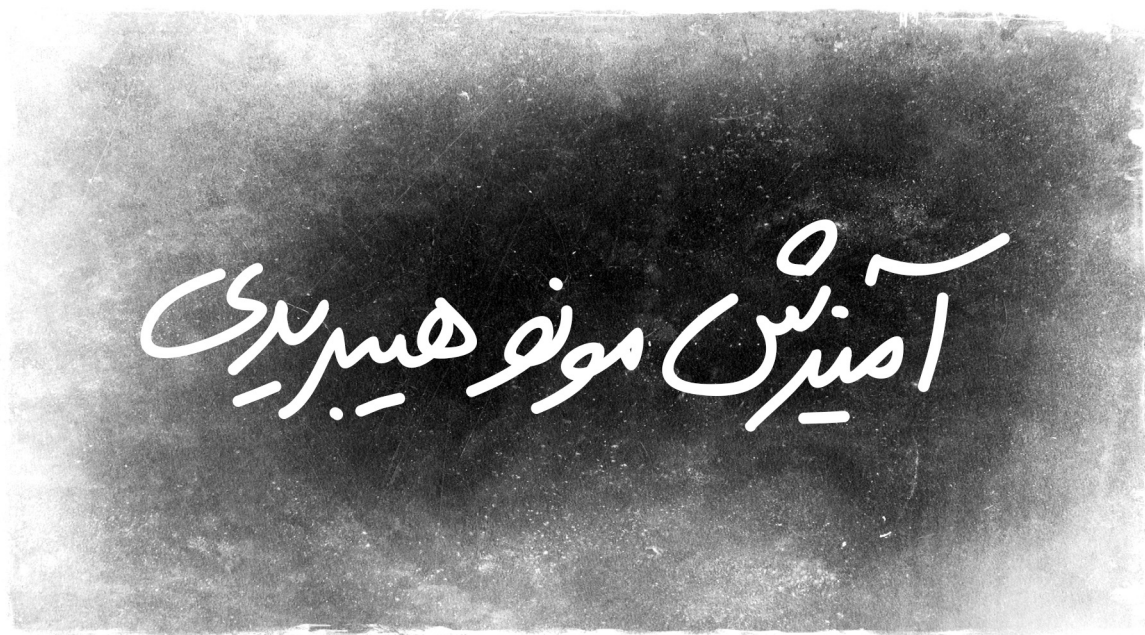
- ۱۰ (۴)
- ۶ (۳)
- ۵ (۲)
- ۴ (۱)

سهره‌های نر  $XX$  هستند.



$$\frac{n(n+1)}{2} = 10 \rightarrow \frac{n^2 + n}{2} = 10 \rightarrow n^2 + n - 20 = 0 \rightarrow (n+5)(n-4) = 0 \rightarrow n = -5, n = 4$$

$n = 4$  صحیح است، چون  $n$  باید بزرگ‌تر از صفر باشد. انواع ژنوتیپ‌های سهره‌های ماده ( $XY$ ) برابر انواع آلل‌های موجود در جمعیت است.



1 رسیدیم به  $Aa \times Aa$ ! ضرب یعنی ازدواج و آمیژس، ♂ یعنی نر، ♀ یعنی ماده، P یعنی والدین، «Parent» و F یعنی نسل، «Filiation» (F): نسل اول،  $F_2$ : نسل دوم و ...).



▲ قفل که بسته شد، یعنی تعهد!

$Aa \times Aa$  یعنی دو نفر که هر دو،  $2n$  هستند (چون برای یک صفت تک‌ژنی  $2$  آلل دارند) با هم ازدواج کرده‌اند و اگر خدا بخواهد قرار است که بچه‌دار بشوند. آمیژس‌هایی که در آن یک ژن را بررسی می‌کنیم، آمیژس مونوهیبریدی یا تک‌عاملی نامیده می‌شوند. (مونو = یک، هیبرید = آمیژس). باز هم امکان دارد کسی بپرسد که آقا در  $Aa \times Aa$  که هر کدام از طرفین عروسی  $2$  تا ژن دارند. می‌گوییم درست است چون این افراد  $2n$  هستند،  $2$  آلل (ژن) برای این صفت تک‌ژنی دارند، اگر  $n$  بودند یک آلل داشتند (که مبنای تعریف تک‌ژنی همین است) و اگر  $3n$  بودند  $3$  آلل.  $AAa \times Aaa$  هم یک آمیژس مونوهیبریدی است چرا که یک ژن (یک جایگاه ژن) را بررسی می‌کند. حالا این جایگاه ژن می‌تواند در محیط دو آلل داشته باشد (A و a) یا بیشتر. مثلاً آمیژس گروه‌های خونی اصلی هم در انسان مونوهیبریدی است، چرا که در این حالت ما داریم یک صفت تک‌ژنی (تک‌عاملی، تک‌جایگاه ژنی) را بررسی می‌کنیم که چون افراد دارنده‌ی این صفت تک‌ژنی،  $2n$  هستند، هر فرد برای این صفت  $2$  آلل دارد.





۲ این تعریفی که ما از مونوهیبریدی ارائه کردیم، تعریف کلی تر و جامع تری نسبت به کتاب درسی است. کتاب درسی کمی محدودتر این تعریف را ارائه کرده است که به نظر خالی از اشکال نمی‌رسد و کمی هم مبهم است: «آمیزش مونوهیبریدی آمیزشی است که طی آن فقط یک صفت که دو حالت دارد، مورد پژوهش قرار می‌گیرد». منظور از این جمله این است که آمیزش  $Aa \times Aa$  مونوهیبریدی است، چرا که این صفت دو حالت مغلوب (a) و غالب (A) دارد. این حرف درست است اما فقطش کمی می‌لنگد. مثلاً صفت رنگ گل میمونی تک‌ژنی است و آمیزش  $RW \times RW$  مونوهیبریدی است چون یک صفت تک‌ژنی را بررسی می‌کند، اما این صفت فقط ۲ حالت ندارد! بلکه فقط ۳ حالت! سفید، قرمز و صورتی دارد. به هر حال تعریف درست‌تر این است که هر آمیزشی که در آن فقط یک صفت تک‌ژنی بررسی شود، مونوهیبریدی است. حالا می‌خواهد آن صفت دو آللی باشد یا چند آللی، می‌خواهد رابطه‌ی آلل‌ها غالب و مغلوبی باشد یا هر چیز دیگری.

۳ آمیزش  $AaBb \times AABb$  یک آمیزش دی‌هیبریدی است (دی = دو)، برای این که در این آمیزش ما دو جایگاه ژنی را بررسی می‌کنیم:  $Aa \times AA$  و  $Bb \times Bb$ . باز هم تکرار می‌کنم آمیزش  $Aaaa \times AAaa$  یک آمیزش مونوهیبریدی است چرا که یک جایگاه ژنی را در فرد یا سلول  $4n$  بررسی می‌کند. در ژنوتیپ  $Aaaa$  هر ۴ آلل مربوط به یک ژن (یک جایگاه ژنی) هستند و این یعنی ما یک جایگاه ژنی را داریم بررسی می‌کنیم اما در  $AaBb$  ما ۲ جایگاه ژنی داریم یکی  $A/a$  و دیگری  $B/b$ . از کجا بفهمیم؟ چون  $A$  و  $a$  با هم آلل هستند و  $B$  و  $b$  با هم، اما  $A$  و  $B$  با هم آلل نیستند، این یعنی وجود دو جایگاه ژنی متفاوت. در واقع شما در هر آمیزش باید بفهمید که چه خبر است و چند هیبریدی است، یک ژن (ژن‌های آلل) در آمیزش دخالت دارد یا بیشتر.

تست کدام یک از آمیزش‌های زیر مونوهیبریدی است؟

۲  $MNRW \times MNRR$  در گل میمونی

۱  $AaXY \times aaXX$  در انسان

۴  $ABM \times aBN$  در کلایدوموناس

۳  $AAABBB \times AAABBB$  در گندم امروزی

پاسخ این سؤال یک سؤال ترکیبی است و فقط کنکوری‌هایی که پیش‌دانشگاهی (۱) را خوانده باشند، می‌توانند به آن پاسخ بدهند. در پیش‌دانشگاهی (۱) فصل ۵ می‌خوانیم که گندم امروزی  $6n$  کروموزومی است؛ یعنی برای یک صفت تک‌ژنی ۶ آلل دارد. پس آمیزش  $AAABBB \times AAABBB$  یک آمیزش مونوهیبریدی در یک فرد  $6n$  است و فقط یک جایگاه ژنی را بررسی می‌کند (چون فرد  $6n$  است برای هر صفت تک‌ژنی ۶ آلل دارد). نگوئید این چیزهایی که شما می‌گوئید اضافه و زیادی و خیلی عمیق و از این حرف‌هاست، همین تست بالا نشان می‌دهد که از مفهوم بسیار پیش پا افتاده و در عین حال مبهم مونوهیبریدی، چه تست اساسی و مفهومی‌ای می‌شود طرح کرد. راستی داشت یادام می‌رفت، در گزینه‌ی (۳) آلل‌های  $A$  و  $B$  متعلق به یک جایگاه هستند و نسبت به هم آلل هستند.

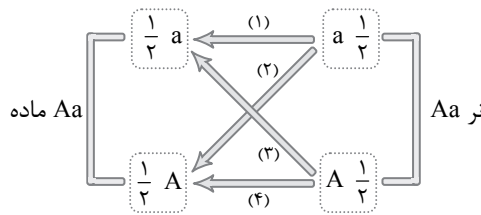
ایراد بنی اسرائیلی نگیرید که اگر  $A$  و  $B$  آلل هستند چرا با حرف بزرگ و کوچک نمایش ندادید؟ همیشه ژن‌ها و آلل‌ها را با حروف کوچک و بزرگ نمایش نمی‌دهند که! مثل  $R$  و  $W$  در رنگ گل میمونی.

۴ حالا می‌خواهیم ببینیم در آمیزش مونوهیبریدی فرضاً  $Aa \times Aa$  چه اتفاقاتی می‌افتد. گفتیم که  $Aa$  یعنی یک صفت تک‌ژنی در یک فرد  $2n$ . این فرد  $2n$  برای تولید فرزند میوز می‌کند و گامت تولید می‌کند. می‌دانید که تعداد کروموزوم‌های گامت‌ها نصف سلول‌های اولیه‌ی قبل از میوز است. یعنی در انسان ۴۶ کروموزومی بعد از میوز سلول‌های زاینده، هر یک از گامت‌ها ۲۳ کروموزوم خواهند داشت. به همین دلیل گامت‌های فرد  $Aa$ ،  $a$  و  $A$  هستند. یعنی گامت‌های فرد  $Aa$  ی  $2n$ ،  $n$  هستند.  $\frac{1}{2}$  گامت‌های فرد  $Aa$ ، آلل  $A$  دارند و  $\frac{1}{2}$  دیگر آن‌ها آلل  $a$ . یک جور دیگر هم می‌توان به قضیه نگاه کرد. وقتی  $\frac{1}{2}$  گامت‌ها آلل  $a$  داشته باشند و  $\frac{1}{2}$  دیگر  $A$ ، یعنی احتمال شرکت گامت  $a$  در لقاح  $\frac{1}{2}$  است و احتمال شرکت گامت  $A$  هم  $\frac{1}{2}$ . این یعنی اصل تفکیک ژن‌ها (قانون اول مندل) که طبق آن در آنافاز میوز I (طی میوز) آلل‌های یک ژن از هم جدا می‌شوند و نصف آن‌ها وارد یک گامت می‌شوند و نصف دیگر وارد گامت دیگر.





خوب به صف آرایی گامت‌های نر و ماده در مقابل هم توجه کنید. قرار است به خواست خدا یک جورایی وصلت سر بگیرد و گامت نر و ماده با هم لقاح کنند و زیگوت تشکیل شود. چند حالت ممکن است، حالت‌ها را با فلش نشان می‌دهیم:



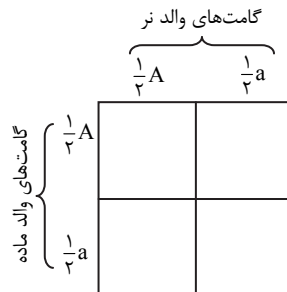
اگر بخواهیم این آمیزش را به صورت خطی بنویسیم این طوری می‌شود:

$$\text{ماده } Aa \times \text{نر } Aa \rightarrow \left(\frac{1}{2}A + \frac{1}{2}a\right) \times \left(\frac{1}{2}A + \frac{1}{2}a\right) \rightarrow \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}Aa + \frac{1}{4}aA + \frac{1}{4}aa \rightarrow \frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}aa$$

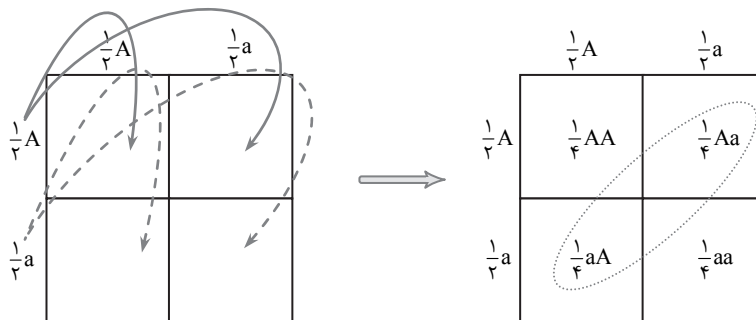
می‌دانید که  $Aa$  و  $aA$  یک نوع زئوتیپ هستند، پس می‌توانیم آن‌ها را با هم جمع کنیم. از نظر احتمالی  $\frac{1}{2}A \times \frac{1}{2}A$  می‌دهد  $\frac{1}{4}AA$ . یعنی وقتی احتمال داشتن یک  $A$  هست  $\frac{1}{2}$ ، پس احتمال داشتن ۲ تا  $A$  به صورت هم‌زمان می‌شود  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ . وقتی احتمال  $Aa$  هست  $\frac{1}{2}$  یعنی احتمال این‌که یک نفر به صورت هم‌زمان هم  $a$  داشته باشد و هم  $A$  می‌شود،  $\frac{1}{4}aA + \frac{1}{4}Aa$ . یعنی یک بار  $a$  از نر می‌آید و  $A$  از ماده  $\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}\right)$  و بار دیگر برعکس  $A$  از نر می‌آید و  $a$  از ماده  $\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}\right)$  و در نهایت احتمال تشکیل  $Aa$  می‌شود  $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$  یعنی  $\frac{1}{2}$ .

اگر عمق مفهوم آمیزش‌های مونوهیبریدی را فهمیدید که هیچ اگر نفهمیدید قبلی بیشتر هیچ! یعنی یک کم که بروید بلوتر کمیته‌تان لنگ می‌زند (فورم نمی‌روزم معنیش پیه، ولی فکر کنم مفهومی این‌که کارت تمومه!!!!) نگید اینا رو که بلدیم، به مفهوم ضرب و جمع دوباره توجه کنید.

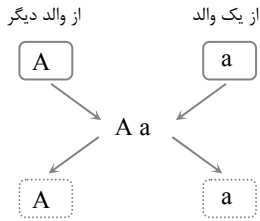
یک آقای خوش‌خطی به نام برادر پانت اومد و گفت آقا به جای خط‌خطی کردن و فلش تو فلش کشیدن، من به پیشنهاد دارم که فلش‌ها رو نامرئی کنیم:



در این جا هم دقیقاً همان کارهای قبلی را می‌کنیم، بدون این‌که خط‌خطی بشود. هر یک از گامت‌های روی ستون را با هر یک از گامت‌های سطر ضرب می‌کنیم (آمیزش می‌دهیم) و زیگوت تشکیل شده را در خانه‌ی مشترک بین دو گامت می‌نویسیم.



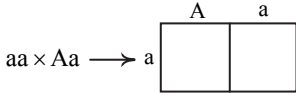
دقت کنید این مربع پانت اصلاً چیز مهم و عجیبی نیست. روشی است برای ضرب کردن گامت‌ها در هم، که به نظر مرتب‌تر و راحت‌تر می‌رسد و از طرف دیگر وقت‌گیر است.



فرد Aa هم محصول گامت است هم مولد گامت

تا این جا نشان دادیم که در آمیزش  $Aa \times Aa$ ، هر یک از والدین گامت‌هایی تک‌آلی (n) به وجود می‌آورند و از لقاح گامت‌های n، جاندار  $2n$  به وجود می‌آید که برای آن صفت تک‌ژنی دو آلل دارد. پس یک نتیجه‌گیری را که از قبل هم می‌دانستیم، دوباره تکرار می‌کنیم. در هر فرد  $2n$  برای هر صفت تک‌ژنی ۲ آلل وجود دارد که یکی از آنها از والد نر (گامت والد نر) و دیگری از والد ماده (گامت والد ماده) می‌آید.

مربع پانت لزوماً ۴ خانه‌ای نیست. ساده‌ترین مربع که برای محاسبه‌ی آمیزش مونوهیبریدی به کار می‌رود ۴ خانه‌ای است. بر اساس انواع گامت‌هایی که والدین تولید می‌کنند، می‌تواند تعداد خانه‌هایش بیشتر باشد. حتی می‌تواند مستطیل باشد (در صورتی که تعداد انواع گامت‌های پدر و مادر با هم متفاوت باشد). مثلاً به مستطیل پانت مقابل توجه کنید:



کل ژنتیک همین  $Aa \times Aa$  است، همین و همین. یعنی کل ژنتیک، آمیزش مونوهیبریدی است. اگر هم آمیزش دی، تری و تتراهیبریدی به شما دادند، باید آن‌ها را تبدیل به چند آمیزش مونوهیبریدی کنید:

$$AaBb \times AaBb \rightarrow (Aa \times Aa) \text{ و } (Bb \times Bb)$$

مهم‌ترین نکته این است که باید بتوانید بدون کشیدن خط و بدون استفاده از مربع پانت یعنی به صورت ذهنی، ضرب‌های مونوهیبریدی را انجام دهید.

**تست** در آمیزش مونوهیبریدی  $Aa \times Aa$ ، کدام یک نادرست است؟

۱) ۲ نوع فنوتیپ به وجود می‌آید. ۲)  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها، فنوتیپ نوترکیب دارند. ۳)  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل a دارند. ۴)  $\frac{1}{4}$  افراد غالب، هتروزیگوس هستند.

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

$$\downarrow \qquad \qquad \downarrow$$

$$\frac{3}{4}A \qquad \qquad \frac{1}{4}a$$

در این آمیزش ۳ نوع ژنوتیپ aa، Aa و AA و ۲ نوع فنوتیپ A و a به وجود می‌آید.

والدین فنوتیپ A دارند، پس  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها که فنوتیپ a دارند، نسبت به والدین فنوتیپ نوترکیب دارند.  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها ( $\frac{1}{4}Aa + \frac{1}{4}aa$ ) آلل a دارند. دقت کنید Aa هم آلل a دارد. گزینه‌ی (۴) غلط است. این گزینه می‌خواهد یک احتمال شرطی را مطرح کند. افراد غالب (A)  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها را تشکیل می‌دهند. چه نسبتی از افراد غالب، هتروزیگوس هستند؟

$$\frac{\text{افراد غالب هتروزیگوس}}{\text{افراد غالب}} = \frac{\frac{1}{4}Aa}{\frac{1}{4}Aa + \frac{1}{4}AA} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$$

**۷** کلاً در صفات اتوزومی ۶ جور آمیزش مونوهیبریدی را می‌توانیم تصور کنیم و غیر از آن‌ها آمیزش دیگری وجود ندارد.

۱)  $AA \times AA =$  هوموزیگوس غالب × هوموزیگوس مغلوب  
۲)  $AA \times AA =$  هوموزیگوس غالب × هوموزیگوس غالب

۳)  $aa \times aa =$  هوموزیگوس مغلوب × هوموزیگوس مغلوب  
۴)  $Aa \times Aa =$  هتروزیگوس × هتروزیگوس

۵)  $AA \times Aa =$  هتروزیگوس × هوموزیگوس غالب  
۶)  $aa \times Aa =$  هتروزیگوس × هوموزیگوس مغلوب

۳ تا آمیزش اول، آخر گلابی است! هر ۳ تای آن‌ها فقط یک نوع ژنوتیپ و یک نوع فنوتیپ تولید می‌کنند و حل آن‌ها نه تنها نیاز به مربع پانت و خط و خوط ندارد، فکر کردن هم نمی‌خواهد.

می‌ماند ۳ آمیزش بعدی. اگر در ۳ آمیزش آخر مشکلی ندارید و آن‌ها را از برید که هیچ، دم شما گرم و گرنه دم ما گرم که یک راهی بهتان یاد می‌دهیم که دم شما هم مین بعر گرم شود!!!

۴)  $Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}Aa + \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa$

۵)  $AA \times Aa \rightarrow \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{2}AA$

۶)  $aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{2}aa$

نکته‌ی اول این که در هر آمیزشی که والدین هتروزیگوس باشند، حتماً  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها هتروزیگوس هستند.

نکته‌ی دوم این که در آمیزش‌های ۵ و ۶ زاده‌ها عین والدین هستند. یعنی از آمیزش  $Aa \times aa$ ،  $\frac{1}{2}$  زاده‌ها Aa هستند، دیگر aa. در آمیزش

$Aa \times AA$ ،  $\frac{1}{2}$  زاده‌ها Aa هستند و  $\frac{1}{2}$  دیگر AA.



خب حالا بدون خط و خوط و مربع پانت و از حفظ، حاصل ضرب‌های زیر را با دانسته‌های صفحه‌ی قبل بگویید:

۱)  $MN \times MN$

۲)  $Bb \times BB$

۳)  $RW \times WW$

در شماره‌ی ۱، ضرب دو هتروزایگوس را داریم. هر جا هتروزایگوس دیدیم  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها هتروزایگوس خواهند بود. در این آمیزش  $\frac{1}{4}$  دیگر زاده‌ها،  $\frac{1}{4} NN$  و  $\frac{1}{4} MM$  خواهند بود.

در شماره‌ی ۲، ضرب یک هتروزایگوس در یک هوموزایگوس را داریم که پاسخ آن می‌شود  $\frac{1}{4}$  هتروزایگوسه و  $\frac{1}{4}$  هوموزایگوسه! در شماره‌ی ۳ هم همین است، از ضرب یک هتروزایگوس در یک هوموزایگوس،  $\frac{1}{4}$  می‌شه هتروزایگوسه و  $\frac{1}{4}$  می‌شه هوموزایگوسه.

در یک فرد ۲n در مورد یک صفت تک‌ژنی اتوزومی (مثل A/a , R/W , B/b و ...)، در آمیزش یک هوموزایگوس با یک هتروزایگوس،  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها می‌شوند هتروزایگوسه و  $\frac{1}{4}$  دیگر زاده‌ها می‌شوند هوموزایگوسه.



۸ در حالت‌های بالا صفت، تک‌ژنی بود و دواللی (A/a , R/W). صفت می‌تواند مثل گروه خونی یا چیزهای دیگر، ۳ یا ۴ یا بیشتر آللی! باشد. در این حالت، باید آلل‌ها را دوبه‌دو در ذهنمان ضرب کنیم. خیلی فرمولی نیست، باید با تمرین مسلط بشویم.

نتیجه‌ی آمیزش‌های زیر را ذهنی بگویید (سعی کنید سرعتتان را زیاد کنید).



۱)  $a_1a_2 \times a_1a_2$

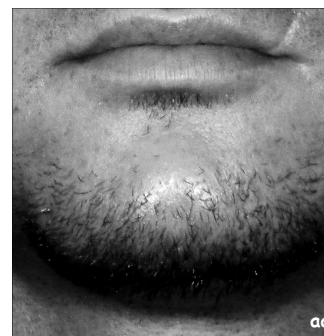
۲)  $a_1a_2 \times a_2a_2$

۳)  $a_1a_2 \times a_2a_2$

۹ خیلی از صفت‌ها را خواندیم که تک‌ژنی هستند و دو یا چند آلل دارند:

انواع فنوتیپ	انواع ژنوتیپ	نوع رابطه‌ی بین آلل‌ها	انواع آلل‌ها	نام صفت تک‌ژنی
۲	۴	آلل قهوه‌ای بر آلل آبی غالب است.	۲	رنگ پشم
۲	۳	آلل گودی بر آلل کور نبودن غالب است.	۲	گودی روی پانه
۲	۳	آلل وجود مو بر نبودن آن غالب است.	۲	وجود مو روی بند انگشتان
۲	۳	آلل نرمه‌ی گوش آزاد بر نرمه‌ی گوش پیوسته غالب است.	۲	لاله‌ی گوش آزاد
۲	۳	آلل توانایی لوله‌کردن زبان بر آلل عدم توانایی لوله‌کردن زبان غالب است.	۲	توانایی لوله‌کردن زبان
۲	۴	رابطه‌ی بین دو آلل موی قر و صاف غالب ناقص است.	۴	حالت مو
۴	۶	آلل A و B هم‌توان هستند و هر دو بر O غالب‌اند.	۳	گروه فونی اصلی
۳	۳	رابطه‌ی بین آلل رنگ قرمز با آلل سفید غالب ناقص است.	۲	رنگ گل میمونی
۲	۴	آلل‌های رنگ قرمز و سفیدی هم‌توان هستند.	۴	رنگ موی برن اسب
۲	۴	آلل سیاهی بر آلل رنگ قهوه‌ای غالب است.	۴	رنگ برن موش

در مواردی که علامت سؤال گذاشتیم، انواع آلل‌ها در محیط محدود به همان ۲ آللی که کتاب درسی گفته، نیست. پس نمی‌توانیم انواع ژنوتیپ و فنوتیپ را بگوییم. فقط می‌توانیم بگوییم رابطه‌ی بین دو آلل که کتاب درسی گفته، چگونه است. البته به صورت قراردادی و در محدوده‌ی کنکور می‌توان از اطلاعات کتاب درسی مسئله ساخت.





پدر و مادری چشم قهوه‌ای دختری چشم آبی دارند. چقدر احتمال دارد فرزند پنجم آن‌ها پسری با چشمان قهوه‌ای باشد؟



- (۱)  $\frac{1}{8}$      
  (۲)  $\frac{1}{4}$      
  (۳)  $\frac{3}{4}$      
  (۴)  $\frac{3}{8}$

گفتیم که در رنگ چشم آلل قهوه‌ای بر آلل آبی غالب است. پس وقتی پدر و مادری چشم قهوه‌ای فرزندی چشم آبی دارند، یعنی هر دو آلل مغلوب آبی را دارند اما به علت غالب بودن آلل قهوه‌ای، چشمان والدین قهوه‌ای شده است. پس پدر و مادر هر دو ناخالص‌اند.



$$Bb \times Bb \rightarrow \begin{matrix} \boxed{\frac{1}{4} b} \\ \downarrow \\ \text{آبی} \end{matrix} + \begin{matrix} \boxed{\frac{3}{4} B} \\ \downarrow \\ \text{قهوه‌ای} \end{matrix}$$

قرار شد این ضرب‌ها را حفظ باشید و ضرب نکنید.

$$\frac{3}{8} = \frac{3}{4} (\text{پسر شدن}) \times \frac{1}{4} (\text{قهوه‌ای}) = \text{احتمال پسر چشم قهوه‌ای}$$

پسری بدون گودی روی چانه، پدری با گودی روی چانه و مادری بدون گودی روی چانه دارد. این پسر برای این صفت ..... آلل



دریافت کرده است.

- (۱) فقط از پدرش     
  (۲) فقط از مادرش     
  (۳) از پدر و مادرش     
  (۴) از پدر یا مادرش

سؤال پایه‌ای و اساسی است. انسان ۲n است و برای هر صفت تک‌ژنی ۲ آلل دارد که حتماً و همیشه یکی از آن‌ها را از پدرش می‌گیرد و دیگری را از مادرش. این‌جا هم همین است. درست است که پدر دارای گودی روی چانه است اما در این صفت ناخالص و هتروزایگوس است و آلل مغلوبش را به پسرش داده است. مادر هم دارای ۲ آلل مغلوب است که یکی را به پسر داده است و پسر با ۲ آلل مغلوب شده است بدون گودی!



اگر در خانواده‌ای احتمال تولد پسری با موهای صاف  $\frac{1}{4}$  باشد، احتمال تولد دختری با موهای مجعد چه قدر است؟



- (۱)  $\frac{1}{2}$      
  (۲)  $\frac{1}{4}$      
  (۳)  $\frac{1}{8}$      
  (۴)  $\frac{1}{16}$

باید ژنوتیپ والدین را حدس بزنیم:



$$\frac{1}{4} = \text{احتمال صاف شدن مو} \Rightarrow \frac{1}{4} = \text{احتمال پسر شدن} \times \text{احتمال صاف شدن مو} \Rightarrow \frac{1}{4} = \text{احتمال پسر با موهای صاف}$$

اگر s را آلل صافی و f را آلل فروری بودن مو بگیریم فقط در آمیزش، fs × ss،  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها ss می‌شوند.

اگر در انتخاب نوع آمیزش گیج شده‌اید زبانه لال، بروید و شماره‌ی ۷ را بخوانید. چند تا قلق خوب در آن بهتان یاد دادیم.

$$fs \times ss \rightarrow \begin{matrix} \boxed{\frac{1}{4} ss} \\ \downarrow \\ \text{صاف} \end{matrix} + \begin{matrix} \boxed{\frac{1}{4} fs} \\ \downarrow \\ \text{مجعد} \end{matrix} \quad \text{احتمال دختر مومجعد} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$$

اگر احتمال A شدن  $\frac{1}{4}$  باشد و احتمال B شدن  $\frac{1}{4}$ ، می‌خواهیم بدانیم چه قدر احتمال دارد از دو فرزند یک خانواده یکی A شود و دیگری B.

در احتمالات به آن پرداختیم و فهمیدیم که یک بار فرزند اول را A می‌گیریم و دومی را B که پاسخ آن می‌شود  $\frac{1}{8}$  و بار دیگر اولی را B می‌گیریم و دومی را A که آن هم می‌شود  $\frac{1}{8}$ . یا حالت اول رخ می‌دهد یا حالت دوم. ۲ تا  $\frac{1}{8}$  را با هم جمع می‌کنیم.

از ازدواج موشی سیاه با قهوه‌ای فرزند اول قهوه‌ای شده است. چقدر احتمال دارد فرزند دوم و سوم، یکی قهوه‌ای و دیگری سیاه باشد؟



- (۱)  $\frac{1}{4}$      
  (۲)  $\frac{1}{4}$      
  (۳)  $\frac{1}{8}$      
  (۴)  $\frac{1}{16}$

وقتی گفته یکی قهوه‌ای شود و دیگری سیاه، یعنی ۲ حالت ممکن است.



$$Bb \times bb \rightarrow \begin{matrix} \boxed{\frac{1}{2} Bb} \\ \downarrow \\ \text{سیاه} \end{matrix} + \begin{matrix} \boxed{\frac{1}{2} bb} \\ \downarrow \\ \text{قهوه‌ای} \end{matrix}$$



فرزند سوم      فرزند دوم

حالت اول : سیاه قهوه‌ای  $\rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

حالت دوم : قهوه‌ای سیاه  $\rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$

حالت اول و دوم هم‌زمان رخ نمی‌دهد، پس ۲ تا  $\frac{1}{4}$  را با هم جمع می‌کنیم:

مردی با نرمه‌ی گوش پیوسته با زنی هتروزایگوس در رابطه با این صفت، ازدواج می‌کند. چقدر احتمال دارد فرزند اول و دوم این خانواده از نظر جنسیت و ژنوتیپ دقیقاً شبیه پدر و مادرشان باشند؟

$\frac{1}{16}$  (۴)                       $\frac{1}{8}$  (۳)                       $\frac{1}{4}$  (۲)                       $\frac{1}{2}$  (۱)

$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} Aa + \frac{1}{4} aa$

هتروزایگوس
پیوسته

احتمال پسر پیوسته  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

احتمال دختر هتروزایگوس  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

فرزند اول      فرزند دوم

حالت اول : پسر پیوسته دختر هتروزایگوس  $\rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

حالت دوم : دختر هتروزایگوس پسر پیوسته  $\rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$\frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{1}{8}$

یا حالت اول اتفاق می‌افتد یا حالت دوم:

۱۱ یک چیز مهم: در خانواده‌ای پدر و مادر هر دو Aa هستند، محصول آمیزش هم این طوری است:

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

حالا این خانواده ۴ فرزند دارد. ژنوتیپ آن‌ها چیست؟ این تصور که اگر این خانواده ۴ فرزند داشته باشد حتماً یکی aa، ۲ تا Aa و دیگری AA است، غلط است. مثل این است که بگوییم اگر ۴ بار یک سکه را بیندازیم حتماً ۲ بار خط می‌آید، ۲ بار هم شیر، که این طور نیست. اما چون آن طرف فلش پدر و مادرها را می‌نویسیم و این طرف فرزندها را، این طور با این کسرها، به نظر می‌رسد که انگار این نتیجه‌ها قطعی هستند، در حالی که این طور نیست. این‌ها نتیجه‌های احتمالی هستند یعنی احتمال دارد که این اتفاق‌ها بیفتد. این نتایج وقتی قطعی و نزدیک به قطعی خواهند بود که فضای نمونه‌ی ما خیلی بزرگ باشد. مثلاً اگر ۱۰۰/۰۰۰ زایمان را در جهان بررسی کنیم تقریباً می‌بینیم که  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها پسر و  $\frac{1}{4}$  دیگر دختر هستند، در حالی که در فضای نمونه محدود (خانواده) این طور نیست.

۱۲ یک چیز مهم دیگر نسبت‌های فنوتیپی و ژنوتیپی است. راستش یادمه موقعی که خودم کنکور داشتم خیلی با این مقوله مشکل داشتم. اصلاً با دیدن یک همچین الگویی: ۱:۲:۱ لرزه بر اندامم می‌افتاد که حالا باید چی کار کنم. آفه اون موقع زمان ما کتاب به این فوبی و آرم به این فوبی و این همه پیزای فوب که نبود که!!!

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

تا این جا که چیزی نداره. مخرج مشترک کسرها رو به دست می‌آوریم (مخرج مشترک بین ۲ و ۴ می‌شه ۴). بعد همه‌ی کسرها رو در مخرج مشترک ضرب می‌کنیم. در واقع ما باید همه‌ی کسرها رو در عددی ضرب کنیم که دیگه هیچ کسری باقی نمونه و مخرج همه‌ی کسرها یک باشه.

$\frac{1}{4} AA + \frac{1}{4} aa + \frac{1}{2} Aa \xrightarrow{\text{ضرب در ۴}} 1AA + 1aa + 2Aa \rightarrow 1:1:2$

دقت کنید ۱:۲:۱ با ۱:۲:۱ با ۲:۱:۱ فرقی نمی‌کند و جابه‌جایی در نسبت‌های فنوتیپی و ژنوتیپی بی‌تأثیر است. اگر سؤال نسبت‌های فنوتیپی را خواست باید کسرها را بنویسیم و در مخرج مشترک آن‌ها ضرب کنیم.



در آمیزش  $Aa \times Aa$  ، نسبت های فنوتیپی کدام است؟

تست

۱:۴ (۴)

۱:۳ (۳)

۱:۱:۲ (۲)

۱:۲ (۱)

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{3}{4}A + \frac{1}{4}a \xrightarrow{\text{مخرج مشترک ۴}} ۳A + ۱a \rightarrow ۱:۳$$

پاسخ

اگر نسبت های ژنوتیپی در جمعیتی ۱:۲:۳ باشد، فراوان ترین ژنوتیپ کدام است؟

تست

$\frac{1}{6}$  (۴)

$\frac{1}{5}$  (۳)

$\frac{1}{3}$  (۲)

$\frac{1}{2}$  (۱)

برای حالت برعکس یک روش خیلی باحال هست. مجموع نسبت ها (۱+۲+۳) می شود مخرج مشترک. بعد نسبت ها را در مخرج

پاسخ

مشترک ضرب می کنیم تا به کسرها برسیم.

$$۱:۲:۳ \xrightarrow{۱+۲+۳=۶} \frac{1}{6} + \frac{2}{6} + \frac{3}{6} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}$$

که البته نمی دانیم کدام نسبت مال کدام ژنوتیپ است، فقط می دانیم که  $\frac{1}{6}$  از دو عدد دیگر بزرگ تر است و بزرگ ترین نسبت است.

۱۲ گروه خونی اصلی، تک ژنی است و آمیزش های آن مونوهیبریدی هستند. یک سری مسئله ی نخ نما شده و تکراری از گروه خونی هست و گاهی

هم یک سری مسائل جدید و نو.



در خانواده ای وجود هر ۴ گروه خونی ممکن است. احتمال این که فرزند اول خانواده پسر دارای آنتی ژن A باشد، چقدر است؟

تست

$\frac{1}{16}$  (۴)

$\frac{1}{8}$  (۳)

$\frac{1}{4}$  (۲)

$\frac{1}{2}$  (۱)

این یکی از آن سؤال های نخ نماست. وقتی در خانواده ای هر ۴ گروه خونی ممکن است یعنی پدر و مادر AO و BO هستند. دقت

پاسخ

کنید هم گروه خونی A و هم گروه خونی AB، آنتی ژن A دارند.

$$AO \times BO \rightarrow \frac{1}{4}AB + \frac{1}{4}AO + \frac{1}{4}BO + \frac{1}{4}OO$$

$\frac{1}{4}$  دارای آنتی ژن A

$$A \text{ پسر دارای آنتی ژن } A = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$$

اگر هر ۴ گروه خونی بین فرزندان خانواده ای محتمل باشد، چند درصد فرزندان این خانواده حداقل یکی از آنتی ژن های گروه خونی را

تست

روی گلبول های قرمزشان دارند؟

۱۰۰ (۴)

۷۵ (۳)

۵۰ (۲)

۲۵ (۱)

پدر و مادر گروه خونی AO و BO دارند.

پاسخ

$$AO \times BO \rightarrow \frac{1}{4}AB + \frac{1}{4}AO + \frac{1}{4}BO + \frac{1}{4}OO$$

حداقل یک آنتی ژن گروه خونی



حداقل یک آنتی ژن گروه خونی را داشتن یعنی یا داشتن یک آنتی ژن (گروه خونی A یا B) و یا داشتن هر دو (گروه خونی AB). پس  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها حداقل یک آنتی ژن برای گروه خونی دارند و فقط  $\frac{1}{4}$  که گروه خونی O دارند، هیچ آنتی ژنی روی گلبول‌های قرمزشان ندارند.

**تست** زنی در خونش همه‌ی پادتن‌های گروه خونی اصلی را دارد. فرزندان این زن نمی‌توانند گروه خونی ..... داشته باشند.

- A (۱)      B (۲)      O (۳)      AB (۴)

**پاسخ** در افرادی که گروه خونی O دارند، آنتی ژن گروه‌های خونی اصلی روی گلبول‌های قرمز وجود ندارد ولی هر دو نوع پادتن گروه خونی در پلاسما هست. فردی که گروه خونی O دارد با هر کس که ازدواج کند، هیچ‌وقت نمی‌تواند فرزندی با گروه خونی AB داشته باشد.

**تست** در کدام آمیزش هیچ یک از فرزندان گروه خونی والدین را نمایش نمی‌دهند؟

- BO × AO (۱)      OO × AB (۲)      AB × AB (۳)      AB × AO (۴)

**پاسخ** گزینه‌ی (۱): پدر و مادر گروه خونی A و B دارند و احتمال تولد بچه‌های AO و BO (شبه والدین) وجود دارد.  
گزینه‌ی (۲): پدر و مادر گروه خونی AB و O دارند و هیچ بچه‌ای نمی‌تواند گروه خونی AB یا O داشته باشد. بچه‌ها یا AO می‌شوند یا BO.

گزینه‌ی (۳): پدر و مادر هر دو گروه خونی AB دارند و بچه‌ها می‌توانند گروه خونی AB (شبه والدین)، A یا B داشته باشند.

گزینه‌ی (۴): بچه‌ها می‌توانند گروه خونی شبه والدین (A یا AB) داشته باشند.

**تست** از ازدواج زنی با گروه خونی AB با مردی با گروه خونی B، احتمال تولد پسری که در خونش همه‌ی آنتی ژن‌های گروه خونی را داشته باشد  $\frac{1}{4}$  است. چه نسبتی از زاده‌ها در این خانواده دختر هتروزیگوس خواهند بود؟

- $\frac{1}{2}$  (۱)       $\frac{1}{4}$  (۲)       $\frac{1}{8}$  (۳)       $\frac{1}{16}$  (۴)

**پاسخ** مرد دو حالت دارد یا BB است یا BO. گروه خونی AB همه‌ی آنتی ژن‌های گروه خونی را دارد.

$$BO \times AB \rightarrow \frac{1}{4}AB + \frac{1}{4}AB + \frac{1}{4}Bb + \frac{1}{4}Bb \Rightarrow \text{پسر } AB = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

$$BB \times AB \rightarrow \frac{1}{2}AB + \frac{1}{2}AB \Rightarrow \text{پسر } AB = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

مرد باید BB باشد!

$$AB \times BB \rightarrow \frac{1}{2}AB + \frac{1}{2}BB$$

$$\text{احتمال دختر هتروزیگوس} = \frac{1}{2} AB \times \frac{1}{2} AB = \frac{1}{4}$$

در مورد گروه‌های خونی، مسائل سخت‌تر را در تست‌ها ببینید!

**۱۲** آخرین چیزی را که در این فصل خیلی خلاصه و گذرا می‌گویم، مفهوم نوترکیبی ژنوتیپی و فنوتیپی است.

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

آمیزش روبه‌رو را در نظر بگیرید:

والدین ژنوتیپ Aa دارند.  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها ژنوتیپ شبه والدین دارند (که این‌ها ژنوتیپ نوترکیب ندارند) و  $\frac{3}{4}$  دیگر شبه والدین نیستند و ژنوتیپ نوترکیب دارند.

از نظر فنوتیپی، فنوتیپ والدین A است و  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها هم فنوتیپ A دارند و فقط فنوتیپ  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها a و نوترکیب است (شبه والدین نیست).

یک فصل کامل در مورد نوترکیبی خواهیم گفت. این را گفتم تا بتوانید بعضی از تست‌ها را حل کنید.

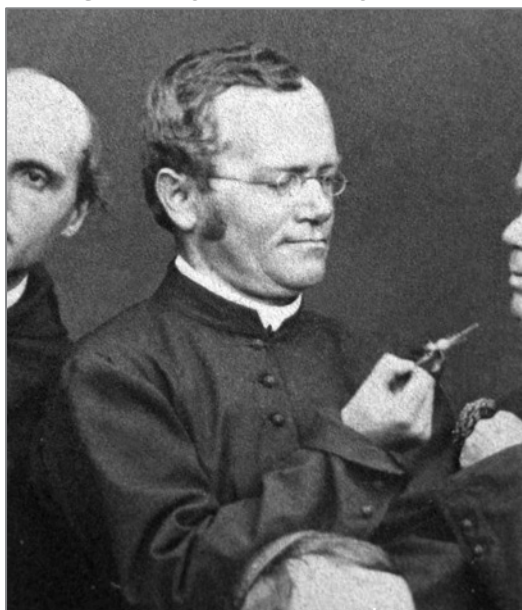


# آمیزش مولتی هیبریدی

۱ این فصل و فصل قبلی یک جورهایی آمیزش اولیه را یاد می‌دهند. هر چند از این فصل‌ها شاید سؤال مستقیمی در کنکور نیاید، اما تمرین کردن در این فصول شرط اصلی برای یادگیری و سرعت دادن به حل مسئله در فصول دیگر است. پس ...

## انواع فنوتیپ و انواع ژنوتیپ

۲ در فصل قبل یاد گرفتیم که  $Aa \times Aa$  و  $RW \times RW$  (هر کدام از آمیزش‌های مونوهیبریدی) چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ می‌دهند. در



▲ مندل! کسی که قانون دوم خودش، برای خودش مصداق داشت، اونم به‌طور تصادفی، اونم در همی صفات!

این فصل می‌خواهیم ببینیم که در آمیزش  $AaRW \times AaRW$  چه اتفاقی می‌افتد. در واقع می‌خواهیم ببینیم انواع فنوتیپ و ژنوتیپ در آمیزش‌های بیش از مونوهیبریدی (دی‌هیبریدی، تری‌هیبریدی و ...) چگونه است.

۳ قبل از این که راحت سرمان را مثل آدم! بیندازیم پایین و ضرب کنیم، باید یک مفهوم را عمیقاً درک کنیم، این مفهوم قانون جور شدن مستقل ژن‌هاست. این قانون که قانون دوم مندل است و در همه‌ی آزمایشات مندل صادق بوده است، در بعضی از موارد صادق است و در بعضی موارد دیگر نیست. به همین دلیل اصل جور شدن مستقل ژن‌ها همیشه درست نیست. حالا اصلاً این اصل جور شدن ژن‌ها چی میگه؟

شما فردی با ژنوتیپ  $AaBb$  را لطفاً در نظر بگیرید. این فرد  $2n$  است و دو جفت ژن دارد که  $A$  و  $a$  ژن‌های آل هستند، همین‌طور  $B$  و  $b$ . اصل جور شدن مستقل ژن‌ها می‌گوید در فرد  $AaBb$ ، جور شدن جفت ژن  $A/a$  هیچ ارتباطی با جور شدن جفت ژن  $B/b$  ندارد. حالا یعنی چه؟



یعنی ورود آلل A یا a به یک گامت تعیین کننده‌ی ورود B یا b به همان گامت نیست، یعنی کلاً جور شدن A/a (ورود A یا a به گامت) هیچ تأثیری روی جور شدن B/b ندارد و برعکس.

۴ اصل جور شدن مستقل ژن‌ها خیلی وقت‌ها درست است (از جمله در آزمایشات مندل که همیشه صادق بود). اما در حالتی که ژن‌ها پیوسته باشند، قانون دوم مندل نقض می‌شود.

فرض کنید در فردی با ژنوتیپ AaBb، آلل‌های A و B روی یک کروموزوم و با هم پیوسته باشند. در این حالت جور شدن آلل‌های A/a و B/b مستقل از هم نیست و روی هم تأثیر می‌گذارد. یعنی آلل A وارد هر گامتی شود، حتماً آلل B هم وارد آن گامت می‌شود و برعکس. اصلاً دو جفت ژن A/a و B/b مستقل از هم نیستند و کلی هم سرنوشتشان به هم پیوسته است.

در کل این فصل ما در مورد ژن‌های غیر پیوسته صحبت می‌کنیم که قانون دوم مندل در مورد آن‌ها صادق است. اما در حل مسائل ژنتیک همیشه باید حواستان به پیوستگی باشد. در کنکور سال ۸۷ یک آمیزش دی‌هیبریدی ساده کلی تلفات داشت. چرا؟ چون در صورت سؤال نگفته بود ژن‌ها پیوسته‌اند و هر چه از راه غیر پیوسته حل می‌کردی جواب در گزینه‌ها نبود!

۵ آمیزش دی‌هیبریدی برای ژن‌های پیوسته بماند در فصل پیوستگی. اما در مورد ژن‌هایی که مستقل از هم جور می‌شوند و قانون دوم مندل در مورد آن‌ها صادق است و پیوسته نیستند، هر آمیزش مولتی‌هیبریدی را به صورت چند آمیزش مونوهیبریدی درمی‌آوریم.

$AaBbDd \times AaBbDd \rightarrow \dots$   
 $\downarrow$   
 $Aa \times Aa \rightarrow \dots$   
 $Bb \times Bb \rightarrow \dots$   
 $Dd \times Dd \rightarrow \dots$



▲ این‌که یکی از دوستانون به شماره شخصی اتاقتون Z بزنه، بعد یکی دیگه از دوستانون! به شماره منزل و دوست سومتون (ای بچه‌های شیطان!) به موبایلتون؛ یعنی سه تا اتفاق مستقل و هم‌زمان که باید در هم ضرب شن تا عمق بدشانسی یکی رو نشون بدن!!

۲ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ  $Aa \times AA \rightarrow$

۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ  $Bb \times Bb \rightarrow$

۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ  $RW \times RW \rightarrow$

حالا برای محاسبه‌ی انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها در آمیزش تری‌هیبریدی، انواع ژنوتیپ‌های حالت‌های مونوهیبریدی را در هم و انواع فنوتیپ‌های حالت‌های مونوهیبریدی را هم در هم ضرب می‌کنیم. مثل ۳ تا اتفاق مستقل و هم‌زمان.

$18 = 2 \times 3 \times 3 =$  انواع ژنوتیپ‌های آمیزش تری‌هیبریدی

$6 = 1 \times 2 \times 3 =$  انواع فنوتیپ‌های آمیزش تری‌هیبریدی

انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها و نسبت ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌ها برای آمیزش مولتی‌هیبریدی برابر حاصل ضرب انواع ژنوتیپ‌ها در هم، انواع فنوتیپ‌ها در هم، انواع نسبت‌های ژنوتیپی در هم و انواع نسبت‌های فنوتیپی در هم است. «در هم» این‌جا یعنی مثلاً نسبت‌های ژنوتیپی را در هم ضرب می‌کنیم! علت ضرب کردن نتایج آمیزش‌های مونوهیبریدی این است که هر کدام از این آمیزش‌ها یک اتفاق مستقل است که هم‌زمان با آمیزش مونوهیبریدی دیگر می‌افتد.

تست در آمیزش  $AaBbRW \times AABbRW$ ، در زاده‌ها چند نوع

فنوتیپ و چند نوع ژنوتیپ می‌بینیم؟

۱) ۱۸ - ۶  
۳) ۱۲ - ۶

۲) ۱۸ - ۱۲  
۴) ۱۲ - ۸

لاسه در حل این‌گونه مسائل که صورت سؤال در مورد پیوسته بودن یا نبودن ژن‌ها چیزی نگفته است، ما ژن‌ها را نسبت به هم غیر پیوسته می‌گیریم و مسئله را حل می‌کنیم. اگر جواب در حالت غیر پیوسته در گزینه‌ها نبود باید به پیوستگی شک کنیم و آن را امتحان کنیم.

این آمیزش تری‌هیبریدی را به ۳ آمیزش مونوهیبریدی تبدیل می‌کنیم:



در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، رابطه‌ی بین آلل‌های ژن‌ها را نمی‌دانیم. در زاده‌ها حداقل و حداکثر چند نوع فنوتیپ وجود



خواهد داشت؟

۳ - ۲ (۴)

۹ - ۸ (۳)

۹ - ۶ (۲)

۲۷ - ۸ (۱)

حداقل انواع فنوتیپ‌ها وقتی است که بین آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی باشد:



$Aa \times Aa$  → نوع فنوتیپ ۲ اگر بین آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی باشد

$Bb \times Bb$  → عین بالا اگر بین آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی باشد

$Dd \times Dd$  → عین بالا اگر بین آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی باشد

حداقل انواع فنوتیپ‌ها  $= 2 \times 2 \times 2 = 8$

حداکثر انواع فنوتیپ‌ها وقتی است که بین آلل‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی وجود نداشته باشد که در هر آمیزش مونوهیبریدی حداکثر ۳ نوع فنوتیپ دیده می‌شود.

حداکثر انواع فنوتیپ‌ها  $= 3 \times 3 \times 3 = 27$

(سپش ۸۲)

تنوع ژنتیکی در زاده‌های کدام آمیزش بیشتر است؟



$AaBb \times aabb$  (۴)

$AaBB \times aaBb$  (۳)

$AaBb \times aaBb$  (۲)

$AaBB \times AaBb$  (۱)

این مسئله نیاز به حل و بررسی گزینه‌ها ندارد. باید بتوانید چشمی برای هر جفت ژن انواع فنوتیپ را به دست بیاورید. مثلاً می‌دانید



که اگر آمیزش بین دو هتروزیگوس باشد ( $Aa \times Aa$  یا  $Bb \times Bb$  یا ...) ۳ نوع فنوتیپ می‌دهد و یا اگر آمیزش بین یک هتروزیگوس و یک هوموزیگوس باشد ( $aa \times Aa$  یا  $AA \times Aa$ ) ۲ نوع فنوتیپ می‌دهد.

گزینه‌ی (۱) :  $2 \times 2 = 4$

گزینه‌ی (۲) :  $2 \times 3 = 6$

گزینه‌ی (۳) :  $2 \times 2 = 4$

گزینه‌ی (۴) :  $2 \times 2 = 4$

## سبب فراوانی فنوتیپ یا ژنوتیپ

۶ یک جور دیگر مسائل مولتی‌هیبریدی این است که در یک آمیزش، فراوانی یک نوع فنوتیپ یا یک نوع فنوتیپ را می‌خواهند. در این حالت هم فرض بر این است که ژن‌ها پیوسته نیستند مگر این که صورت سؤال پیوستگی را ذکر کند یا این که بعد از حل مسئله به صورت غیرپیوسته، جواب در گزینه‌ها نباشد. در حالت اخیر باید به شدت به پیوسته بودن فکر کرد! در حل این مسئله‌ها عین دفعه‌ی قبلی، آمیزش مولتی‌هیبریدی را تبدیل به چند آمیزش مونوهیبریدی می‌کنیم و در آخر هم وقایع هم‌زمان مستقل از هم را که صورت سؤال خواسته، در هم ضرب می‌کنیم.

در آمیزش  $AaBbRW \times AaBBRW$ ، احتمال ژنوتیپ  $aaBbRW$  چه قدر است؟



$\frac{1}{32}$  (۴)

$\frac{1}{16}$  (۳)

$\frac{1}{8}$  (۲)

$\frac{1}{4}$  (۱)

اگر نظر من را می‌خواهید باید اصلاً دست به خودکار نشوید و به صورت ذهنی مسئله را حل کنید. اگر نظر شما چیز دیگری است



فعلاً به آن احترام می‌گذاریم! فرض می‌کنیم ژن‌ها پیوسته نیستند.

یک راه برای این که سرعتمان کمی زیاد شود، این است که زاده‌ها را در آمیزش‌های مونوهیبریدی، کامل ننویسید. ببینید سؤال چه می‌خواهد، همان را بنویسید.

$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots$

$Bb \times BB \rightarrow \frac{1}{2}Bb + \dots$

$RW \times RW \rightarrow \frac{1}{4}RW + \dots$



حالا می‌خواهیم aa، Bb و RW که مستقل از هم هستند (چون پیوسته نیستند)، به صورت هم‌زمان در کنار هم باشند، پس احتمال هر کدام از آن‌ها را در هم ضرب می‌کنیم.

$$aaBbRW \text{ احتمال ژنوتیپ} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$$

در آمیزش  $AaBbRW \times AabbRW$ ، چه نسبتی از زاده‌ها فنوتیپ  $AbRR$  دارند؟

$$\frac{9}{32} \text{ (۴)} \qquad \frac{3}{32} \text{ (۳)} \qquad \frac{3}{16} \text{ (۲)} \qquad \frac{1}{4} \text{ (۱)}$$

آمیزش‌های مونوهیبریدی را به صورت جداگانه تشکیل می‌دهیم تا به خواسته‌مان برسیم.

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{3}{4}A + \dots \qquad Bb \times bb \rightarrow \frac{1}{2}b + \dots \qquad RW \times RW \rightarrow \frac{1}{4}RR$$

$$AbRR \text{ احتمال فنوتیپ} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{32}$$

از آمیزش  $AaBb \times AaBb$ ، کدام یک نادرست است؟

$$\frac{9}{16} \text{ (۱) زاده‌ها در هر دو صفت غالب هستند.} \qquad \frac{1}{4} \text{ (۲) زاده‌ها در هر دو صفت هتروزیگوس هستند.}$$

$$\frac{1}{8} \text{ (۳) زاده‌ها ژنوتیپ Aabb دارند.} \qquad \frac{3}{8} \text{ (۴) زاده‌ها فنوتیپ Ab دارند.}$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}AA \qquad Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}bb + \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{4}BB$$

$$\text{(۱) گزینه‌ی (۱) : غالب بودن در هر دو صفت} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$$

$$\text{(۲) گزینه‌ی (۲) : هتروزیگوس بودن در هر دو صفت} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$\text{(۳) گزینه‌ی (۳) : ژنوتیپ Aabb} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$$

$$\text{(۴) گزینه‌ی (۴) : فنوتیپ Ab} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

از آمیزش  $AaBb \times AaBb$ ، چه نسبتی از زاده‌ها آلل A دارند؟

$$\frac{2}{3} \text{ (۴)} \qquad \frac{3}{4} \text{ (۳)} \qquad \frac{3}{16} \text{ (۲)} \qquad \frac{3}{8} \text{ (۱)}$$

از آمیزش  $Aa \times Aa$ ،  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل A دارند  $(\frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa)$ . در سؤال فوق هم  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل A دارند، بدون توجه به این‌که در

مورد صفت B و b چه آلی داشته باشند. در واقع آمیزش  $Bb \times Bb$  هیچ تأثیری در این‌که  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل A دارند، نخواهد داشت. این سؤال، صورت گول‌زننده‌ای دارد و مفهومی است، در حالی که جواب بسیار آسانی دارد.

امکان دارد در یک جور از سؤال‌ها، بیشترین یا کم‌ترین درصد فنوتیپی یا ژنوتیپی را در زاده‌ها بپرسند.

در آمیزش  $AabbDD \times AaBbDd$ ، فراوانی فراوان‌ترین ژنوتیپ کدام است؟

$$\frac{1}{4} \text{ (۴)} \qquad \frac{3}{8} \text{ (۳)} \qquad \frac{3}{4} \text{ (۲)} \qquad \frac{1}{8} \text{ (۱)}$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{2}Aa + \dots \qquad bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{2}bb \qquad DD \times Dd \rightarrow \frac{1}{2}DD + \frac{1}{2}Dd$$



در هر آمیزش مونوهیبریدی فراوان ترین ژنوتیپ را به دست می آوریم و فراوان ترین ژنوتیپها را در هم ضرب می کنیم. وقتی چندتا ژنوتیپ بیشتر داریم خب یکی از آنها را می نویسیم! مثلاً در آمیزش های دوم و سوم فراوانی همه ی زاده ها می شود  $\frac{1}{4}$  که هم مال همه هست و هم یک جورهایی بیشتر است.

$$\text{فراوانی فراوان ترین ژنوتیپ} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$$

در آمیزش  $AaRW \times AaRW$  ، فراوانی فراوان ترین فنوتیپ کدام است؟



$$\frac{3}{16} \text{ (۴)}$$

$$\frac{3}{8} \text{ (۳)}$$

$$\frac{9}{16} \text{ (۲)}$$

$$\frac{1}{4} \text{ (۱)}$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{3}{4}A \text{ (فراوان ترین فنوتیپ)}$$

$$RW \times RW \rightarrow \frac{1}{4}RW \text{ (فراوان ترین فنوتیپ)}$$

$$\text{فراوانی فراوان ترین فنوتیپ برای دو جفت ژن} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

یک سری مسائل سخت تر از اینها هم، می دهند که کمی جلوتر با هم می خوانیم.

## نسبت های فنوتیپ و ژنوتیپی

در آمیزش  $AaBB \times AaBb$  ، نسبت های ژنوتیپی میان زاده ها کدام است؟



$$1:1:1:1:2 \text{ (۴)}$$

$$1:1:2:2:2 \text{ (۳)}$$

$$1:1:1:1:2:2 \text{ (۲)}$$

$$1:1:1:2:2 \text{ (۱)}$$

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

باز هم آمیزش های مونوهیبریدی را تشکیل می دهیم:



$$BB \times Bb \rightarrow \frac{1}{2}BB + \frac{1}{2}Bb$$

برای به دست آوردن همه ی انواع ژنوتیپها در زاده ها باید زاده های آمیزش مونوهیبریدی اول و دوم را در هم ضرب کنیم. یکی از آمیزش ها ۲ نوع ژنوتیپ دارد و دیگری ۳ نوع و این حاصل ضرب  $(2 \times 3)$  ۶ نوع ژنوتیپ خواهد داشت، پس در زاده ها هم ۶ نوع ژنوتیپ داریم (از این نظر شاید بتوان بعضی از گزینه ها را رد کرد).

	$\frac{1}{4}AA$	$\frac{1}{2}Aa$	$\frac{1}{4}aa$
$\frac{1}{2}BB$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{2}Bb$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$

پس نسبت های ژنوتیپی کسری برای دو جفت ژن می شود:  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{8}$  و  $\frac{1}{8}$  و  $\frac{1}{8}$  و  $\frac{1}{8}$ . قبلاً گفتیم که برای تبدیل کسر به نسبت ژنوتیپی باید

$$\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4} \xrightarrow{\times 8} 1:1:1:1:2:2$$

کسرها را در مخرج مشترکشان ضرب کنیم.

از خودلقاحی  $AaRW$  ، نسبت های فنوتیپی نسل بعد کدام است؟



$$6:3:3:2:1:1 \text{ (۴)}$$

$$9:3:3:2:2:1 \text{ (۳)}$$

$$6:3:3:2:2:1 \text{ (۲)}$$

$$9:3:3:3:1 \text{ (۱)}$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}a + \frac{3}{4}A \rightarrow \text{نوع فنوتیپ ۲}$$

$$RW \times RW \rightarrow \frac{1}{4}RR + \frac{1}{2}RW + \frac{1}{4}WW \rightarrow \text{نوع فنوتیپ ۳}$$



	$\frac{1}{4}R$	$\frac{1}{2}RW$	$\frac{1}{4}W$
$\frac{3}{4}A$	$\frac{3}{16}$	$\frac{6}{16}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{1}{4}a$	$\frac{1}{16}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{1}{16}$



$\frac{3}{8}$  و  $\frac{1}{8}$  را به صورت  $\frac{6}{16}$  و  $\frac{2}{16}$  نوشتیم، تا مخرج همه ۱۶ باشد. برای تبدیل کسرها به نسبت‌های فنوتیپی، کسرها را در مخرج مشترک آن‌ها ضرب می‌کنیم.

$$\frac{6}{16}, \frac{3}{16}, \frac{3}{16}, \frac{2}{16}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16} \xrightarrow{\times 16} 6:3:3:2:1:1$$

در آمیزش  $AaBb \times aaBb$ ، بزرگ‌ترین نسبت فنوتیپی نسل بعد کدام است؟

تست

۹ (۴)

۶ (۳)

۳ (۲)

۲ (۱)

$$Aa \times aa \rightarrow \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}A$$

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{3}{4}B + \frac{1}{4}b$$

پاسخ

	$\frac{3}{4}B$	$\frac{1}{4}b$
$\frac{1}{2}A$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{2}a$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$

$$\frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8} \xrightarrow{\times 8} 3:3:1:1$$

بزرگ‌ترین نسبت فنوتیپی در زاده‌ها ۳ است.

## حداقل حد اکثر

حداقل یک چیز را داشتن یعنی داشتن آن و بیش از آن. من حداقل دیگه دانشگاه آزاد قبول می‌شم یعنی آزاد رو که حتماً قبول می‌شم، احتمال داره سراسری هم قبول شم! حداکثر چیزی را داشتن یعنی داشتن آن چیز و کم‌تر از آن. من حداکثر دیگه دانشگاه آزاد قبول می‌شم یعنی احتمال داره که دانشگاه آزاد قبول شم ولی سراسری دیگه قبول نمی‌شم! در حل حداقل و حداکثر باید به متمم آن چه در سؤال از ما خواسته‌شده دقت کنیم، شاید محاسبه‌ی آن آسان‌تر باشد و بعد با کم کردن احتمال متمم از یک (مجموع احتمال‌ها) پاسخ سؤال را به‌دست بیاوریم. مثلاً وقتی می‌خواهیم بدانیم چند درصد خانواده‌های ایرانی حداقل یک بچه دارند، نباید آن‌هایی را که بچه ندارند سرشماری کنیم! چرا که تعداد آن‌ها خیلی بیشتر از خانواده‌هایی است که اصلاً بچه ندارند. برای به‌دست آوردن پاسخ این سؤال، درصد خانواده‌هایی که بچه ندارند را حساب می‌کنیم (که آسان‌تر است) و این درصد را از یک یا صددرصد کم می‌کنیم و پاسخ می‌شود خانواده‌هایی که حداقل یک فرزند دارند (یعنی یا یک فرزند دارند و یا بیشتر).



از آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه نسبتی از زاده‌ها حداقل در یک صفت غالب هستند؟

تست

$\frac{63}{64}$  (۴)

$\frac{7}{8}$  (۳)

$\frac{31}{32}$  (۲)

$\frac{15}{16}$  (۱)

حداقل در یک صفت غالب هستند یعنی در یک صفت یا در دو صفت یا در سه صفت غالب هستند. پس اگر احتمال این‌که در هیچ

پاسخ

صفتی غالب نباشند را از یک کم کنیم، می‌شود احتمال این‌که حداقل در یک صفت غالب باشند.



$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}a + \frac{3}{4}A$$

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}b + \frac{3}{4}B$$

$$Dd \times Dd \rightarrow \frac{1}{4}d + \frac{3}{4}D$$

$$\text{در هیچ صفتی غالب نباشند} = \frac{1}{4}(a) \times \frac{1}{4}(b) \times \frac{1}{4}(d) = \frac{1}{64}$$

$$\text{حدافل در یک صفت غالب باشند} = 1 - \frac{1}{64} = \frac{63}{64}$$

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه نسبتی از زاده‌ها حداکثر در دو صفت غالب هستند؟

تست

$$\frac{14}{16} \text{ (4)}$$

$$\frac{7}{16} \text{ (3)}$$

$$\frac{9}{16} \text{ (2)}$$

$$\frac{11}{16} \text{ (1)}$$

حداکثر در دو صفت غالب هستند یعنی یا در دو صفت غالب‌اند و یا کم‌تر (در یک صفت و یا هیچ صفتی!). اگر احتمال در هر ۳ صفت غالب بودن را حساب کنیم و از یک کم کنیم آن‌چه می‌ماند احتمال حداکثر در دو صفت غالب بودن است.

پاسخ

$$\text{احتمال ABD} = \frac{3}{4}A \times \frac{3}{4}B \times 1D = \frac{9}{16}$$

$$\text{احتمال حداکثر در دو صفت غالب بودن} = 1 - \frac{9}{16} = \frac{7}{16}$$

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه نسبتی از زاده‌ها حداکثر در یک صفت غالب هستند؟

تست

$$\frac{12}{64} \text{ (4)}$$

$$\frac{11}{64} \text{ (3)}$$

$$\frac{10}{64} \text{ (2)}$$

$$\frac{9}{64} \text{ (1)}$$

در بعضی از موارد هم متمم خوب و رادستی! نمی‌توان یافت و بهتر است سؤال را مستقیم حل کنیم. حداکثر در یک صفت غالب باشند یعنی یا در هیچ صفتی غالب نباشند (abd) و یا این‌که فقط در یک صفت غالب باشند (abD, aBd, Abd).

پاسخ

$$abd + aBd + abD + Abd = \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}\right) + \left[\left(\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}\right) \times 3\right] = \frac{10}{64}$$

## احتمال شرطی

به نظرم به زودی احتمال شرطی پای ثابت تست‌های کنکور می‌شود. لازم نیست یک تست مستقیم از احتمال شرطی طرح شود. همین تست‌های معمولی و ساده ژنتیک با یک دستکاری کوچک تبدیل به تست سخت احتمال شرطی می‌شوند.

از آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه

تست

نسبتی از زاده‌هایی که در هر سه صفت غالب هستند،

در هر ۳ صفت هموزیگوس هستند؟

$$\frac{1}{27} \text{ (2)}$$

$$\frac{1}{64} \text{ (1)}$$

$$\frac{1}{54} \text{ (4)}$$

$$\frac{1}{32} \text{ (3)}$$

برای مخرج باید حساب کنیم که چه

پاسخ

نسبتی از زاده‌ها در هر ۳ صفت غالب هستند. برای صورت هم باید حساب کنیم چه نسبتی از زاده‌ها هم در هر ۳ صفت غالب هستند و هم در هر ۳ صفت هموزیگوس.



▲ آقای اسپیلبرگ این فیلم را بر اساس یک احتمال شرطی ساخته است!



$$Aa \times Aa \rightarrow \left( \frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa \right) + \left( \frac{1}{4}aa \right)$$

$$\downarrow \qquad \qquad \downarrow$$

$$\frac{3}{4}A \qquad \qquad \frac{1}{4}a$$

برای دو صفت دیگر هم همین طور است. باید تمرین کنیم چیزهای اضافه ننویسیم.

$$\text{در هر ۳ صفت غالب} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{27}{64}$$

$$\text{افراد هوموزیگوس غالب را برای صورت محاسبه می کنیم:} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$$

$$\text{درصدی از زاده های غالب که هوموزیگوس هستند} = \frac{\text{هوموزیگوس غالب}}{\text{غالب}} = \frac{\frac{1}{64}}{\frac{27}{64}} = \frac{1}{27}$$

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه نسبتی از زاده هایی که در هر ۳ صفت هوموزیگوس هستند، حداقل در یک صفت غالب هستند؟

تست

$$\frac{7}{8} \text{ (۴)}$$

$$\frac{15}{16} \text{ (۳)}$$

$$\frac{31}{32} \text{ (۲)}$$

$$\frac{63}{64} \text{ (۱)}$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa + \frac{1}{2}Aa \rightarrow \frac{1}{4} \text{ زاده ها هوموزیگوس هستند}$$

پاسخ

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}BB + \frac{1}{4}bb + \frac{1}{2}Bb \rightarrow \frac{1}{4} \text{ زاده ها هوموزیگوس هستند}$$

$$Dd \times Dd \rightarrow \frac{1}{4}DD + \frac{1}{4}dd + \frac{1}{2}Dd \rightarrow \frac{1}{4} \text{ زاده ها هوموزیگوس هستند}$$

$$\text{زاده هایی که در هر ۳ صفت هوموزیگوس هستند} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$$

### یک اشتباه رایج!

شاید بعضی ها بگویند فقط ژنوتیپ های  $AABBDD$  و  $aabbdd$  در هر ۳ صفت هوموزیگوس هستند، در حالی که بسیاری از ژنوتیپ های دیگر مثل  $AABbdd$  و ... را در نظر نگرفته اند.

هوموزیگوس هایی که حداقل در یک صفت غالب باشند، یعنی در یک یا دو یا هر ۳ صفت غالب باشند. از راه متمم حل کنیم در دسرش کم تر است. یعنی باید احتمال هوموزیگوسی را حساب کنیم که در هر ۳ صفت مغلوب باشد.

$$\frac{\text{احتمال هوموزیگوس مغلوب شدن در هر ۳ صفت}}{\text{احتمال هوموزیگوس شدن در ۳ صفت}} = \frac{aabbdd}{\frac{1}{8} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8}} = \frac{1}{64} = \frac{1}{8}$$

پس به احتمال  $\frac{1}{8}$ ، اگر فردی هوموزیگوس شود، در هر ۳ صفت مغلوب خواهد شد و به احتمال  $\frac{7}{8} (1 - \frac{1}{8})$  حداقل در یک صفت غالب خواهد بود.

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDd$ ، چه نسبتی از افرادی که فنوتیپ  $AbD$  دارند، آلل  $a$  دارند؟

تست

$$\frac{2}{3} \text{ (۴)}$$

$$\frac{1}{4} \text{ (۳)}$$

$$\frac{2}{4} \text{ (۲)}$$

$$\frac{1}{4} \text{ (۱)}$$

مخرج کسر احتمال افرادی با فنوتیپ  $AbD$  است و صورت کسر احتمال افرادی با ژنوتیپ  $Aa$  همراه با فنوتیپ  $b$  و  $D$  است! دوباره

پاسخ

بخوانید متوجه می شوید!

$$Aa \times Aa \rightarrow \left( \frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa \right) + \left( \frac{1}{4}aa \right)$$

$$\downarrow \qquad \qquad \downarrow$$

$$\frac{3}{4}A \qquad \qquad \frac{1}{4}a$$

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}b + \frac{3}{4}B$$

$$Dd \times Dd \rightarrow \frac{1}{4}d + \frac{3}{4}D$$

$$\text{مخرج کسر} = \text{احتمال فنوتیپ } AbD = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{64}$$

$$\Rightarrow \text{احتمالی که صورت سؤال خواسته} = \frac{\frac{9}{64}}{\frac{3}{4}} = \frac{3}{64}$$

$$\text{صورت کسر} = \text{احتمال داشتن ژنوتیپ } Aa \text{ با فنوتیپ } b \text{ و } D = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{64}$$

آدم های باهوش تر این مسئله را از راه  $\frac{1}{4}$  حل می کنند. چرا؟ چون احتمال فنوتیپ  $b$  و  $D$  هم در صورت هست و هم در مخرج و با هم ساده می شوند.

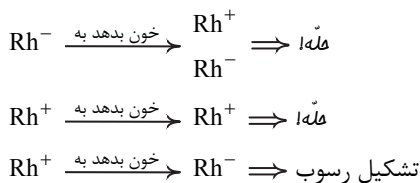


۷ هر چند مباحث مربوط به ژنتیک انسان را در فصل‌های پیش رو مفصل می‌خوانیم، اما از اول این گروه خونی با ما بود و کم‌کم می‌کرد از شر



این نمادهای کم‌معنی! a و M و B و این‌ها خلاص شویم و رابطه‌ی بین تئوری و واقعیت را بهتر لمس کنیم. در این قسمت با یک دوست جدید آشنا می‌شویم به نام آنتی‌ژن Rh. روی گلبول‌های قرمز هوارتا پروتئین هست که به خیلی از آن‌ها می‌گویند آنتی‌ژن. پروتئین‌های A و B آنتی‌ژن‌های گروه‌های خونی اصلی هستند و پروتئین D (نامش در کتاب‌های درسی نیست) آنتی‌ژن Rh. Rh مثبت یعنی کسی که این پروتئین را روی گلبول‌های قرمزش دارد و Rh منفی کسی است که ... ساخت پروتئین Rh توسط یک ژن آللی کنترل می‌شود، آلل Rh مثبت (R) و آلل Rh منفی (r). آلل Rh مثبت بر آلل Rh منفی غالب است. با Rh در سال دوم فصل (۶) آشنا شده‌اید اما تک‌ژنی بودن و دو آللی بودن و رابطه‌ی غالب و مغلوبی این صفت در کتاب درسی نیست ولی تست کنکور از Rh طرح می‌شود و در صورت سؤال اطلاعات مربوط به آن را می‌دهند (که مثلاً آلل R بر r غالب است و از این حرف‌ها!).

۸ یک نکته‌ی مهم در مورد Rh که در سال دوم می‌خوانید و باید به آن دقت کنید و شاید در مسائل ژنتیک به صورت غیرمستقیم از آن سؤال طرح شود این است که فرد Rh<sup>+</sup> می‌تواند از افراد Rh<sup>+</sup> و Rh<sup>-</sup> خون دریافت کند، در حالی که فرد Rh<sup>-</sup> فقط از فرد Rh<sup>-</sup> می‌تواند خون بگیرد نه از فرد Rh<sup>+</sup>. دلیل این اتفاق این است که فرد Rh<sup>-</sup> که آنتی‌ژن Rh ندارد، پادتن ضد آن را دارد. وقتی خون به کسی می‌زنند؛ یعنی گلبول قرمز به او می‌دهند نه پلاسما. پس آنتی‌ژن‌ها منتقل می‌شوند اما پادتن‌ها که در پلاسما هستند نه. به همین دلیل فرد Rh<sup>-</sup> که در خونش پادتن دارد نمی‌تواند آنتی‌ژن Rh را دریافت کند چرا که پادتن و آنتی‌ژن در کنار هم ایجاد رسوب می‌کنند. اما فرد Rh<sup>+</sup> می‌تواند از فرد Rh<sup>-</sup> گلبول قرمز بگیرد چرا که نه فرد Rh<sup>+</sup> پادتن دارد و نه فرد Rh<sup>-</sup> که خون می‌دهد آنتی‌ژن.



حالا با توجه به توضیحات بالا بگید ببینم! برای Rh به ترتیب چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

۳-۴ (۴)

۳-۳ (۳)

۲-۳ (۲)

۲-۲ (۱)

از ازدواج مردی با گروه خونی A<sup>+</sup> با زنی با گروه خونی B<sup>+</sup>، معین کنید به ترتیب از راست به چپ حداکثر چند نوع فنوتیپ و چند

(سپش ۸۲)

۱۸-۶ (۴)

۱۸-۸ (۳)

۱۲-۸ (۲)

۱۲-۶ (۱)

حداکثر، وقتی رخ می‌دهد که همه چیز را هتروزیگوس بگیریم.

۴ نوع ژنوتیپ و ۴ نوع فنوتیپ  $AO \times BO \rightarrow AB + OO + A + B$

۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ  $Rr \times Rr \rightarrow RR + Rr + rr$

۱۲ =  $4 \times 3$  = انواع ژنوتیپ با در نظر گرفتن گروه خونی و Rh

۸ =  $4 \times 2$  = انواع فنوتیپ با در نظر گرفتن گروه خونی و Rh

گروه خونی پدر A<sup>+</sup> و مادر B<sup>-</sup> است. یکی از فرزندان دارای گروه خونی O<sup>-</sup> است. احتمال به دنیا آمدن فرزندی با گروه خونی AB<sup>+</sup>

(آزار ۷۶)

۵۰ (۴)

۲۵ (۳)

صفر (۲)

۱۲/۵ (۱)

چند درصد است؟



وقتی یکی از فرزندان  $O^-$  است یعنی والدین  $AO$  و  $BO$  و پدر  $Rr$  است.



$$AB^+ \text{ احتمال} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} = 12.5\%$$

## مسئله فاص

در این جا می خواهیم از نوع خاصی از طرح مسئله صحبت کنم که در هر قسمت از مسائل ژنتیک می تواند بیاید (و البته تا به حال در کنکور نیامده است). اگر موضوع را در این جا فهمیدید باید بتوانید در جای دیگری از ژنتیک هم که این جور مسئله ای برایتان مطرح کردند، حل کنید. حالا موضوع چیست؟

اگر در خانواده ای گروه خونی مادر  $A^+$  و شانس تولد فرزندی با گروه خونی  $A^-$ ،  $\frac{3}{16}$  باشد، چه نسبتی از زاده ها آنتی ژن های  $ABO$



و  $Rh$  روی گلبول های خونی ندارند؟ ( $Rh$  صفتی تک ژنی و دو آللی است که آلل  $Rh^+$  بر  $Rh^-$  غالب است)

$$\frac{9}{16} (4)$$

$$\frac{5}{16} (3)$$

$$\frac{1}{16} (2)$$

$$\frac{3}{16} (1)$$

مادر  
Rr

پدر  
rr  
Rr

وقتی مادر  $Rh^+$  است و فرزندی  $Rh^-$  دارد؛ یعنی حتماً  $Rr$  است. پدر هم حتماً آلل  $r$  دارد، پس یا  $Rr$



است یا  $rr$ .

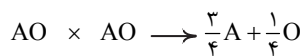
خب، اگر پدر  $rr$  باشد، احتمال  $Rh^-$  منفی شدن فرزند می شود  $\frac{1}{2}$  و اگر پدر  $Rr$  باشد، این احتمال می شود  $\frac{1}{4}$ . اگر احتمال  $Rh^-$  شدن فرزند بشود  $\frac{1}{4}$ ، نمی شود! چرا؟ چون در این صورت احتمال  $A$  شدن فرزند می شود  $\frac{3}{8}$  (چون احتمال  $A^-$ ،  $\frac{3}{16}$  است). می دانید در هیچ حالتی از آمیزش ممکن نیست احتمال گروه خونی  $A$  بشود  $\frac{3}{8}$ . پس پدر نمی تواند  $rr$  باشد و  $Rr$  است. اگر پدر و مادر هر دو  $Rr$  باشند، احتمال  $Rh^-$  در فرزندان می شود  $\frac{1}{4}$ .

$$A^- \text{ احتمال} = A \text{ احتمال} \times Rh^- \text{ احتمال} \Rightarrow \frac{3}{16} = A \text{ احتمال} \times \frac{1}{4} \Rightarrow A \text{ احتمال} = \frac{3}{4}$$

مادر  
A ؟

پدر  
??

خب، وقتی مادر  $A$  است پدر باید چگونه باشد تا احتمال  $A$  شدن بشود  $\frac{3}{4}$ ؟



اگر دقت کنید می بینید که فقط در حالتی که پدر و مادر هر دو  $AO$  باشند این اتفاق می افتد. حالا باید احتمال  $O^-$  را برای فرزندان حساب کنیم که می شود  $\frac{1}{16} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ .

در این جور مسائل همه چیز مشخص مشخص مشخص نیست! اما جواب را می شود از درون یک سری چیزهای کمی مشخص کشید بیرون. شما در این حالت باید به آن چه سؤال خواسته است توجه کنید و آن را به دست بیاورید نه این که تمام جوانب پاسخ را به دست بیاورید. حل این جور مسائل نیاز به خلاقیت بیشتری نسبت به مسائل معمولی دارد. امکان دارد انسان گیج بشود!

## مسائل انواع فنوتیپ و ژنوتیپ

از خودلقاحی جاندار با ژنوتیپ  $AaBbRWDDEEff$ ، چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ حاصل می شود؟



$$6 - 9 (4)$$

$$9 - 27 (3)$$

$$12 - 27 (2)$$

$$9 - 12 (1)$$



$AaBbRWDDDEff \times AaBbRWDDDEff$

- $Aa \times Aa \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ۳ نوع ژنوتیپ
- $Bb \times Bb \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ۳ نوع ژنوتیپ
- $RW \times RW \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ۳ نوع ژنوتیپ
- $DD \times DD \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ژنوتیپ
- $EE \times EE \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ژنوتیپ
- $ff \times ff \rightarrow$  نوع فنوتیپ و ژنوتیپ
- انواع فنوتیپها  $= 2 \times 2 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1 = 12$
- انواع ژنوتیپها  $= 3 \times 3 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1 = 27$

نتیجه‌های افلاقی؛ وقتی به شما می‌گویند از خودلقاحی جاندار،  $X$  تا ژنوتیپ یا  $Y$  تا فنوتیپ به دست آمده است، در این آمیزش چند صفت تک‌ژنی شرکت کرده‌اند؟ باید بگویید نمی‌دانم! چرا؟ چون هوموزیگوس‌ها  $1 \times 1$  ایجاد می‌کنند و اگر در این فرد  $1000$  صفت تک‌ژنی هوموزیگوس باشد، شما نمی‌توانید از روی  $X$  و  $Y$  آن را حدس بزنید.

اگر از شما بپرسند که با توجه به  $X$  و  $Y$  چند صفت تک‌ژنی دواللی و هتروزیگوس در این فرد وجود دارد، باید  $X$  و  $Y$  را نسبت به ۲ و ۳ تجزیه کنید (در انواع ژنوتیپها، همه‌ی آمیزش‌های بین دو هتروزیگوس چه رابطه‌ی غالب و مغلوبی باشد چه نباشد، ۳ نوع ژنوتیپ می‌دهد. در انواع فنوتیپها در آمیزش بین دو هتروزیگوس اگر رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی باشد ۲ نوع و اگر نباشد ۳ نوع فنوتیپ به وجود می‌آید). در مثال بالا، وقتی ۲۷ نوع ژنوتیپ داریم؛ یعنی  $3 \times 3 \times 3$  یعنی ۳ تا ژنوتیپ هتروزیگوس در فرد وجود دارد. ۱۲ نوع فنوتیپ هم یعنی  $2 \times 2 \times 3$ ؛ یعنی ۳ نوع ژنوتیپ هتروزیگوس که در ۲ تای آن‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی هست و در یکی نیست.

تست از خودلقاحی جاندار که ..... صفت تک‌ژنی هتروزیگوس دارد و در ..... تای آن‌ها رابطه‌ی غالب و مغلوبی بین آلل‌ها هست، انواع فنوتیپ‌های بیشتری به وجود می‌آید.

- ۵-۵ (۴)
- ۴-۵ (۳)
- ۱-۴ (۲)
- ۲-۳ (۱)

پاسج برای هر صفت تک‌ژنی هتروزیگوس با رابطه‌ی غالب و مغلوبی در ۲ و برای هر صفت هتروزیگوس بدون رابطه‌ی غالب و مغلوبی در ۳ ضرب می‌کنیم.

- (۱)  $2 \times 2 \times 3 = 12$  : گزینه‌ی (۱)
- (۲)  $3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$  : گزینه‌ی (۲)
- (۳)  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 48$  : گزینه‌ی (۳)
- (۴)  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$  : گزینه‌ی (۴)

تست در خودلقاحی جاندار ۱۶۲ نوع فنوتیپ دیده شده است. در این فرد چند جفت ژن هتروزیگوس وجود دارد و در چند جفت از آن‌ها رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی نیست؟

- ۳-۶ (۴)
- ۴-۶ (۳)
- ۳-۵ (۲)
- ۴-۵ (۱)

پاسج باید ۱۶۲ را به ۲ و ۳ تجزیه کنیم. اول به ۲ و بعد به ۳ (مثل تجزیه به اعداد اول).  
یعنی انواع فنوتیپها، حاصل  $2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$  است. این فرد ۵ جفت ژن هتروزیگوس دارد که یکی از آن‌ها ۲ نوع فنوتیپ ایجاد کرده است (رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی است) و در ۴ جفت از آن‌ها رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی نیست.

۱۶۲	۲
۸۱	۳
۲۷	۳
۹	۳
۳	۳
۱	



## چند نوع ژنوتیپ فنوتیپ نوترکیب؟



▲ با تشکر از شرکت ADOBE که با خلق نرم افزار Photoshop کمک شایانی به خلق جانوران نوترکیب کرد!

۱ در فصل انواع ژنوتیپ و فنوتیپ یاد گرفتیم که چگونه انواع فنوتیپها و ژنوتیپها را در زاده‌ها به دست بیآوریم. زاده‌ی نوترکیب یعنی زاده‌ای که از نظر فنوتیپ یا ژنوتیپ (که در سؤال طرح می‌شود) شبیه والدین نباشد. مثلاً آمیزش  $Aa \times Aa$  را در نظر بگیرید.

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

سؤال اول این است که در این آمیزش چند نوع ژنوتیپ نوترکیب به وجود می‌آید؟ می‌گوییم کلاً در این آمیزش ۳ نوع ژنوتیپ به وجود می‌آید که یکی از آنها ( $Aa$ ) شبیه والدین است. پس ۳ منهای یک می‌شود ۲ نوع ژنوتیپ نوترکیب ( $aa, AA$ ). حالا می‌گویند چند نوع فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها وجود دارد؟ می‌گوییم در کل زاده‌ها ۲ نوع فنوتیپ  $a$  و  $A$  را داریم و در والدین فقط فنوتیپ  $A$ . پس یک نوع فنوتیپ ( $a$ ) در والدین نیست و در زاده‌ها نوترکیب است.

۲ برای محاسبه‌ی انواع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب، انواع ژنوتیپ و فنوتیپ را در نسل بعد حساب می‌کنیم و بعد آن را از انواع ژنوتیپ و فنوتیپ والدین کم می‌کنیم.

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBBdd$ ، چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب در نسل بعد به وجود می‌آید؟

۳-۱۰ (۴)

۳-۱۲ (۳)

۲-۱۰ (۲)

۲-۱۲ (۱)



- $Aa \times Aa \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ
- $Bb \times BB \rightarrow$  ۲ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ
- $Dd \times dd \rightarrow$  ۲ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ

به والدین نگاه می‌کنیم، می‌بینیم دو نوع ژنوتیپ متفاوت دارند. پس برای به‌دست آوردن انواع ژنوتیپ‌های نوترکیب ۲ را از ۱۲ کم می‌کنیم که می‌شود ۱۰.

باز هم به والدین نگاه می‌کنیم، می‌بینیم یکی فنوتیپ  $ABd$  دارد و دیگری فنوتیپ  $ABD$ . پس در والدین ۲ نوع فنوتیپ داریم.

در آمیزش  $AaBbDd \times AaBbDD$ ، در زاده‌ها چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ نوترکیب دیده می‌شود؟

- ۳ - ۱۶ (۴)
- ۴ - ۱۶ (۳)
- ۳ - ۱۷ (۲)
- ۴ - ۱۷ (۱)

انواع فنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌ها را در زاده‌ها حساب می‌کنیم:

- $Aa \times Aa \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ
- $Bb \times Bb \rightarrow$  عین بالاییه ۱
- $DD \times Dd \rightarrow$  ۲ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ
- انواع ژنوتیپ‌ها در زاده‌ها  $= 3 \times 2 \times 2 = 12$
- انواع فنوتیپ‌ها در زاده‌ها  $= 2 \times 2 \times 1 = 4$

خب، حالا به والدین نگاه می‌کنیم. ۲ نوع ژنوتیپ متفاوت دارند اما فنوتیپ هر دو والد  $ABD$  است. پس ۲ را از انواع ژنوتیپ‌ها و ۱ را از انواع فنوتیپ‌ها کم می‌کنیم:

- $12 - 2 = 10$  = انواع ژنوتیپ‌های نوترکیب
- $4 - 1 = 3$  = انواع فنوتیپ‌های نوترکیب

در آمیزش  $aaBbRW \times AaBbRW$ ، چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها دیده می‌شود؟

- ۱۱ - ۱۷ (۴)
- ۱۱ - ۱۶ (۳)
- ۱۰ - ۱۷ (۲)
- ۱۰ - ۱۶ (۱)

- $aa \times Aa \rightarrow$  ۲ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ
- $Bb \times Bb \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ
- $RW \times RW \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ
- انواع ژنوتیپ‌ها در زاده‌ها  $= 2 \times 3 \times 3 = 18$

انواع فنوتیپ‌ها در زاده‌ها  $= 2 \times 2 \times 3 = 12$

والدین ۲ نوع فنوتیپ و ۲ نوع ژنوتیپ متفاوت دارند.

- $18 - 2 = 16$  = انواع ژنوتیپ‌های نوترکیب
- $12 - 2 = 10$  = انواع فنوتیپ‌های نوترکیب

اینجا پایان ماجرای انواع ژنوتیپ و فنوتیپ نیست! هنوز یک موضوع اساسی در رابطه با این نوع سؤال‌ها مانده است. به آمیزش  $AA \times aa$  توجه کنید.

$AA \times aa \rightarrow Aa$

در این آمیزش همه‌ی زاده‌ها ژنوتیپ  $Aa$  دارند و این ژنوتیپ در والدین دیده نمی‌شود و نوترکیب است. یا آمیزش  $RR \times WW$  را در نظر بگیرید، همه‌ی زاده‌ها  $RW$  (صورتی) هستند که نسبت به والدین هم فنوتیپ نوترکیب دارند و هم ژنوتیپ نوترکیب. پس، هر وقت از شما پرسیدند که در این آمیزش چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب داریم حتماً حتماً حتماً حتماً اول باید ببینید که آمیزش‌های مونوهیبریدی که دو طرف در هوموزیگوس متفاوت هستند ( $aa \times AA$  یا  $RR \times WW$ ). داریم یا نه. اگر داشتیم، احتمال دارد همه‌ی زاده‌ها از نظر ژنوتیپ یا هم از نظر فنوتیپ و هم از نظر ژنوتیپ نوترکیب باشند.

در آمیزش  $AaBbDD \times AaBBdd$ ، چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها دیده می‌شود؟

- ۲ - ۵ (۴)
- ۱ - ۶ (۳)
- ۱ - ۵ (۲)
- ۲ - ۶ (۱)



گفتیم که حتماً قبل از حل این جور سؤال‌ها باید ببینیم آیا آمیزش دو هوموزیگوس متفاوت در والدین هست یا نه که در این جا DD × dd این گونه است. آمیزش DD × dd باعث می‌شود همه‌ی زاده‌ها ژنوتیپ Dd داشته باشند که در هیچ‌یک از والدین دیده نمی‌شود.

۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ → Aa × Aa

۲ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ → Bb × BB

۱ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ → DD × dd

۲ × ۱ × ۱ = ۲ انواع فنوتیپ‌ها در زاده‌ها

همه‌ی زاده‌ها ژنوتیپ نوترکیب خواهند داشت چرا که همه‌ی آن‌ها در مورد یک جفت ژن، ژنوتیپ Dd دارند که آن‌ها را کلاً از نظر ژنوتیپی نسبت به والدین نوترکیب می‌کند. در این حالت باید انواع ژنوتیپ‌های زاده‌ها را منهای صفر (انواع ژنوتیپ‌های زاده‌ها که شبیه والدین هستند) کنیم.

۶ - ۰ = ۶ انواع ژنوتیپ‌های نوترکیب

در مورد فنوتیپ، از آمیزش DD × dd، فنوتیپ D به وجود می‌آید که در یکی از والدین دیده می‌شود.

در آمیزش AaBbRR × AABbWW، چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها دیده می‌شود؟

۱ - ۵ (۴)

۲ - ۵ (۳)

۱ - ۶ (۲)

۲ - ۶ (۱)

گفتیم که اول باید ببینیم آیا آمیزش دو هوموزیگوس متفاوت داریم یا نه. در این آمیزش، آمیزش مونوهیبریدی RR × WW این گونه است. یعنی زاده‌های RR × WW که همگی RW (صورتی) هستند هم از نظر ژنوتیپی نوترکیب هستند و هم از نظر فنوتیپی. این یعنی همه‌ی زاده‌ها از نظر ژنوتیپی و فنوتیپی نوترکیب هستند چون همه RW خواهند داشت و این باز هم یعنی هیچ زاده‌ای نداریم که از نظر ژنوتیپی و فنوتیپی شبیه والدین باشد و این یعنی صفر را از انواع ژنوتیپ و فنوتیپ زاده‌ها کم می‌کنیم تا انواع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب را به دست آوریم.

۲ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ → Aa × AA

۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ → Bb × Bb

۱ نوع ژنوتیپ و ۱ نوع فنوتیپ → RR × WW

۲ × ۳ × ۱ = ۶ انواع ژنوتیپ در زاده‌ها

۱ × ۲ × ۱ = ۲ انواع فنوتیپ در زاده‌ها

۶ - ۰ = ۶ انواع ژنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها

۲ - ۰ = ۲ انواع فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها

شاید یک نفر بگوید آقا، درست است که در آمیزش WW × RR همه‌ی زاده‌ها می‌شوند RW و نوترکیب هستند، اما مثلاً در آمیزش Bb × Bb، خب Bb به وجود می‌آید که نوترکیب نیست و شبیه والدین است، چرا آن را در نظر نمی‌گیریم؟ جوابش این است که یک جاندار در مورد جفت ژن‌های A/a و B/b هر چه قدر هم شبیه والدین باشد وقتی RW در کنار آن‌ها قرار می‌گیرد ... می‌زند به همه چی و ژنوتیپ آن فرد می‌شود نوترکیب. مثلاً در زاده‌ای با ژنوتیپ AaBbRW نه Aa نوترکیب است و نه Bb، اما این فرد هم از نظر فنوتیپی و هم از نظر ژنوتیپی نوترکیب است چرا که RW (صورتی) است که هیچ‌یک از والدین این گونه نیستند.

## نسبت‌های ژنوتیپ و فنوتیپ‌های نوترکیب

دقت کنید که تا این جا ما با انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌های نوترکیب کار داشتیم حالا می‌رویم سراغ احتمال آن‌ها.

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

در این آمیزش Aa ژنوتیپ والدین است و A فنوتیپ آن‌ها. راه حل این مسائل این است که از روش متمم می‌آییم و احتمال ژنوتیپ و فنوتیپ والدین را در زاده‌ها حساب می‌کنیم و بعد این احتمال را از یک (کل، صد درصد) کم می‌کنیم. آن چه می‌ماند، احتمال ژنوتیپ یا فنوتیپ زاده‌هایی است که شبیه والدین نیستند و نوترکیب‌اند. در مثال بالا، احتمال Aa (ژنوتیپ والدین) در زاده‌ها می‌شود  $\frac{1}{2}$ . یعنی به احتمال  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها ژنوتیپی شبیه والدین دارند. خب، حالا با چه احتمالی زاده‌ها ژنوتیپ نوترکیب دارند؟ یک منهای  $\frac{1}{2}$  می‌شود  $\frac{1}{2}$ . حالا احتمال فنوتیپ نوترکیب چه قدر است؟

احتمال فنوتیپ والدین (A) در زاده‌ها می‌شود  $\frac{3}{4}$  ( $\frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa$ ). پس احتمال فنوتیپ نوترکیب و جدید می‌شود یک منهای  $\frac{3}{4}$  یعنی  $\frac{1}{4}$ .



در آمیزش  $AaBbDd \times AABbdd$ ، احتمال ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها چه قدر است؟



$$\frac{3}{4} - \frac{3}{4} \quad (4) \qquad \frac{1}{4} - \frac{3}{4} \quad (3) \qquad \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \quad (2) \qquad \frac{3}{4} - \frac{1}{4} \quad (1)$$



گفتیم که احتمال ژنوتیپ و فنوتیپ والدین را جداگانه حساب می‌کنیم.

تمرین کن که بتونی از فقط بگی!  $Dd \times dd \rightarrow$  از فقط بگو!  $Bb \times Bb \rightarrow$  از فقط بگو!  $Aa \times AA \rightarrow$

احتمال ژنوتیپ  $AaBbDd$  (یکی از والدین) در زاده‌ها  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

احتمال ژنوتیپ  $AABbdd$  (یکی دیگر از والدین!) در زاده‌ها  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

احتمال این که زاده‌ها از نظر ژنوتیپی شبیه والدین باشند  $= \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$

احتمال این که زاده‌ها از نظر ژنوتیپی شبیه والدین نباشند (ژنوتیپ نوترکیب باشند)  $= 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$

فنوتیپ والدین به ترتیب  $ABD$  و  $ABd$  است. احتمال آن‌ها را در زاده‌ها حساب می‌کنیم.

احتمال فنوتیپ  $ABd$  در زاده‌ها  $= 1 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$       احتمال فنوتیپ  $ABD$  در زاده‌ها  $= 1 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$

احتمال این که زاده‌ها فنوتیپی شبیه والدین داشته باشند  $= \frac{3}{8} + \frac{3}{8} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$

احتمال این که زاده‌ها فنوتیپی شبیه والدین نداشته باشند (از نظر فنوتیپی نوترکیب باشند)  $= 1 - \frac{3}{4} = \frac{1}{4}$

در حالت‌هایی که والدین هر دو یک نوع ژنوتیپ دارند (که طبیعتاً فنوتیپ آن‌ها هم یکی می‌شود)، برای محاسبه‌ی احتمال ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌های نوترکیب، احتمال ژنوتیپ و فنوتیپ یک والد را محاسبه و از کل (یک) کم می‌کنیم نه هر دو را (کمی فکر کنی می‌بینی که لازم نیست حفظ کنی، چون داریم کار خیلی منطقی انجام می‌دیم!). در حالت دیگری امکان دارد والدین ژنوتیپ متفاوتی داشته باشند اما فنوتیپ آن‌ها یکی باشد. در این حالت برای محاسبه‌ی احتمال ژنوتیپ نوترکیب، احتمال ژنوتیپ هر دو والد را با هم جمع و از یک کم می‌کنیم اما در مورد فنوتیپ‌ها، فقط احتمال به‌وجود آمدن فنوتیپ یک والد را از کل (یک) کم می‌کنیم.

در آمیزش  $AaBbRW \times AaBbRW$ ، چه نسبتی از زاده‌ها ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دارند؟



$$\frac{23}{32} - \frac{6}{8} \quad (4) \qquad \frac{14}{32} - \frac{6}{8} \quad (3) \qquad \frac{23}{32} - \frac{7}{8} \quad (2) \qquad \frac{14}{32} - \frac{7}{8} \quad (1)$$



هر دو والد هم ژنوتیپ و هم فنوتیپ یکسان دارند.

عین قبله!  $RW \times RW \rightarrow$  عین قبله!  $Bb \times Bb \rightarrow$  عین قبله!  $Aa \times Aa \rightarrow$  فقط باش!

احتمال ژنوتیپ یکی از والدین در زاده‌ها  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

احتمال ژنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها  $= 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$

دیدید که فقط احتمال ژنوتیپ یک والد را از یک کم کردیم، چرا که ژنوتیپ هر دو والد یکسان است و محاسبه و کسر احتمال یک والد از یک به معنای محاسبه و کسر احتمال والد دیگر هم هست.

احتمال فنوتیپ یکی از والدین در زاده‌ها  $= ABRW = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{9}{32}$

احتمال فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها  $= 1 - \frac{9}{32} = \frac{23}{32}$

در آمیزش  $AaBbRW \times AABbRW$ ، چه نسبتی از زاده‌ها ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دارند؟



$$\frac{1}{4} - \frac{3}{4} \quad (4) \qquad \frac{1}{4} - \frac{7}{8} \quad (3) \qquad \frac{5}{8} - \frac{3}{4} \quad (2) \qquad \frac{5}{8} - \frac{7}{8} \quad (1)$$



در این سؤال دو والد ژنوتیپ متفاوت اما فنوتیپ یکسانی دارند.



$Aa \times Aa \rightarrow$  تو ففقی!

$Bb \times Bb \rightarrow$  باور کن که ففقی!

$RW \times RW \rightarrow$  آله حفظ نگروری الان کاراتو تعطیل کن برو سراغ حفظ کرد نشون!

احتمال ژنوتیپ  $AaBbRW$  در زاده‌ها (یکی از والدین)  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

احتمال ژنوتیپ  $AABbRW$  در زاده‌ها (والد دیگر)  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

احتمال ژنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها  $= 1 - (\frac{1}{8} + \frac{1}{8}) = \frac{3}{4}$

چون ژنوتیپ دو والد با هم متفاوت بود، احتمال هر دو را از یک کم کردیم.

احتمال فنوتیپ  $ABRW$  (احتمال فنوتیپ هر دو والد)  $= 1 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$

احتمال فنوتیپ نوترکیب  $= 1 - \frac{3}{8} = \frac{5}{8}$

چون هر دو والد یک نوع فنوتیپ دارند، برای محاسبه‌ی انواع فنوتیپ نوترکیب فقط یک بار احتمال فنوتیپ والدین را از کل کم کردیم.

این که می‌گوییم وقتی ژنوتیپ یا فنوتیپ هر دو والد یکی باشد، فقط احتمال ژنوتیپ یا فنوتیپ یک والد را محاسبه و از یک کم می‌کنیم، در واقع خیلی درست نیست. این را می‌گوییم که شما اشتباه نکنید و دو بار حساب نکنید. در واقع ما داریم احتمال ژنوتیپ یا فنوتیپ هر دو والد را حساب می‌کنیم، چون ژنوتیپ یا فنوتیپ دو والد یکی است پس ما باید احتمال **یک نوع** فنوتیپ یا ژنوتیپ را حساب کنیم نه ۲ تا. این جا نوع ژنوتیپ یا فنوتیپ مهم است نه تعداد آن‌ها. والدین ۲ تا ژنوتیپ یا فنوتیپ دارند از یک نوع، پس ما احتمال نوع ژنوتیپ یا فنوتیپ آن‌ها را از کل کم می‌کنیم و کاری به تعداد آن‌ها نداریم، می‌خواهند یکی باشند می‌خواهند ۱۰۰ تا باشند. انواع آن‌ها مهم است. قبلاً هر دو را حساب می‌کردیم چون ۲ نوع بودند، حالا فقط یکی‌شان را حساب می‌کنیم چون یک نوع هستند.

یک حالتی بود در محاسبه‌ی انواع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب که باید قبل از حل مسئله حتماً حواسمان را به آن جمع می‌کردیم:  $DD \times dd$  یا  $RR \times WW$  (وجود آمیزش بین دو هوموزیگوس متفاوت) که باعث می‌شد همه‌ی زاده‌ها بیهو از نظر ژنوتیپی و یا هم از نظر ژنوتیپی و هم از نظر فنوتیپی نوترکیب شوند. این جا هم همین حالت هست اما لازم نیست حواسمان را متوجه‌اش کنیم، خودش در محاسبه معلوم می‌شود که احتمال ایجاد ژنوتیپ یا فنوتیپ شبیه والدین در زاده‌ها صفر است و در این حالت صفر را از یک (کل) کم می‌کنیم و این یعنی کل زاده‌ها از نظر ژنوتیپی یا فنوتیپی نوترکیب هستند.

در آمیزش  $AaBbDD \times AaBBdd$ ، چه نسبتی از زاده‌ها ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دارند؟

$$\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \text{ (۴)}$$

$$\frac{1}{4} - 1 \text{ (۳)}$$

$$\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \text{ (۲)}$$

$$\frac{3}{4} - 1 \text{ (۱)}$$

$Aa \times Aa \rightarrow$

$Bb \times BB \rightarrow$

$DD \times dd \rightarrow$  اینو نوشتیم که یار بگیریرا  $Dd$

صفر!  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 0 = 0$  احتمال ژنوتیپ  $AaBbDD$  (یکی از والدین) در زاده‌ها

صفر!  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 0 = 0$  احتمال ژنوتیپ  $AaBBdd$  (والد دیگر) در زاده‌ها

صفر! = صفر! + صفر! = احتمال این که زاده‌ها ژنوتیپی شبیه والدین داشته باشند

صفر! = ۱ - احتمال ژنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها

یعنی کل زاده‌ها ژنوتیپ نوترکیب دارند!

اگر زرنگ باشید با دیدن  $DD \times dd$  می‌فهمید که همه‌ی زاده‌ها ژنوتیپشان  $Dd$  می‌شود و قطعاً همه‌ی زاده‌ها ژنوتیپ نوترکیب خواهند داشت و دیگر نیازی به محاسبه نیست.

احتمال فنوتیپ  $ABD$  (یکی از والدین) در زاده‌ها  $= \frac{3}{4} \times 1 \times 1 = \frac{3}{4}$





صفر = صفر!  $1 \times \frac{3}{4} =$  احتمال فنوتیپ ABd (والد دیگر) در زاده‌ها

$\frac{1}{4} =$  (صفر +  $\frac{3}{4}$ ) - 1 = احتمال فنوتیپ نوترکیب

در آمیزش  $AaBbRR \times AaBBWW$ ، چه نسبتی از زاده‌ها ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دارند؟



$\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$  (۴)

$\frac{3}{4} - 1$  (۳)

$1 - \frac{3}{4}$  (۲)

1-1 (۱)

می‌توانید حلش کنید. اما این سؤال نیازی به حل ندارد. چرا که در آمیزش  $RR \times WW$  همه‌ی زاده‌ها RW می‌شوند که هم در



ژنوتیپ و هم در فنوتیپ نوترکیب خواهند بود.



▲ Salam

نکته‌ی آخر در مورد نوترکیبی این که مسائل نوترکیبی به این چیزهایی که ما در این جا گفتیم محدود نمی‌شوند. هر مسئله‌ی ژنتیکی را می‌توان با نوترکیبی ترکیب کرد! حتی شجره‌نامه و ... آمادگی برخورد با مسائل نوترکیبی را در هر جای دیگری داشته باشید، نوترکیبی فقط  $A/a$  و  $R/W$  و  $B/b$  نیست. بیماری‌های انسان، ژنتیک حیوانی، شجره‌نامه و هر جای دیگری می‌تواند بستری برای طرح نوترکیبی باشد.

اگر در خانواده‌ای، فرزندان با گروه خونی  $O^+$  و  $AB^-$  وجود



داشته باشند و احتمال  $O^+$  شدن فرزندان بیشتر از احتمال  $AB^-$  شدن آنها باشد، در زاده‌ها چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دیده می‌شود؟

$7 - 11$  (۲)

$6 - 10$  (۱)

$6 - 8$  (۴)

$6 - 6$  (۳)

این سؤال نشان می‌دهد که در هر فضایی امکان طرح مسائل



نوترکیبی وجود دارد. وقتی در خانواده‌ای هم بچه‌ی O هست و هم AB یعنی پدر و مادر حتماً AO و BO هستند. وقتی در خانواده‌ای هم گروه خونی  $Rh^+$  هست و هم  $Rh^-$  یعنی والدین یا  $Rr \times Rr$  هستند و

یا  $Rr \times rr$ . حالت دیگری که هم بچه‌ی  $Rh^+$  و هم  $Rh^-$  تولید شود، نداریم. حالا کدام‌یک درست است؟  $Rr \times Rr$  یا  $Rr \times rr$ ؟ وقتی پدر و

مادر AO و BO هستند، در این حالت احتمال O شدن و AB شدن هر دو با هم مساوی و برابر  $\frac{1}{4}$  است. وقتی سؤال می‌گوید در زاده‌ها

احتمال  $O^+$  بیشتر از احتمال  $AB^-$  است و با توجه به این که احتمال O شدن و AB شدن با هم برابر است، پس باید در مورد  $Rh$ ، ژنوتیپ‌ها طوری باشد که احتمال  $Rh^+$  از  $Rh^-$  بیشتر باشد. این اتفاق در صورتی می‌افتد که ژنوتیپ والدین برای  $Rh$ ،  $Rr \times Rr$  باشد که احتمال  $Rh^+$  در

این آمیزش می‌شود  $\frac{3}{4}$  که از یک‌چهارم  $Rh^-$  بیشتر است. در آمیزش  $rr \times Rr$ ، احتمال  $Rh^+$  و  $Rh^-$  با هم برابر و برابر  $\frac{1}{2}$  است. خب بعد از این

همه قصه‌ی حسین گُرد، تازه ژنوتیپ والدین را تعیین کردیم. البته هنوز نمی‌دانیم زن و مرد دقیقاً چه نوع ژنوتیپی دارند اما کلاً می‌دانیم ژنوتیپ والدین چیست.

$AO \times BO \rightarrow$  ۴ نوع ژنوتیپ و ۴ نوع فنوتیپ

$Rr \times Rr \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ

انواع ژنوتیپ در زاده‌ها  $= 4 \times 3 = 12$

انواع فنوتیپ در زاده‌ها  $= 4 \times 2 = 8$

به والدین نگاه کنید. می‌بینید که والدین ۲ نوع ژنوتیپ متفاوت و ۲ نوع فنوتیپ متفاوت دارند، پس ۲ را از انواع ژنوتیپ‌ها و فنوتیپ‌های والدین کم می‌کنیم.

انواع ژنوتیپ‌های نوترکیب  $= 12 - 2 = 10$

انواع فنوتیپ‌های نوترکیب  $= 8 - 2 = 6$



تست  
با توجه به سؤال قبلی، چه نسبتی از زاده‌ها ژنوتیپ و فنوتیپ نوترکیب دارند؟

$$\frac{13}{16} - \frac{7}{8} \quad (4)$$

$$\frac{13}{16} - \frac{3}{4} \quad (3)$$

$$\frac{10}{16} - \frac{3}{4} \quad (2)$$

$$\frac{10}{16} - \frac{7}{8} \quad (1)$$

پاسخ  
ژنوتیپ والدین AORr و BORr است. احتمال آن‌ها را در زاده‌ها حساب می‌کنیم.

AO × BO → متماً بلری ۱

Rr × Rr → متماً مفظی ۱

$$\text{احتمال ژنوتیپ AORr در زاده‌ها} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

$$\Rightarrow \text{احتمال ژنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها} = 1 - \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) = \frac{3}{4}$$

$$\text{احتمال ژنوتیپ BORr در زاده‌ها} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

$$\text{احتمال فنوتیپ AR در زاده‌ها} = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

$$\Rightarrow \text{احتمال فنوتیپ نوترکیب در زاده‌ها} = 1 - \left(\frac{3}{16} + \frac{3}{16}\right) = \frac{10}{16}$$

$$\text{احتمال فنوتیپ BR در زاده‌ها} = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

۸ با نوترکیبی می‌توان احتمال شرطی هم داد!

تست  
در آمیزش AaBbDd × AaBbDD، چه نسبتی از زاده‌هایی که در هر ۳ صفت غالب هستند، ژنوتیپ نوترکیب دارند؟

$$\frac{5}{9} \quad (4)$$

$$1 \quad (3)$$

$$\frac{5}{16} \quad (2)$$

$$\frac{9}{16} \quad (1)$$

پاسخ  
کسری داریم که صورتش احتمال زاده‌های در هر ۳ صفت غالب و نوترکیب (هم‌زمان هم غالب و هم نوترکیب) است و مخرجش

احتمال زاده‌های در هر ۳ صفت غالب.

Aa × Aa → مفظی ۱

Bb × Bb → عین قبلیه ۱

DD × Dd → گلابیه ۱

$$\text{احتمال در هر ۳ صفت غالب} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times 1 = \frac{9}{16}$$

خوب از این‌جا به بعدش را دقت بفرمائید!  $\frac{9}{16}$  زاده‌ها در هر ۳ صفت غالب هستند. اما مشکل این‌جاست که زاده‌هایی که ژنوتیپ آن‌ها شبیه والدین

است، نوترکیب نیستند. پس باید احتمال زاده‌هایی که شبیه والدین هستند را از  $\frac{9}{16}$  کم کنیم تا احتمال زاده‌هایی را به‌دست بیاوریم که هم در هر ۳ صفت غالب‌اند و هم نوترکیب.

احتمال ژنوتیپ‌هایی از زاده‌ها که در هر ۳ صفت غالب هستند اما نوترکیب نیستند! (یعنی همان ژنوتیپ والدین) - احتمال ژنوتیپ‌هایی که در هر ۳ صفت غالب هستند و نوترکیب هستند.

$$= \frac{9}{16} - (\text{احتمال } AaBbDd + AaBbDD) = \frac{9}{16} - \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right) = \frac{5}{16}$$

$$\frac{\text{هم در هر ۳ صفت غالب هستند و هم نوترکیب}}{\text{در هر ۳ صفت غالب هستند}} = \frac{\frac{5}{16}}{\frac{9}{16}} = \frac{5}{9}$$

حالا کسر مورد نظر سؤال را تشکیل می‌دهیم:

F<sub>2</sub>

۹ داستان این است که به صورت قراردادی و کاملاً نسبی P یعنی والدین، F<sub>1</sub> یعنی بچه‌های P، F<sub>2</sub> یعنی بچه‌های F<sub>1</sub> و نوه‌های P و F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub> تا F<sub>n</sub>! حالا چرا نسبی؟ چون:

بنشین و رمی به شاردمانی گذران

برفیز و مفور غم بهان گذران

نوبت به تو فور نیامری از دگران

در طبع بهان اگر وفایی بودی

(فطیما)



بر اساس حرف حق برادر خیام، اگر شما امروز نوهی پدربزرگ و مادربزرگتان هستيد طبع جهان بعد از مدتی کار می کند که شما از موقعیت  $F_2$  برسید به  $F_1$  و بعد  $P$  و بعد هم بزیند زیر غزل!  
یعنی بالاخره هر  $P$  برای پدر و مادرش  $F_1$  است و برای پدربزرگ و مادربزرگش  $F_2$ . پس  $P, F_1$  و  $F_2$  نسبت هایی هستند قراردادی برای یک سؤال نه اطلاقی ابدی و بدون تغییر. مسائل  $F_2$  در واقع مسائلی هستند که در آن ها در صورت سؤال  $P$  را داریم و باید از طریق  $P$  به  $F_1$  برسیم و از طریق  $F_1$  به  $F_2$ .

**تست** از آمیزش گل میمونی ساقه بلند و گل قرمز با گل میمونی ساقه کوتاه و گل سفید، در  $F_2$  چند نوع فنوتیپ و چند نوع ژنوتیپ انتظار می رود؟ (در گل میمونی، بلندی ساقه نسبت به کوتاهی ساقه رابطه ی غالب و مغلوبی ندارد) (پیش دانشگاهی ۷۷)

۴ - ۴ (۱)                      ۹ - ۴ (۲)                      ۴ - ۹ (۳)                      ۹ - ۹ (۴)

$P : RR \times WW \rightarrow F_1 : RW \times RW \rightarrow F_2 : RR + RW + WW \rightarrow$  ۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ

**پاسخ**

$P : MM \times NN \rightarrow$  عین بالاییه

انواع ژنوتیپ  $F_2 = 3 \times 3 = 9$

انواع فنوتیپ  $F_2 = 3 \times 3 = 9$

چون رابطه ی بین آلل ها در اندازه ی ساقه مثل  $R / W$  غالب و مغلوبی نیست، در این صفت هم در  $F_2$ ، ۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ ایجاد می شود.



▲ مندل در یک عکس دسته جمعی به همراه کشیشان اتریشی در سال ۱۸۶۲

**نکته** تنها نکته ی قابل ملاحظه در مورد  $F_2$  این است که چون آقای مندل در آزمایشاتش، همیشه  $P$  هایش خالص خالص بوده اند، در مسائل قدیمی کنکور یک سری مسئله هست که بدون این که در مورد  $P$  اطلاعاتی بدهد که خالص است یا ناخالص (چون این فرض خالص بودن  $P$  در آزمایشات مندل خیلی معروف و مهم بوده است) آن را خالص فرض کرده و ما هم باید این کار را بکنیم. پس اگر به سؤالاتی در کنکور برخوردیم که در مورد  $P$  با کمبود قطعی (دقت کنید قطعی) اطلاعات

طرف بودیم،  $P$  را به تبعیت از آقای مندل خالص می گیریم. دقت کنید  $P$  لزوماً همیشه خالص نیست. این جور سؤال ها اشتباه رایج است و نشانه ی تأثیر آقای مندل بر طراح کنکور است! راستی یادم می رفت، چه جوری خالص می گیریم؟ یکی از والدین را خالص غالب می گیریم و دیگری را خالص مغلوب ( $aa \times AA$ ) یا اگر رابطه ی غالب و مغلوبی بین آلل ها نبود، یکی را  $RR$  می گیریم و دیگری را  $WW$ . در واقع در این حالت هر دو والد خالص هستند اما فنوتیپ متفاوتی دارند.

**تست** در وراثت دو جفت صفت که رابطه ی غالب و مغلوبی دارند، چه نسبتی از افراد نسل دوم برای هر دو صفت هتروزایگوس می شوند؟

(۱)  $\frac{1}{8}$                       (۲)  $\frac{3}{16}$                       (۳)  $\frac{2}{8}$                       (۴)  $\frac{9}{16}$  (سراسری ۷۹)

**پاسخ** به این سؤال دقت کنید. دو جفت صفت که رابطه ی غالب و مغلوبی دارند و خلاص، هیچ اطلاعات دیگری از  $P$  در دسترس نیست. در این حالت که اشتباهی رایج است چاره ای نداریم جز این که  $P$  را خالص فرض کنیم و مسئله را حل کنیم. دقت کنید در حالت کلی  $P$  می تواند هر نوع ژنوتیپ یا فنوتیپی داشته باشد.

$P : AA \times aa \rightarrow F_1 : Aa \times Aa \rightarrow F_2 : \frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}aa$

$P : BB \times bb \rightarrow$  عین بالاییه

برای یک صفت  $\frac{1}{4}$  زاده ها هتروزایگوس هستند پس برای ۲ صفت می شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$  یا  $\frac{1}{16}$

**نکته** در این جور سؤال ها یک راست می شود رفت سراغ  $F_1$ ، چرا که در این حالت حتماً  $F_1$  در همه ی صفات ژنوتیپ هتروزایگوس دارد چون محصول والدینی خالص با فنوتیپ متفاوت است. دقت کنید گفتم در این جور سؤال ها، نه کلاً در هر سؤالی!



11 سؤال های نو ترکیبی و  $F_2$  را گاهی با هم ترکیب می کنند. می گویند حالا که  $P$  این است و  $F_1$  این است، در  $F_2$  نسبت به  $P$  و  $F_1$  چند نوع ژنوتیپ یا فنوتیپ نو ترکیب وجود دارد؟ یا این که چه نسبتی از زاده ها ( $F_2$ ) نسبت به  $P$  و  $F_1$  ژنوتیپ یا فنوتیپ نو ترکیب دارند؟ در این حالت باید خوب چشمانمان را باز کنیم و ببینیم در  $P$  و  $F_1$  چند نوع (نه چندتا) ژنوتیپ یا فنوتیپ متفاوت وجود دارد. بعد انواع یا احتمال انواع فنوتیپ ها و ژنوتیپ های  $P$  و  $F_1$  را از کل انواع یا کل احتمال ها کم کنیم، می شود جواب سؤال. در این نوع سؤالات هم شاید مجبور شوید  $P$  را خالص فرض کنید (اگر سؤال اطلاعاتی نداده بود).

در آمیزش  $AARR \times aaWW$ ، در  $F_2$  چند نوع ژنوتیپ و چند نوع فنوتیپ نو ترکیب نسبت به  $P$  و  $F_1$  دیده می شود؟

۳ - ۷ (۴)

۴ - ۶ (۳)

۴ - ۷ (۲)

۳ - ۶ (۱)

$P : AARR \times aaWW \rightarrow F_1 : AaRW \times AaRW$

$$F_2 \left\{ \begin{array}{l} Aa \times Aa \rightarrow \text{نوع ژنوتیپ و فنوتیپ ۲} \\ RW \times RW \rightarrow \text{نوع ژنوتیپ و فنوتیپ ۳} \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} \text{انواع ژنوتیپ} = 3 \times 3 = 9 \\ \text{انواع فنوتیپ} = 3 \times 2 = 6 \end{array}$$

حالا  $P$  و  $F_1$  را با هم در نظر می گیریم.  $P$ ، ۲ نوع ژنوتیپ و ۲ نوع فنوتیپ دارد و نوع ژنوتیپ و فنوتیپ  $F_1$  هم شبیه  $P$  نیست. پس با در نظر گرفتن  $P$  و  $F_1$  مجموعاً ۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ در  $P$  و  $F_1$  داریم.

$F_2$  در  $F_1$  = ۶ - ۳ = ۳ انواع فنوتیپ نو ترکیب در  $F_2$

$F_2$  در  $P$  = ۹ - ۳ = ۶ انواع ژنوتیپ نو ترکیب در  $F_2$

با توجه به سؤال قبل چه نسبتی از زاده های  $F_2$ ، نسبت به  $P$  و  $F_1$  فنوتیپ نو ترکیب دارند؟

$\frac{1}{8}$  (۴)

$\frac{1}{16}$  (۳)

$\frac{3}{8}$  (۲)

$\frac{5}{8}$  (۱)

$Aa \times Aa \rightarrow \frac{3}{4}A + \frac{1}{4}a$

$RW \times RW \rightarrow \frac{1}{4}RR + \frac{1}{2}RW + \frac{1}{4}WW$

$P : ARR$  فنوتیپ =  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$

$P : aWW$  فنوتیپ =  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

$F_1 : ARW$  فنوتیپ =  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$

$F_1$  و  $P$  انواع فنوتیپ های  $P$  =  $\frac{3}{8} + \frac{1}{16} + \frac{3}{16} = \frac{10}{16}$

$F_2$  در  $F_1$  =  $1 - \frac{10}{16} = \frac{3}{8}$

12 تا این جا هر چی مسئله  $F_2$  دیدید از این گلابی ها بود!  $P$  ها همگی خالص و بعد ... از این جا به بعد ما می خواهیم یکسری مسئله طرح کنیم که  $P$  ها ناخالص هستند و باز هم می خواهیم برویم و  $F_2$  را محاسبه کنیم.

در آمیزش  $P : Aa \times Aa$ ، در  $F_2$  چه نسبتی از زاده ها هتروزایگوس هستند؟ (جمعیت بزرگ است و در زاده ها هم خودلقاحی و هم

دگرلقاحی امکان پذیر است)

$\frac{1}{32}$  (۴)

$\frac{1}{16}$  (۳)

$\frac{1}{4}$  (۲)

$\frac{1}{2}$  (۱)

سختی کار در کجاست؟

$P : Aa \times Aa \rightarrow F_1 : \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa \rightarrow F_2 : ?$

$F_1$  والدین  $F_2$  هستند. هر چه قدر تنوع ژنوتیپی در  $F_1$  بیشتر باشد، امکان محاسبه  $F_2$  سخت تر است. در واقع وقتی در  $F_1$  ۳ نوع ژنوتیپ متفاوت داریم،  $3 \times 3$  یعنی ۹ نوع آمیزش باعث ایجاد  $F_2$  می شوند و برای محاسبه  $F_2$  باید هر ۹ نوع آمیزش را نوشت و ریوانه شد! برای جلوگیری از این کار راه حل جالبی هست که توجه شما را به آن جلب می کنم. در حالتی که نمی توانیم همه  $F_1$  انواع آمیزش های  $F_1$  را بنویسیم، باید فراوانی گامت های  $F_1$  را حساب کنیم.



مثلاً برای محاسبه‌ی  $f(a)$  باید تعداد یا نسبتی از افراد جمعیت که آلل  $a$  دارند و تعداد آلل  $a$  هایی که دارند (یکی یا ۲ تا) را در صورت درج کنیم و در مخرج تعداد کل جمعیت یا مجموع نسبت‌های آن‌ها را بگنجانیم ضرب در ۲.

$$f(a) = \frac{[\frac{1}{2}Aa] + [\frac{1}{4}aa \times 2]}{1 \times 2} = \frac{1}{4}$$

آقا چرا  $Aa$  را ضرب در ۲ نکردیم؟ چون  $Aa$  فقط یک آلل  $a$  دارد. چرا  $aa$  را در ۲ ضرب کردیم؟ چون  $aa$ ، ۲ آلل  $a$  دارد. چرا مخرج را ضرب در ۲ کردیم؟ چون در این کسر می‌خواهیم فراوانی آلل  $a$  را به دست بیاوریم. برای محاسبه‌ی فراوانی آلل  $a$ ، در صورت کسر تعداد آلل  $a$  هست و در مخرج تعداد کل آلل‌ها. مخرج را در ۲ ضرب کردیم چون هر فرد  $2n$  است و ۲ آلل دارد.

$$f(a) = \frac{\text{تعداد کل آلل‌های } a}{\text{تعداد کل آلل‌های جمعیت}}$$

وقتی  $f(a)$  بشود  $\frac{1}{4}$ ، پس  $f(A)$  هم می‌شود  $\frac{1}{4}$ . چرا که مجموع فراوانی آلل‌ها می‌شود یک.

$$f_p(Aa) = f(A) \times f(a) \times 2 = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 2 = \frac{1}{4}$$

خب، حالا سؤال می‌گوید احتمال  $Aa$  در  $F_2$  چه قدر است:

حالا این‌جا چرا ضرب در ۲؟ چون یک بار احتمال  $Aa$  را حساب کردیم و یک بار دیگر احتمال  $aA$ . به این مربع پانت نگاه کن. می‌بینی که هتروزایگوس ۲ بار آمده اما هوموزایگوس‌ها هر کدام یک بار.

	A	a
A	AA	Aa
a	aA	aa

کل روش حل این سؤال و این توضیحات اخیر را در ژنتیک جمعیت (فصل ۵ پیش‌دانشگاهی ۱ کتاب خیلی سبز!) خیلی مفصل‌تر درس داده‌ایم. پیشنهاد می‌کنم قسمت آخر  $F_2$  را بعد از خواندن ژنتیک جمعیت دوباره بخوانید، همه‌ی مشکلاتتان حل می‌شود.

اگر آمیزش والدین  $AaBb \times AaBb$  باشد، در  $F_2$  چه نسبتی از زاده‌ها حداقل در یک صفت غالب هستند؟

$\frac{3}{4}$  (۴)

$\frac{7}{8}$  (۳)

$\frac{15}{16}$  (۲)

$\frac{31}{32}$  (۱)

به صورت مونوهیبریدی می‌نویسیم:

$$P: Aa \times Aa \longrightarrow F_1: \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa \longrightarrow F_2: ?$$

$$f(a) = \frac{(\frac{1}{2} \times 1) + (\frac{1}{4} \times 2)}{1 \times 2} = \frac{1}{2} \implies f(A) = \frac{1}{2}$$

با توجه به یکسان بودن آمیزش  $Bb \times Bb$  با  $Aa \times Aa$ ،  $F(B) = f(b) = \frac{1}{2}$  خواهد بود.

$$f(aabb) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$$

خب حالا سؤال می‌گوید چه نسبتی از زاده‌ها حداقل در یک صفت غالب هستند:

$\frac{1}{16}$  زاده‌ها در هر دو صفت مغلوب هستند، پس  $\frac{15}{16}$  زاده‌ها حداقل در یک صفت غالب هستند. یعنی یا در یک صفت غالب هستند و یا در هر دو.



## قبل و فور مندل!

۱ ۱۰۰۰۰ سال پیش، بعد از عصر یخبندان پدربزرگها و مادربزرگهای n نسل قبل یک روز صبح شروع کردند به اهلی کردن جانوران و پرورش



▲ تعدادی از اجدادمان

دادن گیاهان. آن‌ها دوست داشتند در نسل‌های بعد گیاهان و جانوران مرغوب‌تر و قوی‌تری داشته باشند. به همین دلیل افراد مرغوب‌تر را با هم مجبور به تولیدمثل می‌کردند (چه کار زشتی!) و همین‌طور این کار را ادامه می‌دادند تا به اهداف شوم و استعماریشان برسند. این کار یعنی یه کار ژنتیکی علمی! که امروزه بهش می‌گن انتخاب مصنوعی. اون آدم‌ها در عهد بوق می‌فهمیدند که آمیزش گیاهان و جانوران مرغوب با هم، در نسل بعد باعث تولید گیاهان و جانوران مرغوب می‌شود. یعنی در تولیدمثل بین گیاهان و جانوران مرغوب یک چیز مرغوبی (که امروزه بهش می‌گیم ژن) از والدین مرغوب به فرزند می‌رسد که آن را مرغوب می‌کند. به انتقال همان چیز (ژن) از

والدین به بچه‌ها می‌گویند وراثت (یعنی چیز را از پدر و مادرمان به ارث بردیم) و علم بررسی وراثت و چیزها! می‌شود ژنتیک!

۲ بعد از این که بشر عزیز به کار مرغوبیت توجه ویژه‌ای کرد، کم‌کم به یک نظریه‌ی غلط اعتقاد پیدا کرد! نظریه‌ی آمیختگی صفات که می‌گوید صفات هر فرد برآیند یا میانگینی از صفات والدین هستند. یعنی این که از ازدواج پدر ۲ متری و مادر ۱/۵ متری بچه‌ها همه می‌شوند میانگین ۲ و ۱/۵ متر! نظریه‌ی آمیختگی صفات نظریه‌ی منسوخ و رد شده‌ای است اما در مورد بعضی از صفات که رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی نیست مثل حالت مو و رنگ گل میمونی صادق است. اما در مورد صفات تک‌ژنی که رابطه‌ی غالب و مغلوبی دارند، همین‌طور در مورد صفات چندژنی صادق نیست. این نظریه تا اوایل قرن بیستم هم طرفدار داشت اما برادر مندل زد کاسه کوزه‌شو شکوند!



**تست** وراثت کدام صفت شبیه نظریه‌ی منسوخ آمیختگی صفات است؟

- (۱) حالت مو در انسان      (۲) رنگ گل نخودفرنگی      (۳) گودی روی چانه      (۴) رنگ گل ادریسی

**پاسخ** نظریه‌ی منسوخ و قدیمی آمیختگی صفات می‌گوید هر زاده برآیند یا میانگین صفات والدینش را دارد. هر چند این نظریه عمومیت ندارد اما شباهت زیادی به رابطه‌ی غالب ناقص بین آلل‌ها دارد. یعنی اگر پدری موی صاف و مادری موی فرفری داشته باشند، فرزندشان می‌شود حد وسط و میانگین آن‌ها، موی موجدار خواهد داشت.

**۳** همین‌طور که جلوتر بباییم (حدود ۲۰۰ سال پیش) یک آقایی را می‌بینیم به اسم نایت که همه‌ی کارهایش خوب بود جز ریاضی‌اش! او نخودفرنگی می‌کاشت و خدای خویش را شاکر بود! او نخودفرنگی‌هایی را که گلبرگ‌های سفید و ارغوانی داشتند، با هم آمیزش می‌داد (P : AA × aa) و مشاهده می‌کرد که در نسل F<sub>۱</sub> همه‌ی زاده‌ها گلبرگ ارغوانی دارند (Aa). بعد، از آمیزش افراد F<sub>۱</sub> که همگی گل‌ارغوانی بودند (Aa × Aa)، در F<sub>۲</sub> می‌دید که تعدادی از زاده‌ها گل ارغوانی دارند و تعدادی دیگر گل سفید. این‌جا بود که آقای برادر نایت قاطعی می‌کرد و سر به کوه و بیابان می‌گذاشت!

آزمایشات نایت:

$$P : AA \times aa \longrightarrow F_1 : Aa \times Aa \longrightarrow F_2 : \left( \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa \right)$$

$\downarrow \frac{2}{4} A$                        $\downarrow \frac{1}{4} a$

در واقع مشکل اصلی آقای نایت این بود که زاده‌های F<sub>۲</sub> را نمی‌شمرد تا بفهمد  $\frac{1}{4}$  آن‌ها گل سفید دارند و  $\frac{3}{4}$  آن‌ها گل ارغوانی (البته نزدیک به این نسبت‌ها نه دقیقاً خود آن‌ها). آزمایشات نایت و مندل کاملاً شبیه هم بودند و تنها تفاوت در این بود که مندل در هر نسل تعداد گیاهان را می‌شمرد و اعدادی را که به‌دست می‌آورد از نظر آماری تجزیه و تحلیل می‌کرد. در یک کلام دید آماری و ریاضی به موضوع داشت.

**تست** در آزمایش نایت چه نسبتی از افراد F<sub>۲</sub> نسبت به F<sub>۱</sub> فنوتیپ و ژنوتیپ نوترکیب داشتند؟

- (۱)  $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$       (۲)  $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$       (۳)  $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$       (۴)  $\frac{1}{4} - \frac{1}{4}$

**پاسخ** در آزمایش نایت، P نخودفرنگی‌های خالص با گل‌های ارغوانی و سفید بودند. در F<sub>۱</sub> همه‌ی گل‌ها ارغوانی شدند و در F<sub>۲</sub>،  $\frac{1}{4}$  گل‌ها سفید شدند و  $\frac{3}{4}$  ارغوانی.

$$P : AA \text{ (ارغوانی)} \times aa \text{ (سفید)} \longrightarrow F_1 : Aa \text{ (ارغوانی)} \times Aa \longrightarrow F_2 : \left( \frac{1}{4} aa + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} AA \right)$$

$\downarrow \frac{1}{4}$  سفید                       $\downarrow \frac{2}{4}$  ارغوانی                       $\downarrow \frac{1}{4}$  سفید



در آزمایش نایت در F<sub>۲</sub> نسبت به F<sub>۱</sub>،  $\frac{1}{4}$  (  $\frac{1}{4} aa + \frac{1}{4} AA$  ) افراد ژنوتیپ نوترکیب و  $\frac{1}{4}$  (سفید) هم فنوتیپ نوترکیب دارند.

**۴** دیگه رسیدیم به برادر بزرگوار مندل، کشیشی اهل اتریش که در سال ۱۸۲۲ به دنیا آمد و در ۱۸۶۶ کارهایش را منتشر کرد و در سال ۱۸۸۴ دارفانی را وداع گفت. بیش از صد سال (تقریباً ۱۵۰ سال) از انتشار کارهای مندل می‌گذرد. پدرش کشاورز بود و مندل از زمان کودکی چیزهایی از پدرش یاد گرفته بود، ضمن این‌که در دانشگاه، علوم و ریاضی خوانده بود. اولین کاری که مندل کرد تکرار آزمایش‌های نایت بود، با این تفاوت که از نظر آماری زاده‌ها را بررسی کرد و به نتایج جالبی رسید!

**۵** واقعاً شایر فردا نخودفرنگی را علاوه بر استغاره در سالار الویه، برای مندل و آزمایشش آفریده باشد! مندل فیلی شانس آورد که با گیاهی با این همه مشخصات فوب روبه‌رو شد!



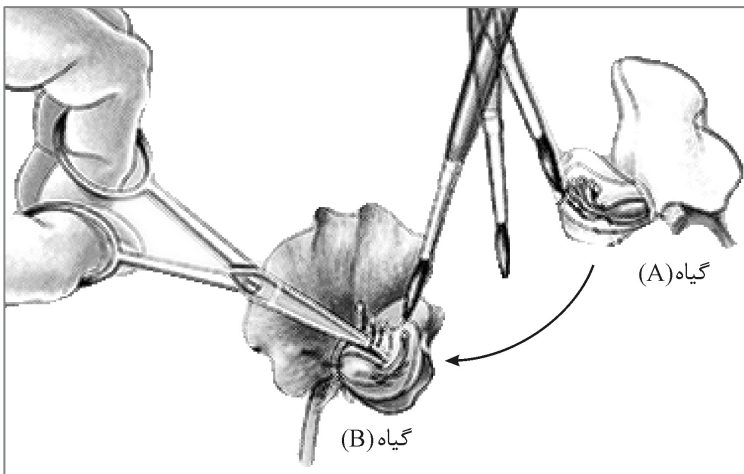
**الف** مندل در آزمایشش ۷ صفت را آزمایش کرد و شانس اساسی که آورد این بود که تمام این صفات تک‌ژنی بودند، شانس آورد که علاوه بر تک‌ژنی بودن، همگی ۲ آللی بودند و باز شانس آورد که رابطه‌ی بین دو آلل در هر ۷ صفت، غالب و مغلوبی بود!!! *فک کن به ۳۳ چه قدر می‌تونه فوش شانس باشه!!!*



▲ این سکه به افتخار مدمین سالگرد تولد مندل ضرب شد

یعنی اگر حتی یکی از این ۷ صفت چندژنی بود یا اگر تنها یکی از این ۷ صفت، ۲ آللی نبود یا اگر تنها در یکی از این ۷ صفت رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی نبود، مندل نمی‌توانست نظراتش را تعمیم دهد و به تناقض می‌خورد. تازه همه‌ی این‌ها یک طرف، یک شانس خیلی خیلی اساسی دیگر این بود که ژن‌های هیچ‌کدام از این ۷ صفت نسبت به هم پیوسته نبودند و روی یک جفت کروموزوم نبودند و گرنه اگر حتی ژن‌های ۲ تا از این ۷ صفت پیوسته بودند، *الآن نه ژنتیکی بود نه ما این همه سال بون می‌کنیم کتاب ژنتیک بنویسیم نه شما این همه به ما بد و بیراه می‌گفتید!* پس خدا خیلی مندل را دوست داشت! کتاب از همه‌ی حالت‌ها و شانس‌هایی که ما گفتیم، فقط حالتی را گفته که این ۷ صفت فقط ۲ حالت دارند و فنوتیپ حد واسط ندارند.

**ب** از مزیت‌های دیگر نخودفرنگی این است که گلش کامل است، یعنی هم پرچم دارد و هم مادگی. پرچم‌ها و مادگی در نخودفرنگی به وسیله‌ی دو گلبرگ پوشانده می‌شوند. به همین دلیل در حالت عادی و بدون دستکاری انسان‌ها، گامت‌های نر یک گیاه نخودفرنگی فقط می‌توانند گامت‌های ماده‌ی همان گیاه را بارور کنند. یعنی نخودفرنگی در حالت عادی فقط خودلقاحی دارد و دگرلقاحی ندارد. اگر در حالت طبیعی نخودفرنگی دگرلقاحی هم داشت و می‌توانست دانه‌های گرده‌اش که حاوی گامت نر هستند را در محیط آزاد کند (۲ گلبرگ جلوی این کار را می‌گیرند)،



نسبت‌های فنوتیپی و ژنوتیپی عددی ثابتی از آب در نمی‌آمدند و مندل نمی‌توانست در نهایت نتیجه‌گیری کند، چون به الگو و روند مشخص آماری نمی‌رسید (این هم به شانس دیگه!). برای انجام دگرلقاحی به روش مصنوعی، دانه‌های گرده را از نخودفرنگی A برمی‌داریم و روی کلاله‌ی نخودفرنگی B می‌گذاریم (به وسیله‌ی قلم‌موا!) برای این که در گیاه B، گامت ماده به وسیله‌ی گامت‌های نر خود گیاه B بارور نشود، قبل از رسیدن و تولید دانه‌ی گرده، پرچم گیاه B را باید قطع کرد.

**ج** نخودفرنگی گیاهی کوچک و آسان پرورش است. زود گل می‌دهد و دانه‌های زیادی تولید می‌کند. این‌ها کمک می‌کرد که مندل زودتر و با داده‌های بیشتری نتایج را بررسی کند.

**تست** چرا نخودفرنگی به طور طبیعی توانایی دگرلقاحی ندارد؟

- (۱) وضعیت قرارگیری پرچم‌ها
- (۲) وضعیت قرارگیری مادگی
- (۳) وضعیت قرارگیری گلبرگ‌ها
- (۴) وجود هم‌زمان پرچم و مادگی در گیاه

**پاسخ** پرچم‌ها و مادگی در نخودفرنگی توسط ۲ گلبرگ پوشانده می‌شوند به همین دلیل دانه‌های گرده در همان فضای بسته‌ی زیر گلبرگ روی مادگی همان گیاه می‌نشینند و جای دیگر نمی‌روند. وجود پرچم و مادگی هم‌زمان در یک گیاه (کامل بودن گیاه) هر چند نشان می‌دهد که گیاه می‌تواند خودلقاحی کند، اما به معنی عدم توانایی دگرلقاحی گیاه نیست، یعنی نافی (نهی کننده‌ی!) دگرلقاحی نیست!

**۶** در هیچ‌کدام از ۷ صفت مندل زن‌ها با هم پیوسته نیستند (همه‌ی آن‌ها تک‌ژنی و ۲ آللی هستند و رابطه‌ی بین آلل‌ها در هر ۷ صفت، غالب و مغلوبی است).





آلل مغلوب	آلل غالب	صفت
کوتاهی	بلندی	بلندی گیاه
انتهایبی	بانبی	مطل قرارگیری گل
پروکیده	صاف	شکل غلاف
زرد	سبز	رنگ غلاف
پروکیده	صاف	شکل دانه
سبز	زرد	رنگ دانه
سفید	ارغوانی (بنفش)	رنگ گلبرگ

برای نخودفرنگی دانه‌ی سبز با غلاف سبز، چند نوع ژنوتیپ متصور است؟ (برای این دو صفت)

۸ (۴)

۴ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

سبز بودن دانه فنوتیپی مغلوب و سبز بودن غلاف فنوتیپی غالب است. برای فنوتیپ غالب دو نوع ژنوتیپ

دانه‌ی سبز

غلاف سبز

( AA یا Aa ) و برای فنوتیپ مغلوب فقط یک نوع ژنوتیپ ( bb ) می‌توان در نظر گرفت.

$$1 \times 2 = 2$$

مندل کدام یک را در نخودفرنگی بررسی نکرد؟

(۴) رنگ غلاف

(۳) شکل غلاف

(۲) موقعیت گل

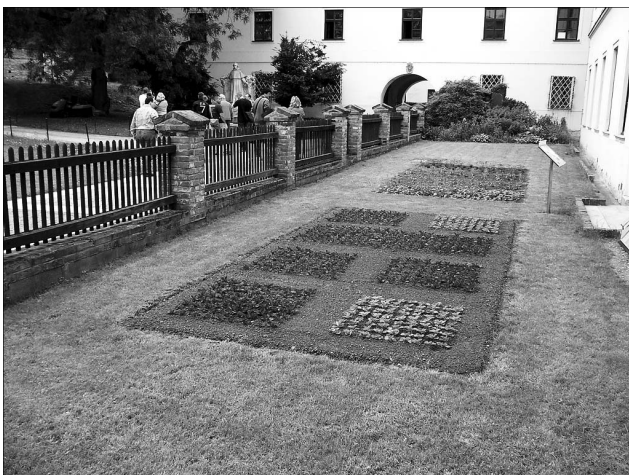
(۱) شکل گل

رک به جدول (۱-۸) . شکل گل در ۷ صفتی که مندل در نخودفرنگی بررسی کرده بود، نبود!

## آزمایشات مندل

اولین آزمایشات مندل آزمایشات مونوهیبریدی بودند که چیزهای زیادی از آن‌ها به دست آمد. آزمایشات مونوهیبریدی مندل عین آزمایشات نایت بود. آمیزش‌های مندل برای تولید ۳ نسل  $F_1$  و  $F_2$  طراحی شده‌اند. در آمیزش مرحله‌ی اول که طی آن P (والدین خالص) تولید می‌شوند، مندل آمد و گیاه ارغوانی را گذاشت چند نسل برای خودش خودلقاحی کند، همین‌طور گیاه سفید را. بعد از چند نسل خودلقاحی، گیاهانی به وجود آمدند که طی خودلقاحی همه‌ی زاده‌هایشان سفید یا ارغوانی بودند. این یعنی این زاده‌ها با احتمال خیلی زیادی خالص هستند. مندل این افراد خالص را والدین (P) نامید. در مرحله‌ی دوم که طی آن افراد P آمیزش می‌کنند و  $F_1$  را به وجود می‌آورند، مندل یکی از والدین را ارغوانی خالص و والد دیگر را سفید خالص انتخاب کرد و آن‌ها را با هم آشنا کرد! (دگرلقاحی به صورت مصنوعی) همه‌ی زاده‌های  $F_1$  ارغوانی شدند. در هر هفت صفت همه‌ی زاده‌های  $F_1$  فقط شبیه یکی از والدین بودند.

▼ باغچه‌ی مندل ؛ دیروز و امروز

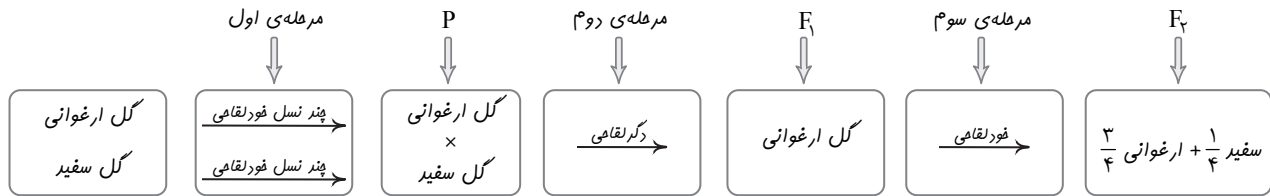




دقت کنید که اطلاعاتتان را باید فراموش کنید و خودتان را جای مندل بگذارید. تصور کنید که در مورد ژن و آلل،  $2n$  و چند  $n$  بودن کروموزومها چیزی نمی‌دانید، فقط از بیرون دارید یک سری شواهد را می‌بینید.

در مرحله سوم، از **خودلقاحی** گل‌های ارغوانی  $F_1$  با هم،  $F_2$  به وجود آمد. مندل با بررسی‌های آماری فهمید که در  $F_2$ ، تعداد گل‌های ارغوانی تقریباً ۳ برابر گل‌های سفید است، یعنی  $\frac{3}{4}$  گل‌ها ارغوانی هستند و  $\frac{1}{4}$  دیگر آن‌ها سفید. در ۶ صفت دیگر هم نسبت‌ها در  $F_2$ ، ۳ به ۱ بود.

### ۸ خلاصه‌ی آزمایشات مندل:



در آزمایشات مندل،  $F_1$  و  $F_2$  به ترتیب محصول ..... و ..... هستند.

- (۱) خودلقاحی - دگرلقاحی      (۲) خودلقاحی - خودلقاحی      (۳) دگرلقاحی - دگرلقاحی      (۴) دگرلقاحی - خودلقاحی

هرچی!  $F_2$  :  $Aa \times Aa$  →  $F_1$  :  $Aa \times Aa$  → دگرلقاحی  $P$  :  $AA \times aa$

$F_1$ ، محصول  $AA \times aa$  است که دگرلقاحی است.  $F_2$  محصول  $Aa \times Aa$  است که خودلقاحی است. می‌دانید که در خودلقاحی ژنوتیپ‌های دو طرف حتماً یکسان است. البته همیشه یکسان بودن ژنوتیپ‌های دو طرف به معنای خودلقاحی نیست. اما از آنجایی که به صورت طبیعی نخودفرنگی فقط خودلقاحی انجام می‌دهد، این است که  $Aa \times Aa$  در نخودفرنگی در حالت طبیعی یعنی خودلقاحی.

در آزمایش‌های مندل نسبت‌های ژنوتیپی در  $F_2$  کدام است؟

- (۱) ۳:۱      (۲) ۱:۴      (۳) ۱:۲:۱      (۴) ۱:۳:۱

ژنوتیپ‌ها در  $F_2$  مندل می‌شود  $\frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}aa$ . قرار شد برای تبدیل کسر به نسبت‌های غیرکسری، کسر را در مخرج مشترکشان ضرب کنیم. مخرج مشترک کسرها ۴ است. با ضرب کسرها در ۴ نسبت‌های ژنوتیپی می‌شود ۱:۲:۱.

در مورد آزمایشات مندل کدام یک درست است؟

- (۱) در  $F_1$ ، ۱۰۰ درصد افراد هوموزیگوس بودند.      (۲) در  $F_2$ ، ۵۰ درصد افراد خالص بودند.  
 (۳) درصد افراد هوموزیگوس در  $F_2$  بیشتر از P بود.      (۴) در P فرد با فنوتیپ مغلوب وجود ندارد.

$P : AA \times aa \rightarrow F_1 : Aa \times Aa \rightarrow F_2 : \frac{1}{4}aa + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}AA$

در  $F_1$  صد درصد افراد هتروزیگوس هستند. در  $F_2$  ۵۰ درصد افراد  $(\frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa)$  خالص هستند و در P صد درصد جمعیت. aa در P فنوتیپ مغلوب دارد.

با توجه به نمودار بالا مندل باید از ۳ تا چیز مهم سر در می‌آورد:

- a چرا  $F_1$ ها همه ارغوانی شدند و اصلاً سفید در آن‌ها نیست؟
  - b چرا وقتی در  $F_1$  هیچ سفیدی نیست، بیهو در  $F_2$  زاده‌ی سفید دیده می‌شود؟
  - c این نسبت ۳:۱ که در هر ۷ صفت به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چیست و علت آن چیست؟
- طرح این سؤالات و رفتن به سمت حل آن‌ها باعث کشف قوانین اولیه‌ی ژنتیک توسط مندل شد.

دقت کنید نسبت ۳ به ۱ یا همان ۳:۱، نسبتی تقریبی است نه دقیق، اما در  $F_2$  در هر ۷ صفت این نسبت بین زاده‌ها تقریباً برقرار

است. هر چه تعداد زاده‌ها بیشتر باشد، این نسبت به ۳:۱ نزدیک‌تر می‌شود.

۹ مندلی با خودش خوب فکر کرد و با چند نظریه جواب a, b و c را داد:



▲ نخود فرنگی!

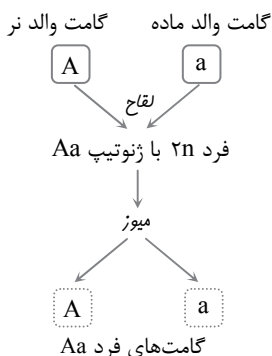
۱۰ او گفت که نخودفرنگی برای هر صفت ۲ تا عامل (ژن، آلل) دارد که یکی را از پدرش می‌گیرد و دیگری را از مادرش (پس به جورایی اون گفت نخودفرنگی ۲n است که درست هم هست). در لقاح، این دو عامل در کنار هم قرار می‌گیرند. امروزه می‌دانیم که هر فرد ۲n برای هر صفت تک‌ژنی (در هستند) ۲ آلل دارد. این ۲ آلل می‌توانند از یک نوع باشند (هوموزیگوس) و یا متفاوت باشند (هتروزیگوس).

در این ۷ صفت، مندلی اثر یکی از این ۲ آلل را بر آلل دیگر غالب فرض کرد. او این‌طور توجیه کرد که در F<sub>۱</sub> به این دلیل همه‌ی گل‌ها ارغوانی هستند که ۲ آلل رنگ ارغوانی و رنگ سفید در کنار هم قرار گرفته‌اند، اما چون آلل رنگ ارغوانی بر آلل رنگ سفید غالب است، اثرش را می‌پوشاند و همه‌ی گل‌ها ارغوانی می‌شوند.

۱۱ جواب این سؤال که چرا با این که در F<sub>۱</sub> همه‌ی گل‌ها ارغوانی هستند اما در F<sub>۲</sub> گل سفید هم دیده می‌شود، این است که در F<sub>۱</sub> زاده‌ها هتروزیگوس یا ناخالص هستند و آلل سفید را به صورت مغلوب دارند. در F<sub>۲</sub>، ۲ آلل a، یکی از والد نر و دیگری از والد ماده در کنار هم قرار می‌گیرند و گل سفید در F<sub>۲</sub> به وجود می‌آید در حالی که در F<sub>۱</sub> اثری از آن نبود.

$$F_1: Aa \times Aa \longrightarrow F_2: \frac{1}{4}a + \frac{3}{4}A$$

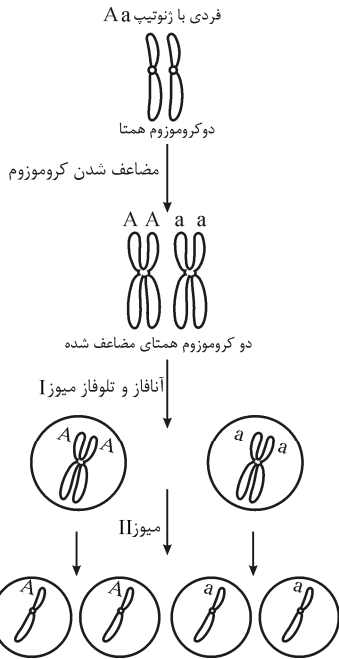
۱۲ چرا نسبت گل ارغوانی به سفید ۳ به ۱ است؟ به علت رابطه‌ی ریاضی در Aa × Aa، که احتمال قرار گرفتن a و a در کنار هم می‌شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$  و احتمال aa نشدن (یعنی A شدن) می‌شود  $\frac{3}{4}$ !



۱۳ مندلی از وجود ژن، آلل و کروموزوم بی‌اطلاع بود و به جای آلل و ژن از اسمی به عنوان «عامل» استفاده می‌کرد. از نظر او هر فرد برای هر صفت، ۲ عامل دارد. امروز این جمله را این‌طوری اصلاح می‌کنیم که هر فرد ۲n برای هر صفت تک‌ژنی، ۲ آلل (ژن) دارد. مندلی می‌گفت این دو عامل در فرد یکی از پدر آمده و دیگری از مادر. ضمناً می‌گفت هنگام تشکیل گامت، این دو عامل از هم جدا می‌شوند.

۱۴ مندلی یک سری حرف زد که حالا با هم می‌ایم و در موردشون یکی‌یکی صحبت می‌کنیم و آن‌ها را نقد می‌کنیم.

۱۵ هر صفت در هر فرد ۲ عامل دارد. اگر صفت تک‌ژنی باشد و فرد ۲n، درست است. جاندارانی هستند ۴n (مثل بعضی از گیاهان) که برای یک صفت تک‌ژنی ۴ آلل دارند، یا افراد n برای یک صفت تک‌ژنی فقط یک آلل دارند. اگر صفت چندژنی هم باشد، داستان متفاوت است. انسان که ۲n است برای یک صفت ۳ ژنی ۶ آلل دارد: برای هر ژن، ۲ آلل (در فصل مفاهیم پایه‌ای به این موضوع پرداختیم).

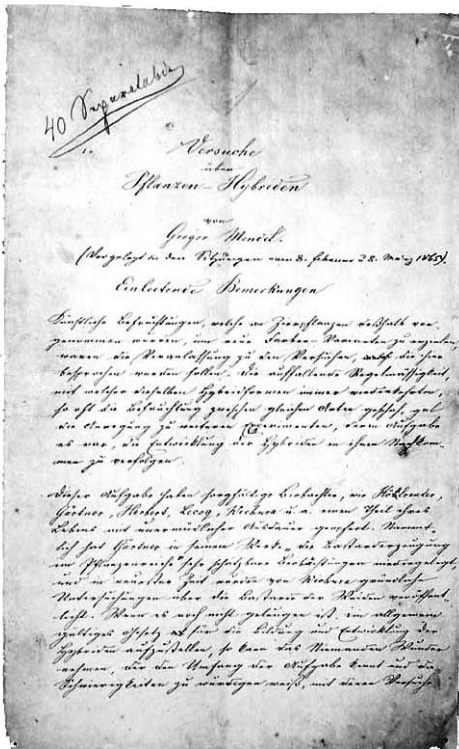


**b** برای هر صفت، ۲ عامل متفاوت در جمعیت وجود دارد که یکی بر دیگری غالب است. صفت می تواند تک ژنی یا چند ژنی باشد. صفت تک ژنی می تواند در جمعیت، ۲ آللی یا چند آللی باشد. رابطه‌ی بین آلل‌ها هم همیشه لزوماً غالب و مغلوبی نیست.

**c** عامل‌های یک صفت، یکی از والد نر می رسد و دیگری از والد ماده و این دو عامل هنگام تشکیل گامت از هم جدا می شوند. این تقریباً درست است، فقط به ۲n کم داره! یک فرد ۲n، برای یک صفت تک ژنی، ۲ آلل (مشابه یا متفاوت) دارد. هنگام آنافاز میوز I، وقتی کروموزوم‌های همتا از هم جدا می شوند، آلل‌های یک ژن هم که روی این کروموزوم‌ها هستند، از هم جدا می شوند. به این اتفاق می گویند قانون تفکیک ژن‌ها یا قانون اول مندل. این قانون همیشه درست است مگر آن که به علت اختلالی، کروموزوم‌ها از هم جدا نشوند که این اتفاق هم نادر است و هم غیرطبیعی.

**d** قانون دوم مندل قانون جور شدن مستقل ژن‌هاست. جور شدن مستقل ژن‌ها می گوید وراثت یک صفت روی صفت دیگر تأثیر

نمی گذارد. یادتان باشد گفتیم که مندل این شانس را آورد که هر صفتی که بررسی می کرد تک ژنی، دو آللی، با رابطه‌ی غالب و مغلوبی و غیر پیوسته بود. یعنی آلل‌های این ۷ صفت روی ۷ جفت کروموزوم متفاوت بودند. خوب معلوم است که در این حالت انتقال این صفات از یک نسل به نسل بعد مستقل از هم است و این ژن‌ها مستقل از هم جور می شوند. «جور شدن» یعنی قرارگیری، جدا شدن کروموزوم‌های همتا و نهایتاً تشکیل گامت. «مستقل جور شدن» یعنی در قرارگیری، جدا شدن و تشکیل گامت، مستقل بودن!



▲ دست‌نوشته‌ای از مندل به زبان آلمانی در سال ۱۸۶۵. این نوشته صفحه‌ی اول یکی از مقالات اوست.

با توجه به شکل زیر جدا شدن کدام یک از آلل‌های زیر، تأییدی بر

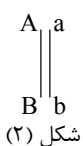
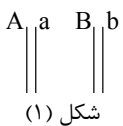
قانون اول مندل است؟

A a	D d		
		A و b (۲)	b و a (۱)
B b		D و A (۴)	B و b (۳)

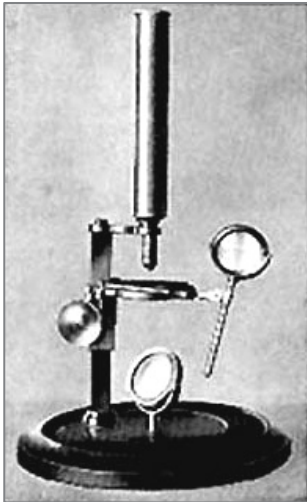
طبق قانون اول مندل در آنافاز میوز، آلل‌های یک ژن (جایگاه ژنی) از هم جدا می شوند. پس جدا شدن A, B و a, B تأییدی بر قانون اول مندل است. جور شدن مستقل A و D تأییدی بر قانون دوم مندل است.

شکل (۱)، دو جفت کروموزوم همتا را در یک فرد که ژنوتیپ AaBb دارد، نشان می دهد.

شکل (۲)، یک جفت کروموزوم همتا را در فردی که او هم ژنوتیپ AaBb دارد، نشان می دهد. دو جفت ژن A/a و B/b در فرد (۱) مستقل از هم جور می شوند چون این دو جفت ژن پیوسته نیستند، اما در فرد (۲) به علت پیوسته بودن ژن a با A و B با B، اصل جور شدن مستقل ژن‌ها در مورد این دو جفت ژن صادق نیست. چرا که هر جا که a برود، b را با خودش می برد و هر جا که b برود a را با خودش می برد و این یعنی جفت ژن A/a روی جفت ژن B/b تأثیر می گذارد و نسبت به هم مستقل نیستند. پس فهمیدیم که قانون دوم مندل در مورد ژن‌هایی که پیوسته‌اند، صادق نیست.



۱۲ یک چیز دیگر این که در مورد  $Aa \times Aa$ ، اصل تفکیک ژن‌ها معنی دارد اما اصل جور شدن مستقل ژن‌ها بی‌معنی است. چرا که در جور شدن



▲ میکروسکوپ مندلی

مستقل ژن‌ها ما می‌گوییم جفت ژن  $A/a$  مثلاً از جفت ژن  $B/b$  مستقل جور می‌شود؛ اگر پیوستگی بین آن‌ها نباشد. نمی‌گوییم  $A$  با  $a$  مستقل جور می‌شود. چون  $A$  و  $a$  آللهایی از یک ژن هستند نه از دو ژن (جایگاه ژن) متفاوت.

۱۳ موضوع دیگر این که اطلاعاتی که در این فصل دادیم هم از نظر حفظ کردن اهمیت دارند و هم از نظر فهمیدن و حل مسئله. جدیداً مد شده است که حفظ کردن و مسئله را در کنار هم می‌دهند. مثلاً به جای این که بگویند در آمیزش  $Aa \times Aa$  چه خبر می‌شود، می‌گویند در آمیزش دو گل از نسل  $F_1$  مندلی که شما باید بدانید که در  $F_1$  مندلی چه خبر بود. شاید از این فصل سؤال مستقیمی طرح نشود اما امکان استفاده از اطلاعات آن در طرح مسائل فصول دیگر زیاد است.

۱۴ آخر سخن! این که ما دوست نداشتیم وقتی مندلی را درس بدهیم که شما اصلاً چیزی از ژنتیک نمی‌دانستید (یعنی در فصل مفاهیم پایه‌ای). همین!

در آمیزش دانه‌های نخودفرنگی صاف و سبز با چروکیده و زرد، در نسل دوم چه نسبتی برای هر دو صفت خالص خواهند بود؟ (سپیش ۸۲)

$$\frac{1}{4} \quad (1) \qquad \frac{1}{2} \quad (2) \qquad \frac{9}{16} \quad (3) \qquad \frac{3}{16} \quad (4)$$

گفتیم که در مسائلی که در مورد  $P$  صحبتی نمی‌کند، ما آن را خالص فرض می‌کنیم (به تأسی از آزمایشات مندلی!).

$$P : AA \times aa \longrightarrow F_1 : Aa \times Aa \longrightarrow F_2 : \frac{1}{4}Aa + \frac{1}{4}AA + \frac{1}{4}aa$$

$P : BB \times bb$  عین بالاییه

↓  
خالص

برای هر صفت،  $\frac{1}{4}$  افراد خالص‌اند. پس برای ۲ صفت می‌شود  $\frac{1}{4}$ .

# آمیزش آزمون

۱ فارغ از این که مبحث آمیزش آزمون مبحثی قدیمی است که کتاب درسی هم خیلی به آن نپرداخته است، اما یک مفهوم ریاضی جالب را در خود مستتر دارد که ما را بر آن داشت! تا به این موضوع کلیشه‌ای از دری نو وارد شویم.

## تست هدف از آمیزش آزمون چیست؟

- ۱) تعیین فنوتیپ والدی که ژنوتیپ آن معلوم است.
- ۲) تعیین ژنوتیپ والدی که فنوتیپ آن معلوم است.
- ۳) تعیین ژنوتیپ فرزندی که فنوتیپ آن معلوم است.
- ۴) تعیین فنوتیپ فرزندی که ژنوتیپ آن معلوم است.

در واقع مفهوم کلیشه‌ای آمیزش آزمون می‌گوید که وقتی به شما می‌گویند فنوتیپ

یک فرد غالب است، شما می‌دانید که فرضاً A است اما نمی‌دانید ژنوتیپ این فرد A، AA، Aa (خالص) است یا Aa (ناخالص). حالا فرض کنید شما علاقه‌مندید که بفهمید ژنوتیپ این فرد Aa است یا AA. برای این کار، بهترین کار این است که از این فرد بخواهید با فردی با ژنوتیپ aa (فنوتیپ a) ازدواج کند تا ...!!

پس در هر آمیزش آزمون ما دو نفر داریم که یکی فنوتیپ غالب دارد اما ژنوتیپش را نمی‌دانیم و دیگری فنوتیپ و ژنوتیپ مغلوب دارد.

...  $A \times a \rightarrow$  در همه‌ی آمیزش‌های آزمون

...  $A \times aa \rightarrow$  در همه‌ی آمیزش‌های آزمون

در واقع از روی بچه‌های آن‌ها می‌فهمیم که والد مجهول ژنوتیپ چه ژنوتیپی دارد. پس در آمیزش آزمون هدف ما تعیین ژنوتیپ یکی از والدین است، با بررسی زاده‌ها.

## تست در نخودفرنگی تعیین ژنوتیپ کدام فنوتیپ نیاز به آمیزش آزمون دارد؟

- ۱) انتهای بودن گل
- ۲) گل سفیدرنگ
- ۳) دانه‌ی زردرنگ
- ۴) غلاف زردرنگ





تعیین ژنوتیپ فنوتیپ‌های غالب نیاز به آمیزش آزمون دارد. در فعالیت ۱-۸ می‌بینید که انتهای و سفید بودن گل و زرد رنگ بودن غلاف، صفت‌هایی مغلوب هستند و زردی دانه صفتی غالب.

۲) خب حالا این آمیزش آزمون چگونه کمک می‌کند که به ژنوتیپ والدین پی ببریم؟

$$1) AA \times aa \rightarrow 1Aa$$

$$2) Aa \times aa \rightarrow \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{2}aa$$

والد غالب می‌تواند ژنوتیپ AA یا Aa داشته باشد. در حالت اول حتماً حتماً همه‌ی زاده‌ها برای همیشه Aa، با فنوتیپ A می‌شوند. اما در حالت دوم به احتمال  $\frac{1}{2}$ ، فنوتیپ زاده‌ها a (مغلوب) می‌شود و به احتمال  $\frac{1}{2}$  دیگر فنوتیپ زاده‌ها A (غالب) می‌شود. نکته‌ی مفهومی، اصلی و مهمی که خیلی‌ها حواسشان به آن نیست، این جاست! کجا؟ این تست رو حل کن تا بگم!

در آمیزش آزمون فردی با فنوتیپ A، کدام یک از دو جمله‌ی زیر صحیح است؟

a) اگر همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ A داشتند، فرد فوق حتماً هموزیگوس است.

b) اگر فقط یک زاده‌ی مغلوب داشته باشیم، فرد فوق حتماً هتروزیگوس است.

- ۱) فقط a      ۲) فقط b      ۳) هر دو      ۴) هیچ کدام

نکته‌ی مفهومی و اصلی در آمیزش آزمون این است که اگر در آمیزش آزمون  $A \times a$  همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ A داشته باشند،

نمی‌توانیم بگوییم ژنوتیپ والد غالب لزوماً AA است و Aa نیست. چون احتمال، احتمال است! وقتی احتمال aa شدن  $\frac{1}{2}$  است، این طور نیست که در خانواده‌ای که ۱۰ بچه دارند لزوماً ۵ تا aa باشند. احتمال دارد هر ۱۰ تا aa باشند. احتمال دارد یکی از آن‌ها هم aa نباشد. با این‌که A شدن همه‌ی فرزندان هیچ کمکی در شناسایی ژنوتیپ والد غالب نمی‌کند، اما a (aa) شدن حتی یک فرزند نشان می‌دهد که فرد غالب حتماً آلل a دارد پس حتماً ژنوتیپش Aa و هتروزیگوس است.

پس پس! در آمیزش آزمون تنها نشانه‌ی تشخیص ژنوتیپ والد غالب، تولد فرزند مغلوب است و در این حالت می‌فهمیم که ژنوتیپ والد غالب هتروزیگوس است. پس پس! ما در هیچ آمیزش آزمونی نمی‌توانیم بفهمیم که ژنوتیپ فرد غالب AA است! چون فرد AA در آمیزش آزمون در زاده‌ها ژنوتیپی را تولید می‌کند که فرد Aa هم می‌تواند زاده با همان ژنوتیپ را در آمیزش آزمون تولید کند!

گاهی با دادن اطلاعاتی در مورد انواع فنوتیپ و ژنوتیپ زاده‌ها یا درصد آن‌ها در زاده‌ها، شما باید حدس بزنید در یک آمیزش آزمون مولتی‌هیبریدی، در والد غالب چند ژنوتیپ هتروزیگوس هست. در واقع این سوالات وقتی طرح می‌شوند که ما بخواهیم آمیزش آزمون مولتی‌هیبریدی برگزار کنیم.



در گوجه‌فرنگی آلل‌های A (بوته‌ی بلند) و H (کرک‌دار بودن ساقه) بر آلل‌های متقابلشان (a و h) غلبه دارند. برای تعیین ژنوتیپ بوته‌ی بلند و کرک‌دار آمیزش آزمون انجام شد. در صورتی که نتیجه‌ی این آزمایش ۴ نوع فنوتیپ با نسبت‌های مساوی باشد، ژنوتیپ بوته‌ی مورد آزمایش کدام بوده است؟ (سئیش ۸)

۱) AaHh      ۲) AAHh  
۳) AaHH      ۴) AAHH

آمیزش آزمون برای یک صفت می‌تواند ۲ حالت باشد:

$$Aa \times aa \rightarrow \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{2}aa$$

$$AA \times aa \rightarrow 1Aa$$

حالت اول ۲ نوع فنوتیپ می‌دهد. برای دو صفت، این حالت ۴ نوع فنوتیپ می‌دهد (۲×۲) که فراوانی همه‌ی آن‌ها با هم برابر است. پس بوته‌ی بلند کرک‌دار که در هر دو صفت غالب است، باید در هر دو صفت هتروزیگوس باشد تا بتواند در آمیزش آزمون ۴ نوع فنوتیپ با فراوانی برابر ایجاد کند.



جاندارى با ۳ صفت تک‌ژنى غالب آمیزش آزمون انجام داده است. در زاده‌ها ۴ نوع فنوتیپ دیده می‌شود. چه نسبتی از زاده‌ها فنوتیپ **تست** نوترکیب دارند؟

$$\frac{2}{3} \text{ (۴)} \qquad \frac{5}{8} \text{ (۳)} \qquad \frac{7}{8} \text{ (۲)} \qquad \frac{3}{4} \text{ (۱)}$$

در آمیزش آزمون یک طرف آمیزش حتماً فنوتیپ مغلوب دارد (aa) و طرف دیگر فنوتیپ غالب. فرد غالب (A) می‌تواند ۲ نوع **تاسیج** ژنوتیپ AA یا Aa داشته باشد.

یک نوع فنوتیپ  $AA \times aa \rightarrow$

دو نوع فنوتیپ  $Aa \times aa \rightarrow$

وقتی برای ۳ صفت، ۴ نوع فنوتیپ داریم یعنی والد غالب برای ۲ صفت از ۳ صفت، هتروزیگوس و برای یکی دیگر هوموزیگوس است. پس والد غالب ژنوتیپ AaBbDD دارد (در ۲ تا هتروزیگوس و در یکی هوموزیگوس غالب است). برای این سؤال در هیچ حالت دیگری از آمیزش آزمون ۴ نوع فنوتیپ تولید نمی‌شود.

$AaBbDD \times aabbdd$

$$\text{احتمال ABD (یکی از والدین)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{4}$$

$$\text{احتمال abd (والد دیگر)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 0 = 0$$

$$\text{احتمال والدین} = \frac{1}{4} + 0 = \frac{1}{4}$$

$$\text{احتمال فنوتیپ نوترکیب} = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

از این نوع استفاده‌ی نوآورانه از آمیزش آزمون باز هم می‌توان داشت که در تست‌ها خواهید دید.





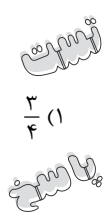
در آمیزش  $AaBb \times AaBb$  چه نسبتی از زاده‌ها در هر دو صفت هتروزیگوس هستند؟

$\frac{3}{16}$  (۴)

$\frac{3}{8}$  (۳)

$\frac{1}{2}$  (۲)

$\frac{3}{4}$  (۱)



داستان از این‌جا شروع می‌شود که شما سر جلسه‌ی کنکور نشست‌اید که به سؤال بالا می‌خورید. در نظر اول کلی خوشحالید که عجب سؤال ژنتیک گلابی‌ای! اما هر چه قدر می‌آیید حل بنمایید، جواب را در گزینه‌ها نمی‌یابید و با خود می‌گویید: آه، باز هم سؤال غلط! آفه ما تا کی باید غلط سؤال‌های کنکور سراسری رو بگیریم!!  
شما از این راه حل می‌کنید:

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}Aa + \dots$$

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}Bb + \dots$$

$$\Rightarrow \text{احتمال } AaBb = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

اما یک چهارم در گزینه‌ها نیست.

اگر شما آدم کاردستی هستید و بعد از حل یک سؤال ژنتیک، پاسخ شما در گزینه‌ها نبود، شک کنید که احتمال دارد ژن‌ها پیوسته باشند. اما اگر آدم کاردستی نیستید و پاسخ شما در گزینه‌ها نیست، بدانید که سؤال را غلط حل کرده‌اید! خلاصه این‌که جدیداً مد شده در صورت سؤال نمی‌نویسند که ژن‌ها پیوسته‌اند و فقط کاری می‌کنند که پاسخ حالت ناپیوسته در گزینه‌ها نباشد و پاسخ حالت پیوسته در گزینه‌ها باشد. مواظب خودتان باشید.

$$\frac{A}{a} \frac{B}{b} \times \frac{A}{a} \frac{B}{b} \rightarrow \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}\right) \frac{A}{a} \frac{B}{b} + \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}\right) \frac{A}{a} \frac{B}{b} = \frac{1}{4}AaBb$$

اگر A را با b پیوسته بگیریم، باز هم به این جواب می‌رسیم.

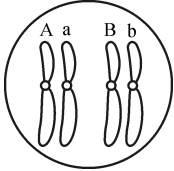
مهم‌ترین نکته‌ی درس پیوستگی این است که شاید شما نفهمید که یک سؤال کنکور در مورد پیوستگی است! چون در صورت سؤال چیزی نگفته، اما سؤال فقط از راه پیوستگی حل می‌شود.



پیوستگی!

*pretension: that these were effected at the expence of our own blood & treasure, unassisted by the wealth or the strength of Great Britain: that in constituting indeed our several forms of government, we had adopted one common king, thereby laying a foundation for perpetual league & amity with them: but that submission to their*

۲ در فردی  $2n$  با ژنوتیپ  $AaBb$ ، تا حالا یاد گرفته بودیم که  $A$  و  $a$  با هم ژن‌های آل هستند و روی یک جفت کروموزوم قرار می‌گیرند. همین‌طور  $B$  و  $b$  با هم ژن آل هستند و روی یک جفت کروموزوم قرار می‌گیرند.



در این حالت قانون دوم مندل (اصل جور شدن مستقل ژن‌ها) درست است و هنگام میوز،  $A$  وارد نصف گامت‌ها و  $a$  وارد نصف دیگر گامت‌ها می‌شود و نحوه‌ی جور شدن  $A$  و  $a$  در گامت‌ها روی جور شدن  $B$  و  $b$  در گامت‌ها بی‌تأثیر است.

۳ حالا فرض کنید در فرد  $2n$  با ژنوتیپ  $AaBb$ ، دو آل  $B$  و  $b$  روی همان جفت کروموزومی قرار بگیرند که  $A$  و  $a$  قرار دارند، البته در محلی متفاوت از  $A$  و  $a$ . در این حالت می‌گویند جایگاه ژنی  $A/a$  با جایگاه ژنی  $B/b$  پیوسته است. مثلاً اگر جایگاه ژنی  $A/a$  رنگ مو را کنترل می‌کند و جایگاه ژنی  $B/b$  مربوط به سفید شدن مو است، می‌گویند صفت رنگ مو و صفت سفید شدن مو با هم پیوسته‌اند. یعنی در یک فرد  $2n$ ، این ۲ جفت ژن روی یک جفت کروموزوم قرار می‌گیرند.

یک جور دیگر هم این پیوستگی را می‌توان توضیح داد. وقتی دو جفت ژن  $AaBb$  روی یک جفت کروموزوم قرار می‌گیرند  $A$  یا با  $b$  روی یک کروموزوم است، یا با  $B$ ، که در حالت اول می‌گویند  $A$  با  $b$  پیوسته است و در حالت دوم با  $B$ . یعنی به‌جای این که بگویند ژن‌های صفت فلان با ژن‌های صفت بهمان پیوسته‌اند و این دو صفت در یک

فرد  $2n$  روی یک جفت کروموزوم هم‌تا قرار دارند، بر اساس ژنوتیپ فرد می‌گویند آل  $A$  با آل  $B$  پیوسته است. دقت کنید در فردی با ژنوتیپ  $AaBb$  وقتی می‌گوییم آل  $A$  با  $b$  پیوسته است، دیگر همه‌چیز تمام است! یعنی دیگر نیازی نیست بگوییم آل  $a$  با  $B$  پیوسته است، چون وقتی  $A$  با  $b$  پیوسته باشد،  $a$  چاره‌ای ندارد جز این که با  $B$  پیوسته باشد.

۴ اگر در فردی با ژنوتیپ  $AaBb$ ، آل  $A$  با  $b$  روی یک کروموزوم و پیوسته باشد، ژنوتیپ فرد را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\text{دو کروموزوم هم‌تا: } \frac{A \quad b}{a \quad B}$$

در حل مسائل ژنتیکی به صورت قراردادی، پیوستگی بالا را به جای دو خط (دو کروموزوم هم‌تا) روی یک خط نمایش می‌دهند:

$$\frac{A \quad b}{a \quad B}$$

دقت کنید  $\frac{a \quad B}{A \quad b}$  با  $\frac{A \quad b}{a \quad B}$  یکی است. جابه‌جایی صورت و مخرج ژنوتیپ را تغییر نمی‌دهد.

حواستان باشد که در فردی با ژنوتیپ  $AaBb$  که ژن‌ها پیوسته‌اند، یک‌وقت اشتباهی  $a$  و  $b$  را روبه‌روی هم ننویسید. ژن‌های آل روبه‌روی هم هستند ( $a$  روبه‌روی  $A$  و  $b$  روبه‌روی  $B$ ). ژن‌های غیرآل (پیوسته) روی یک کروموزوم هستند (مثلاً  $A$  با  $B$  یا  $a$  با  $b$ ).

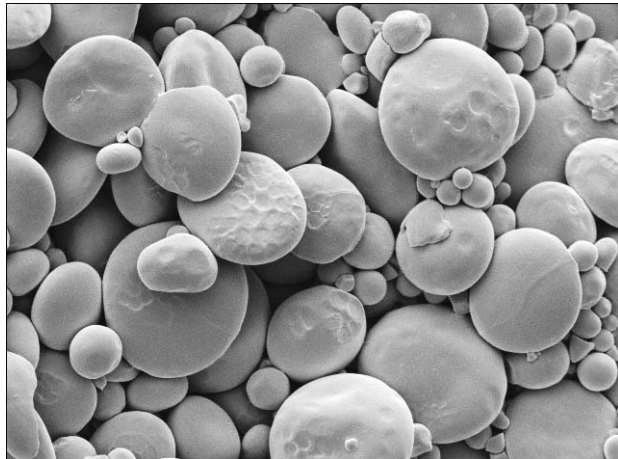
۵ آن‌چه در پیوستگی و مسائل آن اهمیت دارد، درک این موضوع است که در فردی با ژنوتیپ  $AaBb$  که آل  $A$  و  $B$  با هم پیوسته‌اند، هر جا آل  $A$  برود آل  $b$  هم می‌رود (و برعکس). یعنی در هنگام تشکیل گامت، آل‌های  $A$  و  $b$  مستقل از هم جور نمی‌شوند و به هم پیوسته‌اند. پس پیوستگی باعث نقض قانون دوم مندل یعنی اصل جور شدن مستقل ژن‌ها شد. در فصل مندل گفتیم که برادر مندل این شانس را آورد که هیچ‌کدام از صفت‌هایی که بررسی می‌کرد، پیوسته نبودند و به همین دلیل نتایج بررسی‌هایش خیلی رُند و یک‌دست درآمد و به تضاد نخورد. اما خب این بدی را هم داشت که نظریه‌ی اشتباه جور شدن مستقل ژن‌ها را هم داد که بعد از بررسی پیوستگی صفات و ژن‌ها فهمیدند که درست نیست.

۶ پس حواستان باشد که در فردی با ژنوتیپ  $Aa$ ،  $A$  و  $a$  را نمی‌توان پیوسته فرض کرد چون مربوط به یک جایگاه ژنی و در واقع ژن‌های آل هستند. پیوستگی حداقل در مورد دو جایگاه ژنی و ژن‌های غیرآل ( $A$  با  $b$  یا  $A$  با  $B$ ) تعریف می‌شود.



۷ پیوستگی را برای حالت‌های ۲n تعریف کردیم چرا که آشنا تر است، وگرنه در فردی با ژنوتیپ AaaBBb که حتماً متوجه شده‌اید که ۳n است، آلل B می‌تواند با a پیوسته باشد:

یا مثلاً در قارچ مخمر که n کروموزومی است و ژنوتیپش AbcD است، A با c می‌تواند پیوسته باشد:  $\frac{A}{c} b D$



▲ قارچ مخمر نان

فردی با ژنوتیپ  $\frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{D}{D} EeFFHh$  ،  $2n = x$  است.

x چه قدر است؟

- ۴ (۱)
- ۶ (۲)
- ۸ (۳)
- ۱۲ (۴)

واقعاً اگر این سؤال را درست حل کردید و فهمیدید، یعنی تعریف و مفهوم پیوستگی را خوب فهمیده‌اید. در واقع ژنوتیپ این فرد

این شکلی است:  $\frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{D}{D} \frac{E}{e} \frac{F}{F} \frac{H}{H}$

خب حالا کروموزوم‌ها را بشمرید. بعله، ۸ تا. پس  $x = 8$  است.



در فردی با ژنوتیپ AaBb که ژن‌ها پیوسته نیستند، ژنوتیپ فرد را به صورت مقابل نشان می‌دادیم:

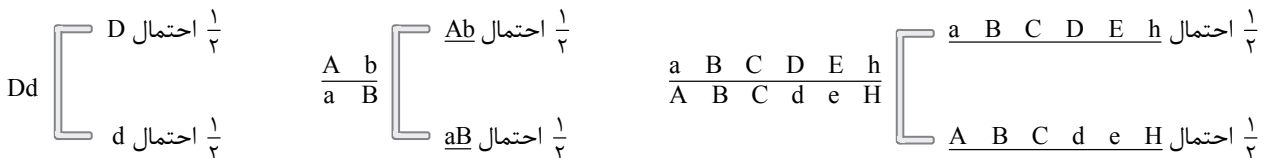
که در این حالت هر جفت ژن آلل روی یک جفت کروموزوم قرار می‌گیرند.

۸ نکته‌ی اصلی در حل سؤالات پیوستگی این است که در یک فرد ژن‌های پیوسته را با هم ضرب می‌کنیم و گسسته‌ها را با هم.

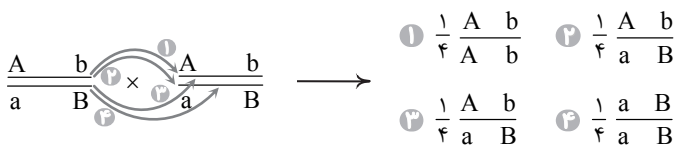
$$\frac{A}{a} \frac{b}{B} Dd \times \frac{A}{a} \frac{b}{B} Dd$$

Dd × Dd را جدا ضرب می‌کنیم چون پیوسته نیست و  $\frac{A}{a} \frac{b}{B} \times \frac{A}{a} \frac{b}{B}$  را هم جدا در هم ضرب می‌کنیم. در ضرب کسرهای پیوستگی دقت کنید که احتمال صورت یا مخرج، هر کدام با هر تعداد آلل  $\frac{1}{4}$  است، نه بیشتر نه کمتر.

می‌دانید که  $\frac{1}{4}$ ، احتمال شرکت یکی از کروموزوم‌های همتا در تشکیل یک گامت است.



۹ در ضرب کردن کسرهای پیوسته، صورت کسر اول را در صورت و مخرج کسر دوم ضرب کنید و بعد مخرج کسر اول را در صورت و مخرج کسر دوم ضرب کنید. در این حالت ۴ کسر تشکیل می‌شود، هر کدام با احتمال  $\frac{1}{4}$ . باید دقت کنید که شاید بعضی از آن‌ها ژنوتیپ یا فنوتیپ شبیه هم داشته باشند. اگر این‌طور بود آن‌ها را با هم جمع کنید (حتماً می‌دانید که در همه‌ی ضرب‌ها دارید یک گامت را با گامت دیگر لقاح می‌دهید و احتمال آن لقاح و تشکیل ژنوتیپ یا فنوتیپ حاصل از آن را حساب می‌کنید).



اگر دقت کنید، می‌بینید که ژنوتیپ و فنوتیپ مورد ۲ و ۳ عین هم هستند و احتمال آن‌ها را باید با هم جمع کنیم:

$$\frac{1}{4} AAbb, \frac{1}{4} AaBb, \frac{1}{4} aaBB$$



این طور نیست که نتوانیم ژنوتیپ ژن های پیوسته را به صورت معمولی بنویسیم.

$$\frac{A}{a} \frac{b}{B} \xrightarrow{\text{می توان نوشت}} AaBb$$

اما نوشتن ژن های پیوسته به صورت معمولی، خیلی وقت ها باعث می شود اشتباه کنیم. حالت معمولی را هم می توان برای آخر مسئله ها نوشت که از آن به بعد دیگر از پیوسته بودن آلل ها استفاده نمی کنیم.

**تست** از خودلقاحی گیاهی که دارای دو جفت آلل هتروزیگوس است که رابطه ی غالب و مغلوبی ندارند و از قانون جور شدن مستقل ژن ها پیروی نمی کنند، احتمالاً چه نسبتی از فنوتیپ های نسل اول شبیه والدین خواهند بود؟ (سئیش ۷۹)

$$\frac{3}{8} (4) \qquad \frac{1}{8} (3) \qquad \frac{1}{4} (2) \qquad \frac{1}{8} (1)$$

$$\frac{M}{N} \frac{R}{W} \times \frac{M}{N} \frac{R}{W} \rightarrow \frac{1}{4} \frac{M}{M} \frac{R}{R} + \frac{1}{4} \frac{N}{N} \frac{W}{W} + \frac{1}{2} \frac{M}{N} \frac{R}{W}$$

↓  
شبیه والدین

**پاسخ**

از قانون جور شدن مستقل ژن ها پیروی نمی کنند یعنی این که ژن ها پیوسته اند و با هم وارد یک گامت می شوند.

**تست** از خودلقاحی افرادی با ژنوتیپ DdCc که ژن های C و D به صورت پیوسته روی یک کروموزوم هستند، نسبت ژنوتیپی زاده های آن ها کدام یک می تواند باشد؟ (سئیش ۸۳)

$$9:3:3:1 (4) \qquad 1:2:1 (3) \qquad 1:1 (2) \qquad 3:1 (1)$$

$$\frac{D}{d} \frac{C}{c} \times \frac{D}{d} \frac{C}{c} \rightarrow \frac{1}{4} \frac{D}{D} \frac{C}{C} + \frac{1}{4} \frac{d}{d} \frac{c}{c} + \frac{1}{2} \frac{D}{d} \frac{C}{c}$$

**پاسخ**

خب، حالا چه طوری یک سری کسر را تبدیل به یک سری نسبت غیر کسری بکنیم؟ خیلی ساده است! همه ی کسرها را در مخرج مشترک کسرها ضرب کنید. در این سؤال مخرج مشترک ۴ است. با ضرب کسرها در ۴، کسرها ی  $\frac{1}{4}$ ،  $\frac{1}{4}$ ،  $\frac{1}{4}$  تبدیل می شوند به نسبت های ۱:۱:۲، که در گزینه ی (۳) می بینید.

**تست** در صورتی که ژن های A<sub>۱</sub> و B<sub>۱</sub> به ترتیب نسبت به ژن های A<sub>۲</sub> و B<sub>۲</sub> غلبه نداشته باشند و A<sub>۱</sub> و B<sub>۱</sub> نسبت به هم پیوسته باشند، از خودلقاحی هتروزیگوس ها، در F<sub>۱</sub> با چه احتمالی افراد خالص حاصل می شوند؟ (سئیش ۸۰)

$$\frac{1}{4} (4) \qquad \frac{1}{4} (3) \qquad \frac{1}{8} (2) \qquad \frac{1}{16} (1)$$

$$\frac{A_1}{A_2} \frac{B_1}{B_2} \times \frac{A_1}{A_2} \frac{B_1}{B_2} \rightarrow \frac{1}{4} \frac{A_1}{A_1} \frac{B_1}{B_1} + \frac{1}{4} \frac{A_2}{A_2} \frac{B_2}{B_2} + \frac{1}{2} \frac{A_1}{A_2} \frac{B_1}{B_2}$$

↓  
۱/۴ افراد F<sub>۱</sub> خالص هستند

**پاسخ**

**تست** اگر در آمیزش های مندل آلل های دو صفت پیوسته بودند، چه نسبتی از افراد F<sub>۲</sub> نسبت به P و F<sub>۱</sub> ژنوتیپ نوترکیب داشتند؟ (آلل های غالب روی یک کروموزوم قرار دارند.)

$$\frac{1}{4} (4) \qquad \frac{1}{4} (3) \qquad 1 (2) \qquad \text{صفر} (1)$$

$$P: \frac{A}{A} \frac{B}{B} \times \frac{a}{a} \frac{b}{b} \Rightarrow F_1: \frac{A}{a} \frac{B}{b} \times \frac{A}{a} \frac{B}{b} \Rightarrow F_2: \frac{1}{4} \frac{A}{A} \frac{B}{B} + \frac{1}{2} \frac{A}{a} \frac{B}{b} + \frac{1}{4} \frac{a}{a} \frac{b}{b}$$

(۱)                      (۲)                      (۳)

**پاسخ**

ژنوتیپ (۱) و (۳) را در P و ژنوتیپ (۲) را در F<sub>۱</sub> می بینیم. پس هیچ یک از زاده های F<sub>۲</sub> نوترکیب نیستند.



یادتان باشد در پیوستگی خیلی خیری از کلک رشتی نیست! باید صورت‌ها و مخرج‌ها را در هم ضرب کنید تا بفهمید دنیا دست کیست. در همه‌ی موارد این‌گونه است، مثل به‌دست آوردن انواع ژنوتیپ و فنوتیپ.

از خودلقاحی گیاهی با ژنوتیپ  $\frac{A}{a} \frac{b}{B}$ ، چند نوع فنوتیپ و چند نوع ژنوتیپ، به ترتیب (از راست به چپ) در فرزندان وجود دارد؟

(A بر a و B بر b غلبه‌ی کامل دارد) (سئوش ۸۰)

- ۳ - ۳ (۴)
۲ - ۳ (۳)
۴ - ۲ (۲)
۳ - ۲ (۱)

$$\frac{A}{a} \frac{b}{B} \times \frac{A}{a} \frac{b}{B} \rightarrow \frac{1}{4} \frac{A}{A} \frac{b}{b} + \frac{1}{4} \frac{a}{a} \frac{B}{B} + \frac{1}{2} \frac{A}{a} \frac{b}{B}$$

پاسخ

می‌بینید که از این آمیزش ۳ نوع ژنوتیپ و ۳ نوع فنوتیپ به وجود آمده است.

در آمیزش  $aaBbDdEeHh \times AaBbDdEeHh$ ، اگر A با B روی یک کروموزوم و D با e روی یک کروموزوم دیگر باشند، در

زاده‌ها چند نوع فنوتیپ و چند نوع ژنوتیپ دیده می‌شود؟

- ۴۸ - ۲۷ (۴)
۴۸ - ۱۸ (۳)
۳۶ - ۲۷ (۲)
۳۶ - ۱۸ (۱)

$$\frac{a}{a} \frac{B}{b} \frac{D}{d} \frac{e}{E} Hh \times \frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{D}{d} \frac{e}{E} Hh$$

پاسخ

پیوسته‌های متناظر را در هم و گسسته‌های متناظر را هم در هم ضرب می‌کنیم:

$$\frac{a}{a} \frac{B}{b} \times \frac{A}{a} \frac{B}{b} \rightarrow \frac{1}{4} AaBB + \frac{1}{4} aaBb + \frac{1}{4} AaBb + \frac{1}{4} aabb \rightarrow \text{نوع ۳ فنوتیپ و ۴ نوع ژنوتیپ}$$

$$\frac{D}{d} \frac{e}{E} \times \frac{D}{d} \frac{e}{E} \rightarrow \frac{1}{4} DDee + \frac{1}{4} DdEe + \frac{1}{4} ddEE \rightarrow \text{نوع ۳ فنوتیپ و ۳ نوع ژنوتیپ}$$

$$Hh \times Hh \rightarrow \frac{1}{4} HH + \frac{1}{2} Hh + \frac{1}{4} hh \rightarrow \text{نوع ۲ فنوتیپ و ۳ نوع ژنوتیپ}$$

انواع ژنوتیپ‌ها =  $4 \times 3 \times 3 = 36$

انواع فنوتیپ‌ها =  $2 \times 3 \times 3 = 18$

ممکن است خیلی از ویراستارهای کتاب و شاید شما از ما این غلط را بگیرید که در صورت سؤال گفته‌اید A با B پیوسته است، در حالی که در یک فرد a با B پیوسته می‌شود. ببینید بچه‌های گلم! فرض کنید در فرد aaBB، پیوستگی وجود داشته باشد. آیا اصلاً لازم است بگوئیم چی با چی پیوسته است؟ معلومه! نه. چون همه این پیوستگی را  $\frac{a}{a} \frac{B}{B}$  می‌نویسند و البته چاره‌ای ندارند، چون جور دیگری نمی‌توان نوشت. پس کلاً وقتی سؤال اشاره می‌کند که مثلاً A با B پیوسته است، حتماً منظورش در فردی با ژنوتیپ AABB که پیوستگی در آن وجود دارد، نیست. چون در آن حالت که چاره‌ای جز پیوسته بودن A با B نیست و حالت دیگری وجود ندارد. وقتی سؤال می‌گوید A با B پیوسته است، یعنی ژنوتیپ یک طرف یا دو طرف آمیزش طوری است که شما باید بدانید که A با B پیوسته است یا با b. مثلاً در فردی با ژنوتیپ AaBb، شما باید بدانید که A با B پیوسته است یا با b.

با توجه به سؤال قبل چه نسبتی از زاده‌ها در هر ۵ صفت غالب هستند؟

- $\frac{1}{32}$  (۴)
 $\frac{3}{64}$  (۳)
 $\frac{1}{64}$  (۲)
 $\frac{3}{16}$  (۱)

$$\frac{1}{2} AB \times \frac{1}{2} DE \times \frac{3}{4} H = \frac{3}{16}$$

پاسخ

با توجه به سؤال قبلی، احتمال تشکیل فراوان ترین ژنوتیپ چه قدر است؟

- $\frac{1}{16}$  (۴)
 $\frac{1}{8}$  (۳)
 $\frac{1}{32}$  (۲)
 $\frac{3}{32}$  (۱)



باید برای هر جفت کروموزوم فراوان ترین ژنوتیپ را حساب کنیم. در جفت کروموزوم اول تمام انواع ژنوتیپها با هم یکسان و برابر با  $\frac{1}{4}$  است. در جفت کروموزوم دوم احتمال فراوان ترین ژنوتیپ (DdEe)  $\frac{1}{4}$  است.

در جفت کروموزوم سوم احتمال فراوان ترین ژنوتیپ (Hh)  $\frac{1}{4}$  است.

$$\text{احتمال فراوان ترین ژنوتیپ} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$$

11 همین دیگه! باید بتوانید کسرهای پیوسته را سریع و درست در هم ضرب کنید. همه چیز مثل سابق است جز این که به جای 2 تا آل (مثلاً Aa) تا کروموزوم را باید به صورت یک واحد در نظر بگیرید. بعضی از پیوستگی فرار می کنند یا می ترسند، دلیل اصلی اش این است که زیاد تمرین نکرده اند و کسر پیوسته زیاد ضرب نکرده اند. از پیوستگی فرار نکنید؛ تمرین کنید. مسائل پیوستگی را هر جایی می شود مطرح کرد؛ نوترکیبی،  $F_2$ ، بیماری های انسان، صفات وابسته به X و ...

12 آخرین موضوعی که در پیوستگی به آن می پردازیم، انواع حالت های پیوستگی است. البته از این موضوع تا به حال تستی در کنکور نیامده است. اما ...

در آمیزش  $AaBb \times AaBb$ ، در صورت وجود پیوستگی، چه نسبتی از زاده ها فقط در یک صفت غالب هستند؟

$$\frac{1}{4} (1) \quad \frac{3}{4} (2) \quad \frac{1}{4} (3) \quad \frac{1}{4} (4)$$

اشتباه نکنید. این سؤال با سؤال های قبلی تفاوت اساسی دارد! اول سؤال را حل کن بین متوجه مشکل می شی!

مشکل این جاست که سؤال نگفته A با B پیوسته است یا با b. برای ژنوتیپ  $AaBb$ ، 2 نوع حالت پیوستگی وجود دارد:

$$\frac{A}{a} \frac{B}{b} \quad \text{یا} \quad \frac{A}{a} \frac{b}{B}$$

حالت دیگری نیست. نگوئید  $\frac{a}{A} \frac{b}{B}$ ، می شود مثل دست چپی. کلاً می دانید که معکوس کردن کسر در پیوستگی بی تأثیر است! یعنی  $\frac{a}{A} \frac{b}{B}$

همان  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$  است.

هر دو حالت را در نظر می گیریم:

$$1) \frac{A}{a} \frac{B}{b} \times \frac{A}{a} \frac{B}{b} \rightarrow \frac{1}{4} AABB + \frac{1}{4} AaBb + \frac{1}{4} aabb$$

$$2) \frac{A}{a} \frac{b}{B} \times \frac{A}{a} \frac{b}{B} \rightarrow \frac{1}{4} AA bb + \frac{1}{4} AaBb + \frac{1}{4} aaBB$$

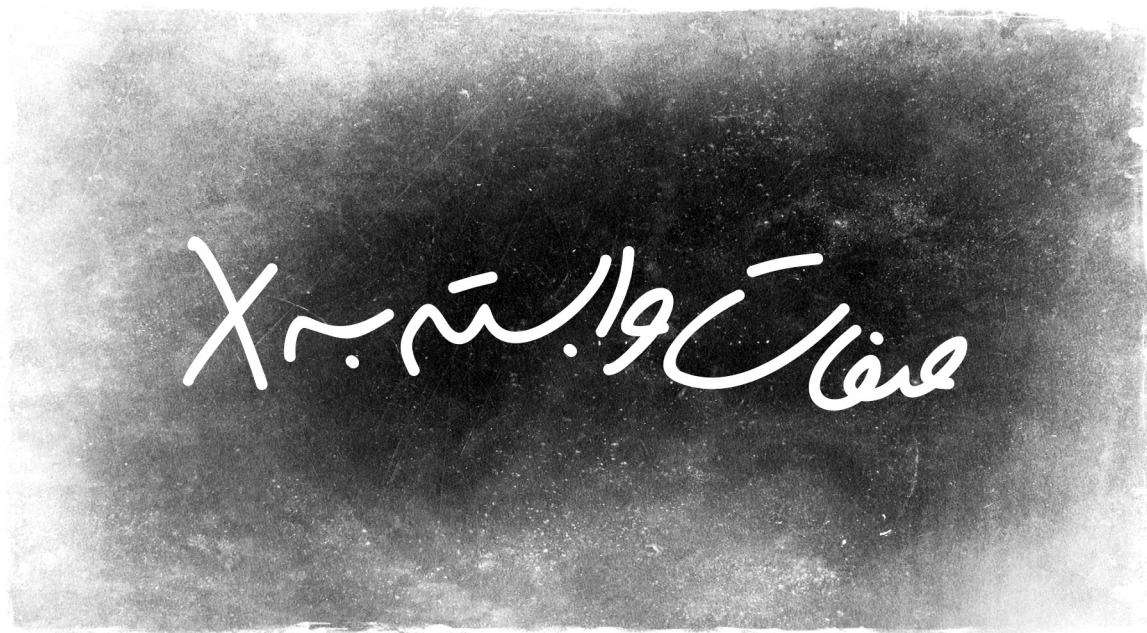
می بینید که نتیجه ی حالت اول و دوم خیلی با هم متفاوت است. پس باید حواستان به این حالت ها باشد.

در این سؤال در حالت اول هیچ زاده ای نیست که فقط در یک صفت غالب باشد و البته صفر هم در گزینه ها نیست. در حالت دوم،  $\frac{1}{4}$  زاده ها

( $AA bb + aaBB$ ) فقط در یک صفت غالب هستند. پس پاسخ سؤال می شود  $\frac{1}{4}$ . اگر شما حواستان به انواع حالت های پیوستگی نباشد، امکان دارد

فقط حالت اول را در نظر بگیرید و هی اعصابتان را فر کنبد که سؤالش غلطه!!

13 یک سری مسئله ی دیگر هم می توان از انواع حالت های پیوستگی طرح کرد که به نظر خیلی ریاضی و پرت می آید. پس ...!



1 قبلاً گفتیم که صفات توسط پروتئین‌ها ساخته می‌شوند و پروتئین‌ها توسط ژن‌ها. در جانوران؛ ژن‌ها یا روی کروموزوم‌های اتوزوم (غیرجنسی) هستند یا روی کروموزوم‌های جنسی. از آنجایی که معمولاً در جانوران در یکی از جنس‌ها (نر یا ماده) جفت کروموزوم جنسی‌ای وجود دارد که در آن کروموزوم‌ها با هم هم‌تا و همولوگ نیستند (مثل XY در مردها یا پروانه‌ها و پرنده‌های ماده)، روش حل مسائل ژنتیک برای صفات وابسته به X کمی با صفات اتوزومی فرق دارد. در این فصل سراغ صفات وابسته به X در انسان می‌رویم! و بعد که خوب صفات وابسته به X در



انسان برایتان جا افتاد! در فصل بعد (بیماری‌های انسان) مسائلی که در آن، هم صفات وابسته به X و هم صفات اتوزومی هست را حل می‌کنید. بعد که بیشتر مسلط شدید در ۲ فصل بعد (ژنتیک در جانوران) صفات وابسته به X در پروانه‌ها، پرنده‌ها و ملخ‌ها را بررسی می‌کنیم.

📖 در محدوده‌ی کتاب درسی صفات جنسی مساوی است با صفات وابسته به X. اما در عالم واقع! ژن‌هایی هم روی کروموزوم Y هستند که باعث ایجاد صفاتی وابسته به Y می‌شوند که این صفات هم جنسی هستند. اما کتاب درسی بحثی از آن‌ها نمی‌کند. (شاید هیچ‌کس در این چند سال تدریس و تألیف از من نپرسیده که آقا پس این کروموزوم Y،

پنجمه ۱۱۹ آغه ۱۱۹۱)



۲ گفتیم که صفات و بیماری‌ها دو دسته‌اند: اتوزوم و وابسته به X. هر کدام از آن‌ها هم دو دسته‌اند: غالب و مغلوب. در بیماری‌های اتوزوم مغلوب، برای بیمار شدن فرد (مرد یا زن) ۲ آلل لازم است. در اینجا آلل بیماری را با حرف کوچک نمایش می‌دهند (aa: بیمار / Aa و AA: سالم). در بیماری‌های اتوزوم غالب، داشتن یک آلل بیماری باعث بیمار شدن می‌شود. در صفات غالب آلل بیماری را با حرف بزرگ نمایش می‌دهند. (Hh و HH: بیمار / hh: سالم). دقت کنید که در بیماری‌های اتوزوم مغلوب، Aa ناقل بیماری است اما در بیماری‌های اتوزوم غالب ناقل نداریم.

۳ در بیماری‌های وابسته به X مغلوب تک‌زنی و دوآللی (مثل هموفیلی و کوررنگی) مرد که XY است، فقط با داشتن یک آلل بیماری بیمار می‌شود. در این‌جا هم آلل مغلوب (بیماری) را با حرف کوچک نمایش می‌دهند و آلل غالب (سلامتی) را با حرف بزرگ:

مرد سالم:  $X^HY$       مرد بیمار:  $X^hY$

در بیماری وابسته به X مغلوب در مردان، مرد ناقل نداریم. چون مردها فقط یک کروموزوم X دارند.

زنان چون دو کروموزوم X دارند، بیماری‌های وابسته به X در آن‌ها شبیه بیماری‌های اتوزوم است. زنان در بیماری‌های وابسته به X مغلوب با داشتن ۲ آلل بیماری بیمار می‌شوند و با داشتن یک آلل بیماری، ناقل (فرد ناقل ظاهراً سالم است و بیمار نیست).

زن سالم:  $X^HX^H$       زن ناقل (سالم):  $X^HX^h$       زن بیمار:  $X^hX^h$

۴ در بیماری وابسته به X غالب (تک‌زنی و دوآللی) که آلل بیماری را با حرف بزرگ نمایش می‌دهیم، مرد با داشتن یک آلل بیماری بیمار می‌شود و با نداشتنش سالم می‌ماند. زن هم با داشتن یک یا دو آلل بیماری بیمار می‌شود و با نداشتن آلل بیماری سالم است (B آلل بیماری، b آلل سلامتی).

مرد بیمار:  $X^BY$       زن بیمار:  $X^BX^B$

مرد سالم:  $X^bY$       زن بیمار:  $X^BX^b$

زن سالم:  $X^bX^b$

می‌بینید که در بیماری‌های غالب چه اتوزومی چه وابسته به X، اثری از فرد ناقل نیست.

۵ حالا فرض کنید صفت وابسته به X تک‌زنی دوآللی ما، بین دو آللش رابطه‌ی غالب و مغلوبی نباشد و آلل‌ها هم‌توان باشند. آن وقت چه اتفاقی می‌افتد؟ با هم ببینیم:

مردی با فنوتیپ قرمز:  $X^RY$       زنی با فنوتیپ سفید:  $X^WX^W$

مردی با فنوتیپ سفید:  $X^WY$       زنی با فنوتیپ قرمز:  $X^RX^R$

زنی با فنوتیپ صورتی (حد واسط):  $X^RX^W$

می‌بینید که در این حالت فقط در زن می‌توان فنوتیپ حد واسط را دید.

تست ..... دارای یک آلل برای بیماری وابسته به جنس ..... ناقل است.

(۱) مردی، غالب      (۲) مردی، مغلوب      (۳) زنی، غالب      (۴) زنی، مغلوب

۶ در بیماری‌های وابسته به X اصلاً مرد ناقل نداریم و مردهای بدبخت در هر دو الگوی وابسته به X غالب و مغلوب تنها با داشتن یک آلل بیمار می‌شوند و زود از دنیا می‌روند!! زنان با داشتن یک آلل بیماری وابسته به X غالب، بیمار می‌شوند و با داشتن یک آلل بیماری وابسته به X مغلوب، ناقل و سالم می‌شوند.

تمام چیزهایی که تا این‌جا گفتیم در مورد صفات وابسته به X تک‌زنی و دوآللی بود. در فصل انواع ژنوتیپ و فنوتیپ در مورد صفات وابسته به X چندآللی و حتی چندزنی صحبت کردیم. چند مسئله‌ی زیر را حل کنید ببینید چندچند هستید!!

تست برای یک صفت وابسته به X تک‌زنی ۴ آللی، چند نوع آمیزش ژنوتیپی بین زنان و مردان دیده می‌شود؟

(۱) ۱۶      (۲) ۴۰      (۳) ۱۰۰      (۴) ۲۴

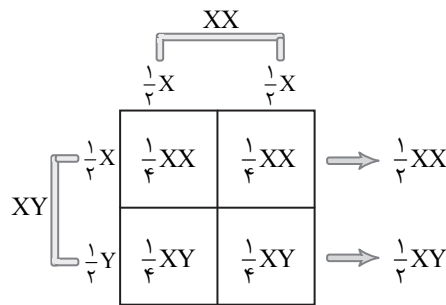
تست برای یک صفت وابسته به X تک‌زنی ۴ آللی که آلل  $a_1$  بر ۳ آلل دیگر و  $a_2$  بر  $a_3$  و  $a_4$  غالب است و  $a_4$  هم‌توان هستند، چند نوع آمیزش فنوتیپی بین زنان و مردان دیده می‌شود؟

(۱) ۲۰      (۲) ۲۵      (۳) ۱۶      (۴) ۱۲

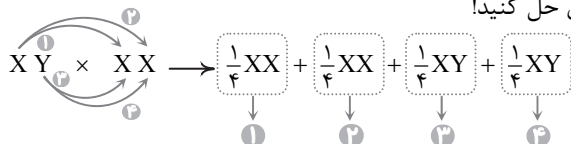




Y آمیزش XX × XY را در نظر بگیرید، این که مردها یک کروموزوم X دارند و در عوض X ای که ندارند Y دارند، در واقع باعث تمایز مسائل وابسته به X و اتوزومی از هم می‌شود. قواعد تولید گامت و آمیزش مثل قبل است.



این مربع پانتش بود. یک بار نوشتیم که دید کلی پیدا کنید، نوشتیم که این جوری حل کنید!



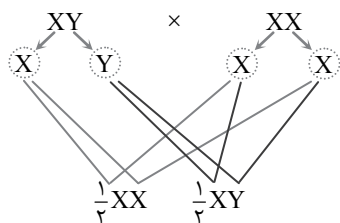
می‌دانید که در یک مرد XY، احتمال این که گامت کروموزوم X داشته باشد  $\frac{1}{2}$  و احتمال این که کروموزوم Y داشته باشد هم  $\frac{1}{2}$  است. همین‌طور در یک زن XX، احتمال ورود هر یک از کروموزوم‌های X به یک گامت  $\frac{1}{2}$  است و اگر یکی وارد گامت شود، دیگری وارد نمی‌شود؛ چون انسان‌ها 2n هستند و گامت‌های آن‌ها n.

XY بودن مرد و XX بودن زن امکان دارد یک اشتباه را به ذهن تداعی کند که در زن‌ها دو کروموزوم X عین هم هستند. در حالی که این‌طور نیست. در زن‌ها دو کروموزوم X هم‌تا هستند و موضوع ژن‌هایشان یکی است. یعنی اگر روی یکی، ژن مربوط به هموفیلی هست روی آن یکی هم هست. اما آلل‌های آن‌ها می‌تواند یکسان یا متفاوت باشد. مثلاً در مورد هموفیلی یکی از کروموزوم‌ها ممکن است h (هموفیلی) را داشته باشد و دیگری ژن H (ژن ضد هموفیلی) را.

در یک بیماری وابسته به X، انتقال آلل بیماری از ..... به ..... دیده نمی‌شود.

- (۱) پدر - دختر
- (۲) پدر - پسر
- (۳) مادر - پسر
- (۴) مادر - دختر

اگر قوب بیابید یا بیابید قوب! آمیزش XX × XY را بررسی کنید، تا نتیجه‌ی باحال و جالب می‌توانید از آن بگیرید:



به پسرها توجه کنید، از پدرشان Y گرفته‌اند و از مادرشان X پس:

نتیجه‌ی (۱): هیچ صفت وابسته به X ای از پدر به پسر نمی‌رسد. چون پدر به پسر فقط کروموزوم Y می‌دهد.

باز هم به پسرها توجه کنید.

نتیجه‌ی (۲): همه‌ی پسرها یک عدد کروموزوم X شان را فقط و همیشه از مادرشان دریافت می‌کنند.

مردی مبتلا به هموفیلی با زنی ناقل هموفیلی ازدواج می‌کنند. کدام‌یک در مورد فرزندان خانواده نادرست است؟

- (۱)  $\frac{1}{4}$  فرزندان مبتلا به هموفیلی می‌شوند.
- (۲)  $\frac{1}{4}$  فرزندان ناقل هموفیلی هستند.
- (۳)  $\frac{3}{4}$  فرزندان آلل هموفیلی دارند.
- (۴)  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها دختران مبتلا به هموفیلی هستند.

این شاید ساده‌ترین آمیزش وابسته به X باشد. مرد مبتلا به هموفیلی است ( $X^hY$ ) و زن ناقل آن ( $X^HX^h$ ).

$$X^HX^h \times X^hY \rightarrow \frac{1}{4}X^HY + \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^HX^h + \frac{1}{4}X^hX^h$$

اگر دقت کنید می‌بینید که  $\frac{1}{4}$  فرزندان هموفیلی دارند ( $\frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX^h$ )،  $\frac{1}{4}$  فرزندان ناقل هموفیلی هستند ( $\frac{1}{4}X^HX^h$ ) چون مردها اصلاً ناقل نمی‌شوند.  $\frac{3}{4}$  فرزندان آلل هموفیلی دارند ( $\frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX^h + \frac{1}{4}X^hX^h$ ). دقت کنید گفته آلل هموفیلی دارند، نگفته کدام ناقل است یا بیمار.

(یک آلل دارد یا ۲ تا).  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها، دختران مبتلا به هموفیلی هستند.



۹ سؤال قبل را در نظر بگیرید و سؤال‌های زیر را با هم مقایسه کنید و به آن‌ها پاسخ دهید:



▲ عارضه‌ای در هموفیل‌ها به نام همارتروز. این افراد مستعد خونریزی داخلی در مفاصل هستند

- a چه نسبتی از فرزندان، هموفیلی دارند؟
  - b چه نسبتی از پسران هموفیلی دارند؟
  - c چه نسبتی از فرزندان، پسران مبتلا به هموفیلی هستند؟
  - d چه نسبتی از مبتلایان به هموفیلی، پسر هستند؟
- حتماً قبل از خواندن پاسخ با صورت سؤال‌ها درگیر شوید.  
سعی کنید به خودتان صدمه بزنید!!

این جور سوال‌ها کم‌کم دارد در کنکور رایج می‌شود. اگر فرق آن‌ها را متوجه نشوید، حل کردنشان سخت می‌شود. برای این‌که یک دیدی پیدا کنید و کلاً بفهمید موضوع از چه قرار است فعلاً به محل ویرگول توجه کنید. **نگویید سر کنکور که ویرگول نمی‌دارن!** به اساس ویرگول (مایی که فکر می‌کنید ویرگول لازم است) تویه بفرمایید!

قبل از ویرگول می‌شود مخرج کسر (کل) و بعد از ویرگول می‌شود صورت کسر.

$$\frac{\text{فرزندانی که هموفیلی دارند}}{\text{فرزندان}} = \frac{\frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX^h}{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right)} = \frac{1}{2}$$

a چه نسبتی از فرزندان، هموفیلی دارند:

$$\frac{\text{پسرانی که هموفیلی دارند}}{\text{پسران}} = \frac{\frac{1}{4}X^hY}{\frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}XY} = \frac{1}{2}$$

b چه نسبتی از پسران، هموفیلی دارند؟

در احتمال همیشه و همیشه صورت کسر باید قسمتی از مخرج کسر باشد، یادتان نرود! مثلاً در مثال بالا نمی‌شود مخرج کسر پسران باشد و صورت کسر فرزندان مبتلا به هموفیلی. چرا؟ چون دختران مبتلا به هموفیلی در فرزندان مبتلا (صورت کسر) هستند اما در مخرج نیستند! که این غلط است.

$$\frac{\text{پسران مبتلا}}{\text{فرزندان}} = \frac{\frac{1}{4}X^hY}{\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = \frac{1}{4}$$

c چه نسبتی از فرزندان، پسران مبتلا به هموفیلی هستند؟

$$\frac{\text{پسران مبتلا به هموفیلی}}{\text{مبتلایان به هموفیلی}} = \frac{\frac{1}{4}X^hY}{\frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX^h} = \frac{1}{2}$$

d چه نسبتی از مبتلایان به هموفیلی، پسر هستند؟

دقت کنید این‌جا هم در صورت کسر نباید  $\frac{1}{4}$  احتمال پسر بودن را بگذارید، چون همه‌ی پسرها جزء مخرج (مبتلایان به هموفیلی) نیستند.

در یک خانواده، پدر و مادر هر دو سالم می‌باشند و یکی از فرزندان هموفیل است. جنسیت این فرزند چیست و علت آن کدام است؟

۱) پسر، مادر هوموزیگوس ۲) دختر، مادر هوموزیگوس ۳) پسر، مادر هتروزیگوس ۴) دختر، مادر هتروزیگوس (آزار ۷۸)

ایده‌ی این سؤال خیلی تکراری و نخنماست. در خانواده‌ای که پدر و مادر سالم هستند و فرزندی دارند که مبتلا به بیماری وابسته به X است: پدر که قطعاً  $X^HY$  و سالم است و مادر حتماً ناقل ( $X^HX^h$ ) و فرزند مبتلا پسر است.

$$X^hX^H \times X^HY \rightarrow \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^HY + \frac{1}{4}X^hX^H + \frac{1}{4}X^HX^H$$

با توجه به سؤال قبل کدام یک نادرست است؟

- ۱)  $\frac{1}{4}$  پسرها بیمار هستند. ۲)  $\frac{1}{4}$  دخترها ناقل هستند. ۳)  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل هموفیلی ندارند. ۴) هیچ دختر بیماری در زاده‌ها نیست.



پدر و مادری سالم دختری بیمار دارند. چه نسبتی از پسران این خانواده بیمار می‌شوند؟



۱) صفر  $\frac{1}{4}$  (۲)  $\frac{1}{3}$  (۳)  $\frac{1}{4}$  (۴) ۱

اول خوب فکر کنید و حل کنید بعد، از این‌جا به بعد را بخوانید! چند بار بگم!؟



اول این‌که تا آخر عمرتان یاد بگیرید که:

وقتی پدر و مادری سالم فرزندی بیمار دارند، بیماری هتماً مغلوب است.

دوم این‌که:

وقتی پدر و مادری سالم، دختری بیمار دارند (هتی اگر پسر بیمار داشته باشند) بیماری فقط اتوزوم مغلوب است و نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد.

سوم این‌که:

وقتی پدر و مادری سالم، پسری بیمار دارند (و دختر بیمار ندارند) بیماری هم می‌تواند وابسته به X مغلوب باشد و هم اتوزوم مغلوب.

حتماً باید این ۳ تا قانون را قشنگ! درک کرده باشید وگرنه نمی‌توانید از آن‌ها استفاده کنید. فرمولی حفظ کردن آن‌ها خیلی کارا نیست! **اثبات اولی:** وقتی پدر و مادری سالم، فرزندی بیمار دارند، یعنی فرزند آلل بیماری را از والدینش گرفته است. درست است؟ خب، پس ما والدینی داریم که یکی یا هر دوی آن‌ها آلل یک بیماری را دارند اما هر دو سالم هستند. وقتی فردی آلل یک بیماری را دارد و سالم است یعنی آلل آن بیماری مغلوب است دیگر بالام جان! بازم چرا؟ چون اگر غالب بود و زورش زیاد، همون تک‌آلی هم فرد را بیمار می‌کرد.

**اثبات دومی:** این خیلی نکته‌ی مهمی است. اول اتوزومش را بگوییم: پدر Aa است (ناقل و سالم) مادر هم Aa (ناقل و سالم). این پدر و مادر سالم می‌توانند با احتمال  $\frac{1}{4}$  فرزندی بیمار داشته باشند که این فرزند می‌تواند پسر یا دختر باشد. حالا چرا در بیماری وابسته به X مغلوب نمی‌شود پدر و مادر سالم، دختری بیمار داشته باشند؟

از طریق برهان خلف وارد می‌شویم! دختری که بیماری وابسته به X مغلوب دارد ژنوتیپش  $X^hX^h$  است. خب، باید یک  $X^h$  را از مادرش بگیرد و  $X^h$  دیگر را از پدرش. یعنی مادرش باید  $X^hX$  باشد (سالم ناقل) و پدرش باید  $X^hY$  (بیمار) باشد، در حالی که فرضمان این بود که پدر و مادر هر دو سالم هستند. خب بر این اساس یک نکته‌ی چهارمی هم اثبات کردیم:

در بیماری وابسته به X مغلوب، دختر بیمار هتماً پدری بیمار دارد.

پس دیدیم که در الگوی وابسته به X مغلوب تولید! هر دختر بیماری نیاز به یک پدر بیمار دارد. پس پس! نمی‌شود در بیماری وابسته به X و مغلوب از پدر و مادری سالم توقع دختری بیمار داشت.

**اثبات سومی:** سومی می‌گوید اگر پدر و مادری سالم، پسری بیمار داشته باشند، هر دو الگوی وابسته به X مغلوب و اتوزوم مغلوب در مورد این بیماری صدق می‌کند. البته نکته‌ی ظریفش این است که در این حالت در اتوزوم مغلوب احتمال پسر بیمار می‌شود  $\frac{1}{8}$  ولی در وابسته به X مغلوب می‌شود  $\frac{1}{4}$ .

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots \Rightarrow aa \text{ پسر} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

$$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4}X^hY + \dots$$

حالا چرا در بیماری وابسته به X مغلوب پدر و مادر سالم نتوانستند دختر بیمار تولید کنند اما می‌توانند پسر بیمار داشته باشند؟ پسر بیمار  $X^hY$  است و فقط یک آلل بیماری دارد (برخلاف دختر بیمار) و چون Y را از پدرش می‌گیرد و X اش را از مادرش، وقتی مادر  $X^hX$  باشد خودش سالم است و می‌تواند  $X^h$  اش را به پسرش بدهد و پدرش را دربیوردد!!

غیر از مواردی که در بالا اشاره کردیم حالت دیگری نیست که از پدر و مادر سالم فرزند بیمار متولد شود.



وجود یک پسر هموفیل در یک خانواده کدام یک را نشان نمی‌دهد؟



- (۱) پدر می‌تواند هموفیل باشد.  
 (۲) مادر می‌تواند هموفیل نباشد.  
 (۳) پدر می‌تواند آلل هموفیلی نداشته باشد.  
 (۴) مادر می‌تواند آلل هموفیلی نداشته باشد.

پسر Y اش را حتماً از پدرش می‌گیرد پس وقتی یک پسر  $X^hY$  باشد در مورد X پدرش نمی‌توان اظهار نظر کرد (می‌تواند هموفیل باشد یا نباشد، هر دو حالت ممکن است). پسر بیمار  $X^hX^h$  اش را حتماً از مادرش گرفته است. پس مادرش حتماً آلل هموفیلی دارد حالا یا  $X^hX$  (ناقل) است و یا  $X^hX^h$  (بیمار). پس با این اوصاف مادر نمی‌تواند آلل هموفیلی نداشته باشد و حتماً آلل هموفیلی دارد حداقل یکی. پس:

وقتی پسری بیماری وابسته به X مغلوب دارد مادرش حداقل یک آلل این بیماری را دارد (یا ناقل است یا بیمار)  
 وقتی دختری بیماری وابسته به X مغلوب دارد مادرش حداقل یک آلل بیماری را دارد (یا ناقل است یا بیمار).

آخ، دیدی چی شد داشت به نکته یاد می‌رفت: یادتون هست که گفتیم: در بیماری وابسته به X مغلوب یک دختر بیمار، حتماً پدری بیمار دارد. این رو یک جور دیگه هم یاد بگیرید:

اگر بایی دختری بیمار دیدید که پدرش سالم است یعنی آن بیماری قطعاً وابسته به X مغلوب نیست.

یک قانون دیگر این است که:

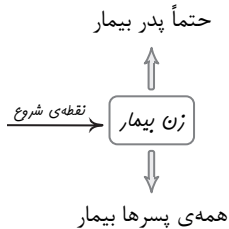
مادری که بیماری وابسته به X مغلوب دارد همه‌ی پسرهایش را بیمار می‌کند.

یا:

اگر بایی مادر بیماری دیدید که حتی یک پسر سالم دارد، برانید که الگوی آن بیماری قطعاً وابسته به X مغلوب نیست.

اثبات این آخرین نکته این است که مادر  $X^hX^h$  است و هر دو X اش آلوده‌اند. خب پسر بدیخت هم که از پدر Y می‌گیرد و حتماً از مادرش X و چون هر دو X مادر آلل بیماری دارد و داشتن تنها یک آلل برای بیمار شدن پسر! کافیه، این است که قانون فوق صحیح است.

جمع‌بندی ۲ قانون این‌طوره:  
 یک زن مبتلا به یک بیماری وابسته به X مغلوب رو تصور کن: حتماً باید هم پدرش بیمار باشد هم همه‌ی پسرش! (بیچاره‌ها!)  
 حواست باشه باید زن بیمار رو مبدأ قرار بدی نه پدر و پسرش رو.



یک سری مسئله هم می‌دهند که پدر عروس خانم یا آقا داماد یا مادرش این‌شکلی و اون‌شکلی! بچه‌ها چه‌جوری می‌شوند؟ این سوالات هم نکته‌ی خاصی ندارند. نکته‌ی همه‌ی آن‌ها این است که پدر به پسرهایش کروموزوم Y می‌دهد و به دخترهایش کروموزوم X و مادر با احتمال  $\frac{1}{2}$  یکی از کروموزوم‌های X اش را به هر یک از فرزندان‌ش خواهد داد.

اگر زنی سالم که پدرش هموفیل بوده است با مردی سالم ازدواج کند، احتمالاً چند درصد پسران آن‌ها هموفیل خواهند شد؟



- (۱) ۲۵ (۲) ۵۰ (۳) ۷۵ (۴) ۱۰۰ (سنهش ۱۸۳)

اگر زن سالمی پدر هموفیل داشته باشد یعنی این زن سالم، حتماً ناقل است. چرا که حتماً آلل هموفیلی را از پدرش می‌گیرد (پدر به دختر X می‌دهد و مرد یک کروموزوم X دارد). برای سهولت در حل مسئله فقط آلل‌های بیماری را می‌نویسیم.



$$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4}X^hX + \frac{1}{4}XX + \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}XY$$

$$\text{احتمال پسران بیمار} = \frac{\text{پسران هموفیل}}{\text{کل پسران}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}$$



اگر می‌گفت چند درصد فرزندان، پسران هموفیل می‌شوند جواب می‌شد  $\frac{1}{4}$ .  
 $\frac{\text{پسران هموفیل}}{\text{فرزندان}} = \frac{\frac{1}{4}}{1} = \frac{1}{4}$

**تست** مردی که مادرش مبتلا به هموفیلی است با زنی سالم که پدرش هموفیلی دارد ازدواج می‌کند. چه نسبتی از پسران این زوج هموفیل می‌شوند؟

- (۱) صفر (۲)  $\frac{1}{4}$  (۳)  $\frac{1}{2}$  (۴)  $\frac{3}{4}$

**پاسخ** مردی که مادرش مبتلا به هموفیلی است حتماً هموفیل می‌شود چرا که X اش را حتماً از مادر می‌گیرد که آن هم در این سؤال هموفیلی دارد. زن سالمی که پدرش هموفیل باشد، حتماً ناقل هموفیلی خواهد بود، چرا که زن از پدرش X می‌گیرد که X پدر در این جا آل هموفیلی دارد.

$$X^hY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4}X^hX^h + \frac{1}{4}X^hX + \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}XY$$

↓  
کل پسرها

$$\frac{\text{پسرهای هموفیل}}{\text{کل پسرها}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

کل پسرها را در نظر بگیرید، چه نسبتی از آنها هموفیلی دارند؟ نصف آنها.

**نکته** تا حالا صحبت از وابسته به X مغلوب بود. از این جا به بعد بحث وابسته به X غالب است.

**تست** مردی مبتلا به بیماری وابسته به X غالب با زنی سالم ازدواج می‌کند. .... درصد دختران این زوج و ..... درصد پسران آنها بیمار می‌شوند.

- (۱) صفر - ۵۰ (۲) ۵۰ - صفر (۳) ۱۰۰ - صفر (۴) صفر - ۱۰۰

**پاسخ** آلل بیماری غالب را با حرف بزرگ نمایش می‌دهیم.  
 $X^BY \times X^bX^b \rightarrow \frac{1}{2}X^bY + \frac{1}{2}X^BX^b$

۵۰ درصد زاده‌ها که شامل ۱۰۰ درصد دخترها می‌شوند و صفر درصد پسرها، بیمار هستند. می‌دانید که در بیماری‌های غالب دخترها با داشتن یک آلل بیماری، بیمار می‌شوند.

**تست** مردی مبتلا به یک بیماری وابسته به X غالب با زنی که مادرش نسبت به این بیماری سالم و پدرش مبتلا بوده است ازدواج می‌کند. چند درصد فرزندان خانواده بیمار هستند؟

- (۱) ۲۵ (۲) ۵۰ (۳) ۷۵ (۴) ۱۰۰

**پاسخ** آقا مرده!  $X^BY$  است. وقتی پدر زن مبتلاست یعنی حتماً آللش را به دخترش داده است. چرا که پدر  $X^BY$  است و به دخترش حتماً  $X^B$  را می‌دهد نه Y را و دختر حتماً بیمار است. حالا دختر  $X^BX^B$  است یا  $X^BX^b$ ؟ چون مادر دختر سالم است ( $X^bX^b$ ) پس نمی‌توانسته آلل بیماری را به دختر بدهد. پس دختر حتماً  $X^BX^b$  است.

$$X^BX^b \times X^BY \rightarrow \frac{1}{4}X^BX^B + \frac{1}{4}X^BX^b + \frac{1}{4}X^BY + \frac{1}{4}X^bY$$

$\frac{3}{4}$  فرزندان خانواده  $X^B$  دارند و بیمارند.

یک نکته‌ی مهم که از این سؤال یاد گرفتیم این است که:

در بیماری‌های وابسته به X غالب، پدر بیمار، همه‌ی دخترهایش را بیمار می‌کند.

چرا؟ چون همه‌ی دخترها یکی از X هایشان را از پدرشان می‌گیرند و X پدر، آلوده به آلل بیماری غالب است. نکته‌ی بالا را یک جور دیگر هم می‌توان گفت؛ یاد بگیرید به دردتان می‌خورد:

اگر بایی! پدري بیمار، دفتري سالم داشت، آن بیماری هیچ وقت وابسته به X غالب نیست!

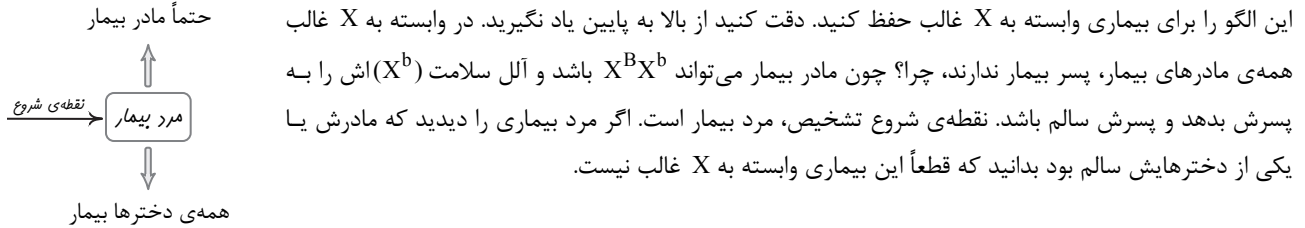
تازه یک چیز دیگه!

اگر بایی، مردی بیمار بود، ولی مادرش سالم بود یعنی آن بیماری قطعاً هیچ وقت وابسته به X غالب نیست.



چرا؟ چون مرد بیمار  $X^BY$  است و حتماً  $X^B$  اش را از مادرش می‌گیرد، چون از پدرش Y گرفته است. پس مادرش حتماً یک  $X^B$  دارد و داشتن یک آلل بیماری غالب برای بیمار شدن مادر کافیست.  
اگر دوتا نکته‌ی بالا را کنار هم بگذارید به یک نتیجه‌ی جالب می‌رسید:

در بیماری وابسته به X غالب مرد بیمار هم حتماً مادرش بیمار است و هم حتماً همه‌ی دخترهایش را بیمار می‌کند.



۱۳ یک نکته در وابسته به X مغلوب گفتیم شبیه این:

در بیماری وابسته به X مغلوب یک زن بیمار حتماً پدر و همه‌ی پسرهایش بیمار هستند و حالا در بیماری وابسته به X غالب یک مرد بیمار حتماً مادر و همه‌ی دخترهایش بیمار هستند.  
می‌خواستم یک نکته‌ی خیلی اساسی در کاربرد این دو تا قانون به شما بگویم:

ما همیشه از نقیض این دو تا قانون استفاده می‌کنیم.

یعنی هر جا اگر زن بیماری بود که پدر و همه‌ی پسرهایش بیمار بودند نمی‌گوییم آن بیماری فقط وابسته به X مغلوب است! چرا؟ چون در بیماری اتوزوم مغلوب هم می‌تواند (نه همیشه) این اتفاق بیفتد (البته در وابسته به X مغلوب همیشه این‌طور است). اما نقیض این قانون همیشه درست است. یعنی این که هر جا زن بیماری بود که پدر یا یک پسر سالم داشت، یعنی فقط و به هیچ‌وجه الگوی آن بیماری وابسته به X مغلوب نیست در حالی که ۳ الگوی دیگر ممکن است در آن حالت صدق کند.

اگر مرد بیماری بود که مادر و همه‌ی دخترهایش بیمار بودند، نمی‌توانیم بگوییم آن بیماری فقط وابسته به X غالب است! چرا؟ چون در بیماری اتوزوم غالب هم ممکن است این اتفاق بیفتد (هر چند در وابسته به X غالب همیشه می‌افتد) اما نقیض این قانون همیشه درست است. یعنی هر جا مرد بیماری دیدید که مادر یا یکی از دخترهایش سالم بودند، به هیچ‌وجه الگوی آن بیماری وابسته به X غالب نیست، هر چند ۳ الگوی دیگر ممکن است صادق باشد.

الگوی **مادر بیمار**  $\Rightarrow$  **مرد بیمار**  $\Leftarrow$  **همه‌ی دخترها بیمار** همیشه در وابسته به X غالب صادق است و گاهی هم در اتوزوم غالب رخ می‌دهد. پس باید از نقیض آن استفاده کنیم: اگر مرد بیماری، مادر یا دختر سالم داشت، الگوی بیماری نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد در حالی که می‌تواند اتوزوم غالب باشد (باید برای رد یا تأیید اتوزوم غالب اطلاعات دیگری پیدا کرد).

و:

الگوی **پدر بیمار**  $\Rightarrow$  **زن بیمار**  $\Leftarrow$  **همه‌ی پسرها بیمار** همیشه در وابسته به X مغلوب صادق است و گاهی هم در اتوزوم مغلوب رخ می‌دهد. پس باید از نقیض آن استفاده کنیم: اگر زنی بیمار پدر یا پسری سالم داشت الگوی بیماری نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد در حالی که می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد (باید یک چیزهای دیگری پیدا کنیم بینیم قطعاً اتوزوم مغلوب هست یا نه).

این از همون ظرائف و دقائق است که خدمتتان عرض می‌کردم! خیلی نمی‌شود یک نکته گفت و رفت و شما هم دلتان را به آن نکته خوش کنید.

اگر پدر و مادر بیماری دختری سالم داشته باشند، الگوی بیماری ..... است و اگر پدر و مادر بیماری پسر سالم داشته باشند، الگوی بیماری ..... است.

- ۱) فقط اتوزوم غالب - اتوزومی یا وابسته به X غالب
- ۲) اتوزومی یا وابسته به X غالب - فقط وابسته به X غالب
- ۳) اتوزومی یا وابسته به X غالب - اتوزومی یا وابسته به X غالب
- ۴) فقط اتوزوم غالب - فقط وابسته به X غالب

۱۲ نکته‌ی مهمی که باید یاد بگیرید این است که:

هر وقت پدر و مادری بیمار، حداقل یک فرزند سالم داشتند تماماً و فقط بیماری غالب است.

چرا؟ فرض کن آلل بیماری B باشد (حرف بزرگ). پدر Bb است و مادر هم Bb (هر دو بیمار هستند). این‌ها می‌توانند فرزندی bb (سالم) داشته باشند. هیچ‌وقت فقط در یک بیماری مغلوب امکان ندارد که از پدر و مادری که هر دو بیمار هستند حتی یک فرزند سالم متولد شود.

هر وقت پدر و مادر بیماری، حداقل یک دختر سالم داشتند (سالم یا بیمار بودن بقیه‌ی بچه‌ها مهم نیست)؛ یعنی الگوی آن بیماری فقط و تماماً اتوزوم غالب است و نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد.

$$X^{BY} \times X^{BX} \rightarrow \frac{1}{4} X^B X^B + \frac{1}{4} X^B X + \frac{1}{4} X^B Y + \frac{1}{4} XY$$

همه‌ی دخترها بیمار
پسر سالم

هیچ‌وقت نمی‌شود که در یک الگوی وابسته به X غالب، پدر و مادر بیمار بتوانند دختر سالم داشته باشند. خیلی مهم! نگویید نصف پسرها بیمار هستند. بعله درست است. ما این‌جا کاری به پسرها و دخترهای بیمار نداریم. ما داریم در مورد نکات به دربخور و قابل تعمیم و استفاده صحبت می‌کنیم. مثلاً در خانواده‌ای مادر بیمار است و همه‌ی فرزندان هم بیمار هستند! خب! الگوی این بیماری چیست؟ هر ۴ الگوی اتوزومی غالب و مغلوب و وابسته به X غالب و مغلوب ممکن است! با این مثال می‌خواهم بگویم بعضی از حالت‌ها که ما فکر می‌کنیم می‌توان از آن‌ها در تشخیص الگوی بیماری استفاده کنیم، اصلاً به درد نمی‌خورند. چرا؟ چون هر ۴ الگو یا ۳ الگو در این حالت‌ها ممکن می‌شوند. در نکته‌ی بالا نبود دختر سالم مهم است! نه وجود پسر بیمار یا دختر بیمار!

هر وقت پدر و مادری بیمار، حداقل یک پسر سالم داشتند (سالم یا بیمار بودن بقیه‌ی بچه‌ها مهم نیست) یعنی الگوی آن بیماری می‌تواند اتوزوم یا وابسته به X غالب باشد.

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{3}{4} B + \frac{1}{4} b$$

بیمار
سالم

در اتوزوم غالب، پدر و مادر بیمار اگر هر دو هتروزیگوس باشند با احتمال  $\frac{1}{4}$  می‌توانند فرزند سالم تولید کنند. احتمال پسر یا دختر سالم در این حالت می‌شود  $\frac{1}{8}$ . در وابسته به X غالب هم قبلاً دیدیم که پدر و مادر بیمار فقط در یک حالت می‌توانند با احتمال  $\frac{1}{4}$  پسر سالم داشته باشند.

$$X^{B^h} X^{b^h} \times X^{BY} \rightarrow \frac{1}{4} X^{B^h} X^{b^h} + \frac{1}{4} X^{B^h} X^B + \frac{1}{4} X^{B^h} Y + \frac{1}{4} X^{b^h} Y$$

بیمار
پسر سالم

۱۵ آخرین چیزی که می‌خواهیم در موردش صحبت کنیم که خیلی هم چیز سختی نیست اما ظاهر سختی دارد! پیوستگی روی کروموزوم X است.

دختری یک آلل برای بیماری وابسته به X غالب دارد و مبتلا به یک بیماری وابسته به X مغلوب است. کدام یک از جملات زیر قطعاً درست است؟

- (۱) مادر وی حتماً بیماری مغلوب دارد.
- (۲) پدر وی حتماً بیماری مغلوب دارد.
- (۳) مادر وی حتماً بیماری غالب دارد.
- (۴) پدر وی حتماً بیماری غالب دارد.

خوب باید بتوانید تجزیه تحلیل کنید. دختر در مورد بیماری وابسته به X مغلوب،  $X^{h^h} X^{h^h}$  است (دو آلل بیماری دارد) و در مورد بیماری وابسته به X غالب،  $X^{B^h} X^{b^h}$  است (یک آلل بیماری دارد). باید دو بیماری را با هم در نظر بگیریم. چون این دو ژن نسبت به هم پیوسته‌اند (چرا که آلل‌های هر دو روی کروموزوم‌های X قرار می‌گیرد):

دختر یکی از Xها را از پدرش گرفته است و X دیگر را از مادرش. اما ما نمی‌دانیم کدام X را از پدر گرفته و کدام را از مادر. اما چیزی را که می‌توان مطمئن بود این است که پدر این دختر یا  $X^{B^h} Y$  است (مبتلا به هر دو بیماری) یا  $X^{b^h} Y$  (مبتلا به هموفیلی). پس پدر این دختر در هر دو حالت حتماً هموفیلی دارد (صد درصد). اما می‌تواند آلل  $X^{b^h}$  را داشته باشد (سالم باشد) یا  $X^{B^h}$  را (بیمار باشد). مادر دختر حتماً یک آلل  $X^{h^h}$  برای بیماری مغلوب دارد. در مورد بیماری غالب هم نمی‌توانیم مطمئن باشیم که مادر چگونه خواهد بود، می‌تواند  $X^{B^h} X^{B^h}$  یا  $X^{B^h} X^{b^h}$  یا  $X^{b^h} X^{b^h}$  باشد.



**تست** زنی بر روی یک کروموزوم X خود دارای آلل بیماری مغلوب و روی کروموزوم X دیگر خود دارای یک آلل برای یک بیماری غالب است. این زن با مردی سالم ازدواج می‌کند. در مورد فرزندان آن‌ها کدام یک نادرست است؟

- (۱)  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها سالم هستند.
- (۲)  $\frac{1}{4}$  پسران آن‌ها بیمار هستند.
- (۳)  $\frac{1}{4}$  دختران آن‌ها بیمار هستند.
- (۴) هیچ فرزندی مبتلا به هر دو بیماری نخواهد بود.

**پاسخ** فرض می‌کنیم h آلل بیماری برای بیماری مغلوب باشد (که در این حالت H آلل سالم آن است) و فرض می‌کنیم D آلل بیماری برای بیماری غالب باشد (که در این صورت d آلل سالم آن است). وقتی زنی روی یک کروموزوم X اش دارای یک آلل برای بیماری مغلوب است یعنی ژنوتیپ آن کروموزوم  $X^{hd}$  است. یعنی آلل بیماری مغلوب را دارد (h) اما آلل بیماری غالب را ندارد (D). همین‌طور وقتی می‌گوییم روی کروموزوم دیگرش آلل بیماری غالب را دارد یعنی ژنوتیپ این کروموزوم می‌شود  $X^{HD}$ . ژنوتیپ مرد هم که  $X^{HD}Y$  است. چون نه برای بیماری غالب آلل دارد و نه برای بیماری مغلوب. برای سهولت در حل مسئله آلل‌های سالم را نمی‌نویسیم.

$$X^{hD}X^{HD} \times XY \rightarrow \frac{1}{4}X^{hX} + \frac{1}{4}X^{DX} + \frac{1}{4}X^{hY} + \frac{1}{4}X^{DY}$$

$\downarrow$  دختر سالم و ناقل      $\downarrow$  دختر غالب و بیمار      $\downarrow$  پسر مغلوب و بیمار      $\downarrow$  پسر غالب و بیمار

گزینه‌ی (۱):  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها سالم هستند که شامل دختران ناقل می‌شوند.

گزینه‌ی (۲): همه‌ی پسرهای آن‌ها بیمار هستند.  $\frac{1}{4}$  بیماری غالب دارند و  $\frac{1}{4}$  بیماری مغلوب.

گزینه‌ی (۳):  $\frac{1}{4}$  دختران آن‌ها بیماری غالب دارند.

گزینه‌ی (۴): این هم درست است. هیچ فرزندی نداریم که هر دو بیماری را داشته باشد.



**تست** از ازدواج زن ناقل دیستروفی عضلانی دوشن (بیماری مغلوب) و مبتلا به هموفیلی با مردی سالم، کدام یک نادرست است؟

- (۱) همه‌ی پسران آن‌ها حداقل یک بیماری دارند.
- (۲)  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها بیمار هستند.
- (۳)  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها هر دو بیماری را دارند.
- (۴)  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها، دختران بیمار هستند.

**پاسخ** d و h را آلل‌های بیماری دیستروفی و هموفیلی فرض می‌کنیم (D و H آلل‌های سالم نسبت به این بیماری هستند). برای سهولت در حل مسئله آلل‌های سالم را نمی‌آوریم.

$$X^{dh}X^{hH} \times XY \rightarrow \frac{1}{4}X^{dhX} + \frac{1}{4}X^{hX} + \frac{1}{4}X^{dhY} + \frac{1}{4}X^{hY}$$

$\downarrow$  دختر سالم      $\downarrow$  دختر سالم      $\downarrow$  پسر هموفیل پسر با دو بیماری      $\downarrow$  پسر هموفیل

گزینه‌ی (۱): همه‌ی پسران آن‌ها بیمار هستند حالا یا یک بیماری دارند و یا دوتا.

گزینه‌ی (۲): چون همه‌ی دخترها سالم هستند و همه‌ی پسرها بیمار، این یعنی نصف فرزندان آن‌ها بیمار هستند.

گزینه‌ی (۳):  $\frac{1}{4}$  فرزندان آن‌ها که همگی هم پسرند به هر دو بیماری مبتلا هستند.

گزینه‌ی (۴): همه‌ی دخترها سالم هستند.



**تست** از ازدواج زنی سالم با مردی مبتلا به هموفیلی، یک پسر به هموفیلی و یک پسر به دیستروفی عضلانی دوشن مبتلا شده است. در این خانواده چه نسبتی از فرزندان بیمار می‌شوند؟

- (۱)  $\frac{1}{4}$
- (۲)  $\frac{1}{4}$
- (۳)  $\frac{3}{4}$
- (۴) ۱

نکته‌ی خیلی مهم این است که زنی که ناقل دو بیماری وابسته به X است دو جور می‌تواند ناقل آن‌ها باشد:

$X^{dh}X^{hH}$  یا  $X^{dH}X^{hH}$

ب     الف







یعنی در یک حالت هر دو آلل بیماری روی یک کروموزوم X پیوسته‌اند و در حالت دیگر هر کدام از آلل‌ها روی یک کروموزوم X هستند. پسرها XY هستند و کروموزوم X شان را از مادرشان می‌گیرند. در حالت (الف) همه‌ی پسرها بیمار می‌شوند، نصف آن‌ها هموفیلی می‌گیرند و نصف دیگر دیستروفی عضلانی دوشن و هیچ پسری نیست که مبتلا به هر دو بیماری باشد. در حالت (ب) نصف پسرها سالم هستند و نصف دیگر مبتلا به هر دو بیماری خواهند شد و هیچ پسری نیست که فقط یک بیماری داشته باشد.

در این سؤال یک پسر هموفیلی دارد و یکی دیگر دیستروفی، پس ژنوتیپ مادر  $X^dX^h$  است.

$$X^{hY} \times X^dX^h \rightarrow \underbrace{\frac{1}{4}X^hX^d}_{\text{سالم}} + \underbrace{\frac{1}{4}X^hX^h + \frac{1}{4}X^dY + \frac{1}{4}X^hY}_{\text{زاده‌ها بیمار هستند}}$$

زنی سالم با مردی مبتلا به هموفیلی و کوررنگی ازدواج می‌کند. فرزند اول آن‌ها دختری مبتلا به هر دو بیماری است. چه قدر احتمال دارد فرزند دوم آن‌ها پسری سالم باشد؟

$\frac{1}{8}$  (۴)

$\frac{1}{4}$  (۳)

$\frac{1}{2}$  (۲)

صفر (۱)



همیشه هم نباید بروید سراغ پسرها! دختر بیمار خانواده  $X^{hc}X^{hc}$  است چرا که هر دو بیماری را دارد. پس مادر سالم  $X^{hc}X$  است و پدر بیمار هم که  $X^{hc}Y$  است. (دقت کنید که مادر نمی‌تواند  $X^hX^c$  باشد. چرا که در این حالت دخترش فقط یک بیماری را می‌گرفته است! نه هر دو تا را!)

$$X^{hc}Y \times X^{hc}X \rightarrow \frac{1}{4}X^{hc}X^{hc} + \frac{1}{4}X^{hc}X + \frac{1}{4}X^{hc}Y + \underbrace{\frac{1}{4}XY}_{\text{پسر سالم}}$$

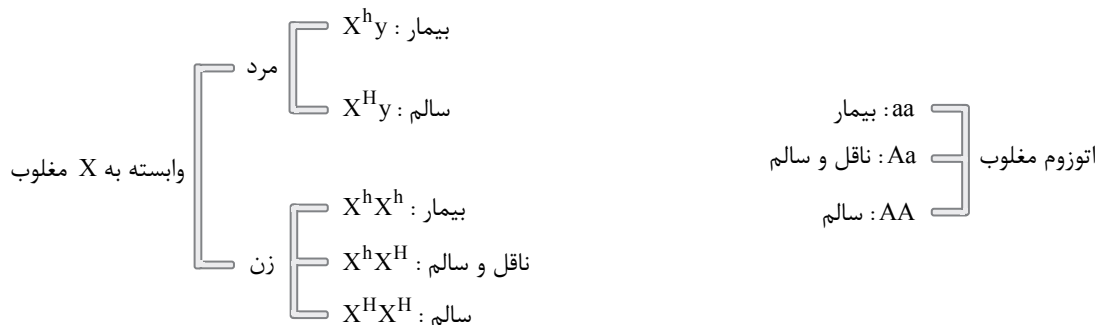
احتمال پسر سالم در این خانواده  $\frac{1}{4}$  است.



۱ چیزهایی که در این فصل می‌خوانیم خیلی‌ها را قبلاً گفته‌ایم اما به نظر، بعضی از آن‌ها آن قدر مهم‌اند که باید این‌جا هم آن‌ها را گفت. گفتیم که در انسان ۴ نوع بیماری تک‌ژنی می‌توانیم داشته باشیم:

- ۱ بیماری اتوزوم مغلوب: کم‌خونی داسی‌شکل، زالی، تالاسمی، سیستیک فیبروز
- ۲ بیماری وابسته به X مغلوب: کوررنگی، هموفیلی، دیستروفی عضلانی دوشن
- ۳ بیماری اتوزوم غالب: هانتینگتون
- ۴ بیماری وابسته به X غالب: مثالی در کتاب‌های درسی موجود نیست!

۲ معمولاً به صورت قراردادی آلل بیماری‌های مغلوب را با حرف کوچک نمایش می‌دهیم. اگر آلل بیماری اتوزوم مغلوب a باشد: aa بیمار است، Aa ناقل و سالم و AA سالم. یادتان باشد که فقط در بیماری‌های مغلوب است که ما می‌توانیم فرد ناقل داشته باشیم. Aa در اتوزومی و  $X^H X^h$  در وابسته به X مغلوب، ناقل هستند. نکته‌ی دیگر این است که فرد بیمار در بیماری اتوزومی مغلوب، ۲ آلل بیماری دارد. چرا؟ فرد Aa بیمار نمی‌شود چون آلل سالم و غالب A، اثر منفی آلل مغلوب و بیمار a را می‌پوشاند. آلل بیماری در بیماری‌های مغلوب (a) می‌تواند خاموش باشد و در واقع باعث ساخته نشدن یک پروتئین ضروری و ایجاد بیماری شود. یا این‌که این آلل می‌تواند باعث ساخت یک پروتئین غیرطبیعی شود. مثلاً در بیماری تالاسمی آلل بیماری که مغلوب است، باعث ساخته شدن یک پروتئین غیرطبیعی می‌شود اما در بیماری هموفیلی، آلل بیماری که مغلوب است باعث ساخته نشدن یک فاکتور انعقادی می‌شود که در نتیجه‌ی فقدان این فاکتور، خون مریض بند نمی‌آید.





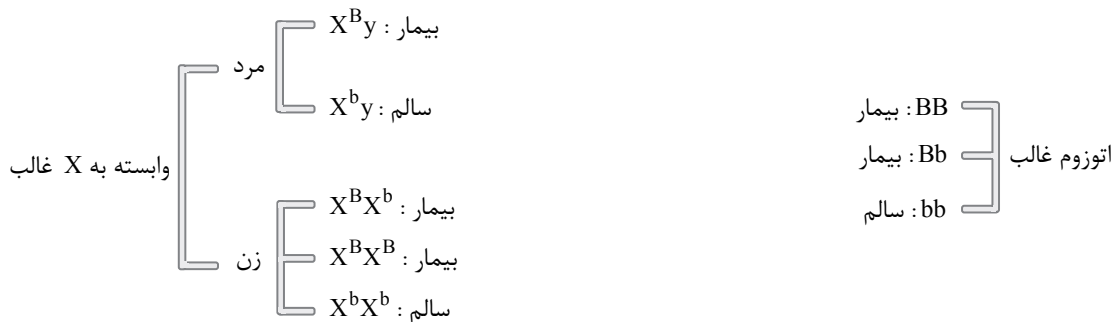
دقت کنید در بیماری‌های وابسته به X مغلوب مرد ناقل نداریم. چون مردها یک کروموزوم X دارند و کروموزوم X دیگری وجود ندارد که در مرد  $X^hY$  اثر آلل بیماری را بپوشاند و نگذارد که مرد بیمار شود.

اگر فردی ژنوتیپ aa داشته باشد، مادر این فرد می‌تواند ژنوتیپ‌های ..... داشته باشد.

- (۱) AA یا Aa      (۲) aa یا Aa      (۳) AA یا aa      (۴) aa یا Aa یا AA

۳ خودتان حتماً بهتر از من می‌دانید که هر فرد ۲n که برای هر صفت تک‌ژنی، ۲ آلل دارد، یکی از آلل‌هایش را از پدرش می‌گیرد و آلل دیگر را از مادرش. پس فردی با ژنوتیپ aa، هیچ‌وقت نمی‌شود که پدر و مادرش ژنوتیپ AA داشته باشند. چرا؟ چون AA، a ندارد! یا  $X^hX^h$  را در نظر بگیرید. این خانم حتماً پدرش  $X^hY$  (بیمار) بوده است و حتماً همه‌ی پسرهایش  $X^hY$  خواهند شد.

۴ در بیماری‌های غالب، وجود یک آلل بیماری باعث ایجاد بیماری در فرد می‌شود. چه در اتوزومی غالب و چه در وابسته به X غالب. در بیماری‌های غالب آلل بیماری را با حرف بزرگ نمایش می‌دهند.



۵ دقت کنید در بیماری‌های غالب اصلاً فرد ناقل نداریم. فرد BB را در نظر بگیرید. این فرد حتماً هم پدر و هم مادرش بیمار بوده‌اند (چون هر دو حداقل یک آلل B دارند) و همه‌ی فرزندان هم بیمار می‌شوند. همین‌طور  $X^BX^B$  حتماً پدر و مادرش هر دو بیمار هستند، ضمناً همه‌ی فرزندان هم بیمار می‌شوند!  $X^BY$  را در نظر بگیرید. این مرد بیمار حتماً مادرش بیمار است (چون حداقل یک  $X^B$  داشته است) و حتماً همه‌ی دخترهای این مرد هم بیمار می‌شوند. چرا؟ چون پدر به همه‌ی دخترهایش تنها کروموزوم X اش را هدیه می‌دهد. دقت کنید در بیماری‌های غالب، فرد بیمار حتماً پدر یا مادرش یا هر دو بیمار هستند.

۶ جمع‌بندی بیماری‌های اتوزومی و وابسته به X در انسان این‌گونه است:

- a اگر پدر و مادری سالم فرزندی بیمار داشته باشند، حتماً آن بیماری مغلوب است و نمی‌تواند غالب باشد. چرا؟ چون در این حالت پدر و مادر هر دو سالم و ناقل هستند و هر کدام یک آلل بیماری به فرزندان‌شان داده‌اند و آن‌ها را بیمار کرده‌اند. در بیماری‌های غالب حداقل یکی از والدین بیمار است.
- b اگر پدر و مادری سالم دختری بیمار داشته باشند، الگوی آن بیماری فقط اتوزوم مغلوب است. چرا؟ چون در وابسته به X مغلوب، دختر بیمار ( $X^hX^h$ ) حتماً پدرش بیمار ( $X^hY$ ) خواهد بود که با شرط اولیه‌ی سالم بودن پدر و مادر در تضاد است.
- c اگر پدر و مادری سالم پسر بیمار داشته باشند، الگوی بیماری می‌تواند اتوزوم مغلوب یا وابسته به X مغلوب باشد (یک‌کنیز می‌بینید که ممکن است!).
- d اگر زنی مبتلا به بیماری وابسته به X مغلوب باشد حتماً پدرش و همه‌ی پسرهایش بیمار هستند. این قانون در مورد وابسته به X مغلوب همیشه و حتماً صادق است اما در الگوهای دیگر هم می‌تواند رخ دهد.
- e در واقع فرم بهتر الگوی d این است که بگوییم اگر زنی بیمار، پدر یا پسر (حتی یکی) سالم داشت، قطعاً الگوی آن بیماری وابسته به X مغلوب نیست.

f در بیماری‌های غالب، فرد بیمار حتماً پدر یا مادرش و یا هر دو بیمار هستند (حداقل یکی از والدین بیمار است).

g اگر پدر و مادری بیمار فرزندی سالم داشته باشند، حتماً آن بیماری غالب است و هرگز نمی‌تواند مغلوب باشد.

h اگر پدر و مادری بیمار دختری سالم داشته باشند، الگوی بیماری فقط اتوزوم غالب است و نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. چرا؟ چون دختر سالم  $X^bX^b$  است و یک  $X^b$  اش را از پدرش گرفته و  $X^b$  دیگرش را از مادرش. پدر چون یک X دارد با توجه به  $X^b$  ای که به دختر داده باید  $X^bY$  و یعنی سالم باشد در حالی که در فرض مسئله پدر و مادر هر دو بیمار هستند.

i اگر پدر و مادری بیمار پسر سالم داشته باشند، الگوی بیماری می‌تواند اتوزوم غالب یا وابسته به X غالب باشد. چرا؟ چون پسر سالم اتوزوم bb است که پدر و مادرش می‌توانند هر دو Bb باشند. پسر سالم وابسته به X،  $X^bY$  است که پدرش می‌تواند  $X^BY$  (بیمار) و مادرش  $X^BX^b$  باشد. در این حالت پدر Y داده است (نه  $X^b$ ) و مادر  $X^b$  و پسر سالم شده است.



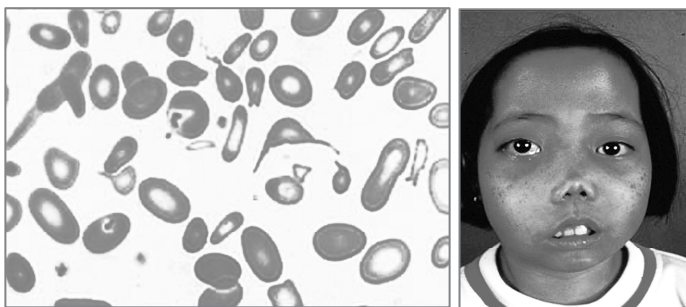
۱ یک جور دیگر هم می‌توان به ۱ نگاه کرد! می‌گوییم که در بیماری وابسته به X غالب اگر مردی بیمار باشد حتماً مادرش و همه‌ی دخترهایش بیمار هستند. چرا؟ چون مرد بیمار  $X^BY$  است و حتماً  $X^B$  اش را از مادرش گرفته (چون Y اش را حتماً از پدرش گرفته!) و  $X^B$  اش را حتماً به همه‌ی دخترهایش می‌دهد (چون به دخترهایش Y نمی‌دهد!). پس همه‌ی دخترهایش از دم! بیمار می‌شوند.

۲ این که مرد بیمار، مادر و دخترهایش بیمار باشند، در وابسته به X غالب حتماً دیده می‌شود ولی در الگوهای دیگر هم امکان دارد رخ دهد. به همین دلیل بهتر است از نقیض این قانون استفاده کنیم. یعنی هر جا مردی بیمار دیدیم که مادرش یا یکی از دخترهایش سالم بود قطعاً می‌توانیم بگوییم که الگوی این بیماری وابسته به X غالب نیست.

۳ نکته‌ی آخر این که در مورد استفاده از قوانین فوق باید باهوش بود! باید قانون را با چرایی‌اش یاد گرفت نه به صورت کلیشه‌ای و حفظ کردنی. به عنوان مثال بعد از این که یک نفر شروع به حفظ کردن قانون‌ها می‌کند، وقتی از او می‌پرسی که فردی که ژنوتیپ aa دارد ژنوتیپ والدینش کدام است، احتمال دارد بگوید  $Aa \times Aa$ ! چرا؟ چون در قانون‌ها همیشه این هست که اگر پدر و مادری سالم فرزندی بیمار داشته باشند، بیماری مغلوب است و پدر و مادر ناقل هستند. در حالی که پاسخ این فرد ناشی از عدم درک صحیح از کلیت موضوع و توجه به کلیشه‌ی فرمول‌هاست! وقتی فرزندی aa است یعنی پدر و مادر هر دو حداقل یک آلل a دارند. پس پدر و مادر هر کدام می‌توانند aa یا Aa باشند:  $Aa \times aa / aa \times aa / Aa \times Aa$

## بیمارکها؟ فوازها!

یک سری مطالب خواندنی درباره‌ی بیماری‌ها هست که احتمال دارد به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم مورد سؤال قرار بگیرند.



تست پدر و مادری ناقل تالاسمی هستند. چه نسبتی از

فرزندانشان در گلبول‌های قرمزشان اختلال دارند؟

$$\begin{array}{ll} \frac{1}{4} (2) & \frac{1}{8} (1) \\ \frac{2}{4} (4) & \frac{1}{4} (3) \end{array}$$

پاسخ خب، اگر مطالب خواندنی را خوب نخوانده باشید

فکر می‌کنید که فقط افراد مبتلا به تالاسمی مازور در گلبول قرمزشان اختلال دارند. در حالی که در کتاب درسی می‌خوانیم افرادی که تالاسمی مینور دارند هم، اندازه‌ی گلبول‌های قرمزشان کم‌تر از حد طبیعی است. پس در این سؤال باید افراد مبتلا به تالاسمی مینور و مازور را با هم حساب کنیم.

$$Tt \times Tt \rightarrow \frac{1}{4} tt + \frac{1}{2} Tt + \frac{1}{4} TT$$

$\downarrow$  مازور                       $\downarrow$  مینور

نسبتی از فرزندان با اختلال در گلبول‌های قرمزشان!  $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$

۴ تالاسمی بیماری اتوزوم مغلوب است که آلل بیماری را با t نمایش می‌دهند. فرد مغلوب (tt) مبتلا به آنمی شدید یا تالاسمی مازور و فرد ناقل مبتلا به آنمی خفیف یا تالاسمی مینور است. در این بیماری هموگلوبین در گلبول‌های قرمز به اندازه‌ی کافی ساخته نمی‌شود و هماتوکریت کم‌تر از نرمال است (کم‌تر از ۴۵٪). افرادی که تالاسمی مینور دارند، معمولاً



▲ افزایش خونسازی در استخوان‌ها برای جبران کم‌خونی ناشی از تالاسمی باعث رشد استخوان‌های پهن خون‌ساز، مثل استخوان گونه می‌شود که چهره‌ای معروف به «موش خرما» برای این بیماران به‌وجود می‌آورد.

علامت خاصی ندارند و اگر اتفاقی آزمایش خون بدهند، با توجه به کم‌خونی خفیف آن‌ها و اندازه‌ی کوچک گلبول‌های قرمز در آن‌ها، به بیماری‌شان (تالاسمی مینور) شک می‌کنند.

یکی از آزمایش‌های مهمی که قبل از عروسی! عروس خانم و آقا داماد می‌دهند، آزمایش خون ساده است که از نظر سائز گلبول‌های قرمز و ... چک

می‌شوند تا یک وقت خدایی نکرده هر دو ناقل تالاسمی نباشند و بی‌خبر باشند!

فرض کنید که شما نیمه‌ی گمشده‌تان!!! را یافته‌اید و همه‌ی کارهای عروسی را هم به انجام رسانده‌اید و خلاصه کلی خوشحال و سرمست یک دفعه متوجه می‌شوید که هر دو ناقل تالاسمی هستید و به احتمال  $\frac{1}{4}$  فرزند شما مبتلا به تالاسمی ماژور می‌شود. حال چه می‌کنید؟



با این یکی!! ازدواج نمی‌کنید

(۲) هر پی اون بگه

(۳) ازدواج می‌کنید بپه‌دار نمی‌شویرا

(۴) ازدواج می‌کنید بپه‌دار هم می‌شویرا

پدر و مادری فرزندی مبتلا به تالاسمی دارند. براساس کتاب درسی کدام یک می‌تواند ژنوتیپ والدین باشد؟

TT یا Tt (۴)

Tt فقط (۳)

Tt یا tt (۲)

tt فقط (۱)

در کتاب می‌خوانیم که فرزندان مبتلا به تالاسمی ماژور از پدر و مادری که هر دو ناقل هستند به دست می‌آیند! چرا حالا؟ چرا کسی که تالاسمی ماژور دارد نمی‌تواند فرزند مبتلا به تالاسمی ماژور تولید کند؟! خیلی ساده است! چون افراد مبتلا به تالاسمی ماژور قبل از رسیدن به سن ازدواج می‌میرند. (البته اخیراً پیشرفت‌هایی صورت گرفته که می‌توانند بیشتر عمر کنند و بچه‌دار هم می‌شوند. این گفته‌ی کتاب درسی از نظر علمی کمی قدیمی است اما اساسش همینی هست که گفتیم و شما فعلاً آن را به رسمیت بشناسید).

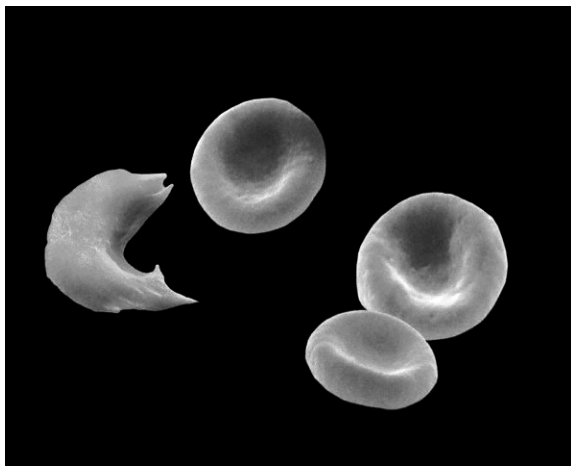
مبتلایان به تالاسمی ماژور:

در هنگام تولد نرمال هستند.

هموگلوبین در گلبول‌های قرمزشان به مقدار طبیعی نیست.

در ۳ تا ۱۸ ماهگی دچار کم‌خونی شدید می‌شوند که به همین علت رنگ پریده‌اند، کم غذا می‌خورند و کم می‌خوابند.

به علت کم‌خونی، استخوان‌های پهن (مثلاً استخوان‌های صورت) بسط و گسترش می‌یابند و بزرگ می‌شوند و این باعث دفرمه شدن صورت و قیافه در مبتلایان به تالاسمی ماژور می‌شود که برای این دوستان مشکلات روحی زیادی ایجاد می‌کند!



بیماری کم‌خونی داسی‌شکل یک بیماری اتوزومی مغلوب است که در

آن افراد SS بیمار هستند. در این بیماری جهش در ژن هموگلوبین رخ داده

است و هموگلوبین فرد بیمار، ناقص، غیرطبیعی و ناکافی است و بسیاری از

گلبول‌های قرمز فرد بیمار داسی‌شکل هستند. این اتفاق باعث اشکال در

انتقال اکسیژن کافی به بافت‌ها می‌شود. ضمناً گلبول‌های قرمز داسی‌شکل

به دیواره‌ی داخلی مویرگ‌ها می‌چسبند و می‌توانند حرکت خون در

مویرگ‌ها را کند کنند و حتی گاهی باعث انسداد رگ‌ها و سکته‌ی قلبی یا

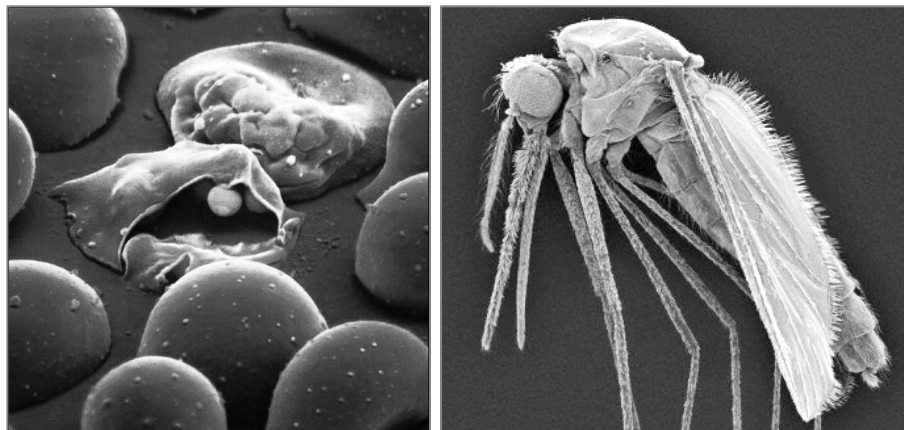
مغزی زود هنگام در فرد بیمار شوند. به همین دلیل معمولاً افراد مبتلا به

کم‌خونی داسی‌شکل (SS) قبل از سن بلوغ به دیار باقی می‌شتابند (آن هم

با په شتابی!)



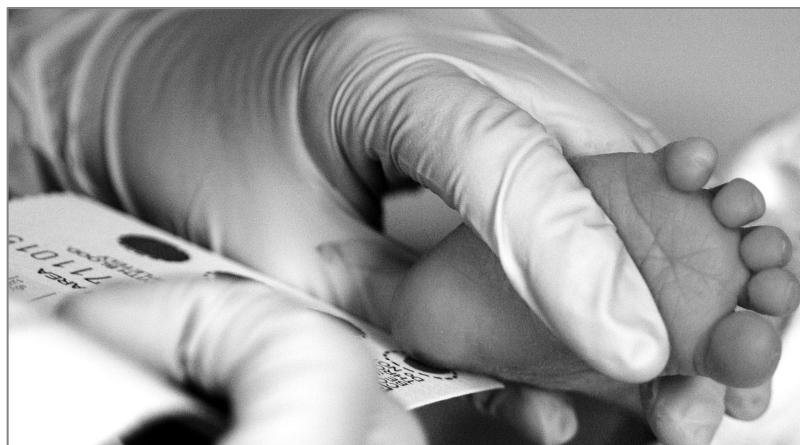
باز هم در کتاب پیش‌دانشگاهی می‌خوانیم که افراد ناقل نسبت به کم‌خونی داسی‌شکل، در حالت طبیعی علامتی ندارند و نرمال هستند و شایستگی تکاملی آن‌ها یک است. اما در صورت کمبود اکسیژن تعدادی از گلبول‌های قرمز آن‌ها داسی‌شکل می‌شوند. شایستگی تکاملی



▲ پشه‌ی آتوفل، ناقل انگل مالاریا. مرزویبیت‌ها در بدن انسان پس از تکثیر شدن در گلبول‌های قرمز آن‌ها را می‌ترکانند و هر یک به دنبال گلبول جدیدی وارد خون می‌شوند!

افراد مبتلا به کم‌خونی داسی‌شکل صفر است. چرا که نمی‌توانند ژن‌هایشان را به نسل بعد منتقل کنند. افراد ناقل نسبت به کم‌خونی داسی‌شکل خصلت باحالی دارند! آن هم این که مالاریا نمی‌گیرند! چرا؟ چون وقتی انگل مالاریا بخواهد وارد گلبول‌های قرمز آن‌ها شود به علت شوکی که به گلبول قرمز وارد می‌شود، به سرعت داسی‌شکل می‌شود! و انگل نمی‌تواند درون

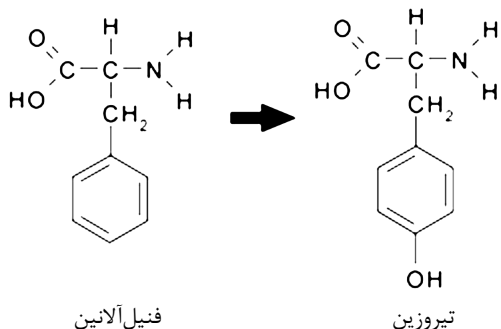
گلبول قرمز داسی‌شکل تکثیر شود و می‌میرد. این است که در قسمت‌هایی از آفریقا که مالاریا فراوان است، فراوانی آلل کم‌خونی داسی‌شکل زیاد شده است. چرا؟ چون افرادی که آلل کم‌خونی داسی‌شکل ندارند (SS یا  $Hb^A Hb^A$ ) با احتمال بیشتری مالاریا می‌گیرند و با احتمال بیشتری می‌میرند و طبق انتخاب طبیعی، افراد Ss یا  $Hb^S Hb^A$  که مالاریا نمی‌گیرند، زنده می‌مانند و احتمال این که بتوانند ازدواج کنند و ژن S را به نسل بعد منتقل کنند بیشتر می‌شود.



▲ نحوه‌ی انجام تست غربالگری فنیل‌کتونوریا در نوزادان. خون‌گیری از پاشنه‌ی پا انجام می‌شود.

۹ فنیل‌کتونوریا یک بیماری اتوزوم مغلوب است که در آن به علت جهش، آنزیم تبدیل‌کننده‌ی اسیدآمینده‌ی فنیل‌آلانین به اسیدآمینده‌ی تیروزین وجود ندارد و عدم تبدیل فنیل‌آلانین به تیروزین باعث افزایش مقدار فنیل‌آلانین در بدن می‌شود. تجمع محصولات حاصل از متابولیسم غیرعادی فنیل‌آلانین (به‌ویژه در بافت‌های عصبی مثل مغز) باعث عقب‌ماندگی ذهنی این بیماران می‌شود. درمان این بیماری خیلی ساده و خیلی باحال است! باید به این نوزادان شیر با فنیل‌آلانین کم داد (نه بدون فنیل‌آلانین).

دقت کنید که فنیل‌آلانین یک اسیدآمینده‌ی ضروری است یعنی بدن نمی‌تواند آن را بسازد و باید از طریق غذا آن را دریافت کند. ولی تیروزین یک اسیدآمینده‌ی غیرضروری است یعنی اگر ما مستقیماً تیروزین را از طریق غذا خوردن دریافت نکنیم، بدنمان می‌تواند از فنیل‌آلانین آن را بسازد. یکی از کاربردهای فنیل‌آلانینی که از طریق غذا دریافت می‌کنیم، تبدیل شدن به تیروزین است. فنیل‌آلانین کاربردهای دیگری هم دارد. مثلاً از همه ساده‌تر این که به عنوان یک اسیدآمینده در ساختمان پروتئین‌ها شرکت می‌کند. پس ما نباید در درمان فنیل‌کتونوریا، غذای بدون فنیل‌آلانین به فرد بدهیم. چون فقط یکی از کاربردهای فنیل‌آلانین تبدیل شدن به تیروزین است.



فنیل‌آلانین

تیروزین



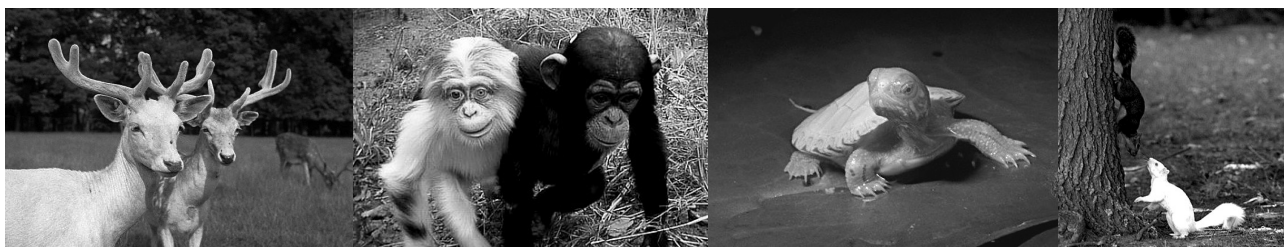
PKU: PhenylKetonUria

کتاب درسی فنیل آلانین را بیشتر به این خاطر مثال زده است تا بگوید امکان دارد یک بیماری ژنتیکی درمان خیلی خیلی ساده و راحتی داشته باشد هر چند در بسیاری از بیماری‌های ژنتیکی درمان نزد خداوند متعال است و بس! در بسیاری از کشورهای پیشرفته، همه‌ی نوزادان متولد شده را با یک آزمون ساده و کم‌هزینه از نظر فنیل کتونوریا بررسی می‌کنند (به این کار میگویند غربالگری).

۱۵ زالی یک بیماری اتوزوم مغلوب است که در آن به علت جهش آنزیم تبدیل‌کننده‌ی تیروزین به ملانین ساخته نمی‌شود.

در نتیجه فرد در پوست و مویش ملانین ندارد و پوست خیلی خیلی روشن و موهای تماماً سفیدی دارد. نگویند تیروزین به ملانینش خارج

از کتاب است! زالی در جانوران هم هست! مثلاً در بیستون بتولاریا، پروانه‌ی سفید که نمی‌تواند از تیروزین ملانین بسازد یک جورهایی زالی تشریف دارد!



۱۱ هانتینگتون یک بیماری اتوزوم غالب است. علائم بیماری در سنین ۳۰ تا ۵۰ سالگی بروز می‌کند و نوزادان دارای آلل بیماری علامتی از بیماری ندارند. به خاطر بی‌علامت بودن بیماری تا سنین بالا، احتمال این‌که فرد از بیمار بودن خود بی‌خبر باشد و ژن بیماری را به فرزندانش منتقل کند، زیاد است. علائم بیماری عبارت‌اند از: کاهش توان کنترل ماهیچه‌ها، گرفتگی ماهیچه‌ای، فراموشی و مردن!



۱۲ هموفیلی یک بیماری وابسته به X مغلوب است یعنی ژن این بیماری روی کروموزوم X قرار دارد. در این بیماری خون فرد مبتلا، بعد از خون‌ریزی بند نمی‌آید که علت آن ساخته نشدن فاکتور انعقادی شماره‌ی ۸ (VIII) در مسیر انعقاد خون است. درمان این افراد تزریق فاکتور VIII ساخته شده به وسیله‌ی مهندسی ژنتیک به آن‌هاست. البته این هموفیلی که در کتاب آمده است معروف است به هموفیلی A (جدول ۲-۸). یک هموفیلی B هم داریم که در کتاب درسی نیست پس ...

۱۳ کوررنگی و دیستروفی عضلانی دوشن هم جزو بیماری‌های وابسته به X مغلوب هستند. در کوررنگی که آدم‌ها کوررنگ می‌شوند! در دیستروفی عضلانی دوشن عضلات تحلیل می‌روند. در جدول ۲-۸ یک بیماری دیگر هم می‌بینید به اسم سیستیک فیبروز که بیماری اتوزوم مغلوب است که به علت کمبود پروتئین‌های انتقال‌دهنده‌ی کلر، موکوز بعضی از اندام‌ها مثل شش، کبد و پانکراس را پر می‌کند. به لیست بیماری‌های ژنتیکی‌ای که تا این‌جا خوانده‌اید، بیماری‌های رنگ‌دانه‌ای شدن شبکیه و نشانگان زالی - ناشنایی را هم اضافه کنید که ژن آن‌ها روی کروموزوم X است. بیماری کام شکاف‌دار انواع مختلفی دارد که در یکی از آن‌ها ژن بیماری روی کروموزوم X است.



## توجه به انواع ژنوتیپ در یک فرد

۱۴ همان اوایل یک فصلی بود که در آن انواع ژنوتیپ و فنوتیپ را در یک جمعیت درس دادیم. این جا بحث چیز دیگری است. در واقع در این جا می‌خواهیم انواع ژنوتیپ‌های ممکن برای یک فرد را حدس بزنیم. مثلاً فردی که گروه خونی A دارد، می‌تواند ۲ نوع ژنوتیپ AA یا AO داشته باشد. مردی که هموفیلی دارد فقط یک نوع ژنوتیپ  $X^hY$  دارد و قس علی هنزا جاهای دیگری هم آن را دیده‌اید. مثلاً این که فردی که لاله‌ی گوش آزاد دارد (فنوتیپ غالب) می‌تواند ۲ نوع ژنوتیپ داشته باشد یکی هموزیگوس (AA) و دیگری هتروزیگوس (Aa).

(سراسری ۸۲)

ژنوتیپ کدام یک از فنوتیپ‌های زیر را نمی‌توان بدون آزمایش تعیین کرد؟

- ۱) زن هموفیل      ۲) مرد مبتلا به زالی      ۳) زن دارای گروه خونی AB      ۴) مرد مبتلا به بیماری هانتینگتون

زن هموفیل ( $X^hX^h$ )، مرد مبتلا به زالی (aa) و زن دارای گروه خونی AB ( $i^A i^B$ ) هر سه فقط یک نوع ژنوتیپ دارند. اما مرد مبتلا به هانتینگتون دو نوع ژنوتیپ HH و Hh دارد. می‌دانید که هانتینگتون بیماری غالب است و آلل بیماری را با حروف بزرگ نمایش می‌دهند. البته هم ما و هم شما منظور این سؤال را فهمیدیم که یعنی چه! اما یک ایراد به این سؤال وارد است و آن هم این است که برای این که گروه خونی زن AB را بفهمیم، باید یک آزمایش تعیین گروه خونی انجام دهیم. هر چند منظور این سؤال از آزمایش، آزمایش ژنتیکی است.

چند نوع ژنوتیپ برای مردی هموفیل، ناقل زالی، مبتلا به هانتینگتون و دارای گروه خونی  $B^+$  می‌توان تصور کرد؟

- ۴ (۱)      ۸ (۲)      ۱۶ (۳)      ۳۲ (۴)

هُل نشوید! یکی یکی! مرد هموفیل یک حالت دارد:  $X^hY$ . گول ناقل زالی را نخورید! خودش گفته است ناقل زالی دیگر(!): Aa. مبتلا به هانتینگتون می‌تواند Hh یا HH باشد (۲ حالت). گروه خونی B هم می‌تواند دو حالت BB یا BO داشته باشد. Rh مثبت هم می‌تواند RR یا Rr باشد.

مرد	ناقل	مبتلا به	گروه				
هموفیل	زالی	هانتینگتون	خونی B	Rh <sup>+</sup>			
۱	۱	۲	۲	۲	×	×	×
= ۸							

در بررسی هم‌زمان ۳ بیماری هموفیلی، زالی و هانتینگتون، چند نوع ژنوتیپ و فنوتیپ در جمعیت دیده می‌شود؟

- ۸ - ۲۷ (۱)      ۸ - ۴۵ (۲)      ۱۲ - ۲۷ (۳)      ۱۲ - ۴۵ (۴)

این سؤال نکته‌ی جالبی دارد که البته قبلاً در فصل انواع ژنوتیپ و فنوتیپ آن را گفته‌ایم. آن هم این است که از نظر هموفیلی در جمعیت ۵ نوع ژنوتیپ داریم ( $X^hX^h$ ،  $X^hX$ ،  $XY$ ،  $X^hY$  و XX). اما برای همین هموفیلی در جمعیت ۲ نوع فنوتیپ داریم! (سالم و بیمار). در واقع در محاسبه‌ی انواع فنوتیپ، دیگر زن یا مرد بودن را دخالت نمی‌دهیم. دلیلش چیست؟ به همان دلیلی که در ژنوتیپ و فنوتیپ در بیماری‌های اتوزوم (زالی، تالاسمی و هانتینگتون) جنسیت را لحاظ نمی‌کنیم. مثلاً می‌گوییم برای زالی در جمعیت ۳ نوع ژنوتیپ aa، Aa و AA داریم و ۲ نوع فنوتیپ a و A.

اما چرا در صفات وابسته به X در انواع ژنوتیپ، جنسیت را دخالت می‌دهیم؟ چون در نوشتن ژنوتیپ از XY و XX استفاده می‌کنیم. به همین دلیل  $X^hX^h$  و  $X^hY$  که هر دو بیمار هستند (فنوتیپ یکسانی دارند) نمی‌توانند ژنوتیپ یکسانی داشته باشند.

	هموفیلی	زالی	هانتینگتون				
انواع ژنوتیپ :	۵	۳	۳	×	×	×	= ۴۵
انواع فنوتیپ :	۲	۲	۲	×	×	×	= ۸

## یک سر تکنیک حل مسئله

زنی ناقل تالاسمی و مبتلا به زالی با مردی ناقل هر دو بیماری ازدواج می‌کند. چه نسبتی از زاده‌ها، پسرانی مبتلا به هر دو بیماری

هستند؟

- $\frac{1}{۶۴}$  (۴)       $\frac{1}{۳۲}$  (۳)       $\frac{1}{۱۶}$  (۲)       $\frac{1}{۸}$  (۱)





پاسخ

$$Aa \times aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots \qquad Tt \times Tt \rightarrow \frac{1}{4}tt + \dots$$

$$\text{احتمال پسر مبتلا به هر دو بیماری} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$$

دیدیم که این جا احتمال  $\frac{1}{4}$  پسر بودن را ضرب کردیم.

زنی ناقل زالی و هموفیلی با مردی ناقل زالی و هموفیل ازدواج می کند. احتمال تولد پسر مبتلا به هر دو بیماری در این خانواده چه قدر است؟

تست

$$\frac{1}{4} \quad (4) \qquad \frac{1}{32} \quad (3) \qquad \frac{1}{16} \quad (2) \qquad \frac{1}{8} \quad (1)$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots \qquad X^hX \times X^hY \rightarrow \frac{1}{4}X^hY + \dots$$

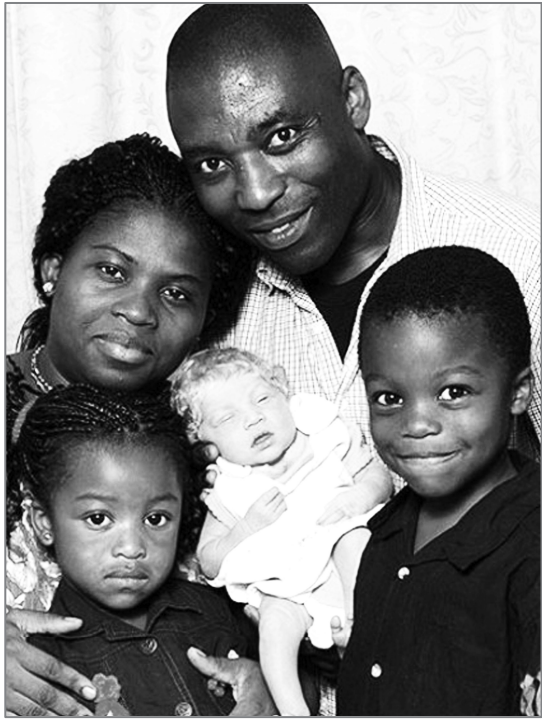
پاسخ

$$\text{احتمال پسر مبتلا به هر دو بیماری} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

در این جا  $\frac{1}{4}$  پسر بودن را به صورت جداگانه ضرب نکردیم! چرا؟ چون  $X^hY$  خودش یعنی پسر مبتلا به هموفیلی، پس آن را در  $\frac{1}{4}$  زالی ضرب می کنیم.

اولین نکته این است که بیماری هایی که در آن ها ژن ها غیر پیوسته هستند، به صورت مستقل نوشته می شوند و احتمال آن ها مستقل حساب می شود و بعد در هم ضرب می شوند.

در هر مسئله ای که احتمال  $XX$  یا  $XY$  را حساب کنیم (بیماری وابسته به  $X$  باشد) دیگر نباید احتمال دختر یا پسر بودن را جدا ضرب کنیم. اما اگر همه ی بیماری های سؤال اتوزومی باشد، باید  $\frac{1}{4}$  دختر یا پسر را جدا ضرب کرد. با تشکر!



▲ اینم به جور شه دیگه!

زن و مردی سالم، پسر زالی دارند. احتمال تولد دختری ناقل در این خانواده چه قدر است؟

تست

$$\frac{1}{4} \quad (2) \qquad \frac{1}{2} \quad (1) \\ \frac{1}{16} \quad (4) \qquad \frac{1}{8} \quad (3)$$

چون در این سؤال خودش گفته که بیماری اتوزومی است پس پدر و مادر هر دو ناقل هستند.

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}Aa + \dots$$

$$\text{احتمال دختر ناقل} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

زن و مردی سالم دختری مبتلا به نوعی بیماری تک زنی دارند.

تست

احتمال تولد پسر بیمار در این خانواده چه قدر است؟

$$\frac{1}{4} \quad (2) \qquad \frac{1}{2} \quad (1) \\ \frac{1}{16} \quad (4) \qquad \frac{1}{8} \quad (3)$$

اگر پدر و مادری سالم فرزندی بیمار داشتند هتماً آن بیماری مغلوب است، مادر هتماً ناقل است (چه در اتوزومی مغلوب و چه در وابسته به  $X$  مغلوب) و پدر در اتوزومی مغلوب هتماً ناقل است و در وابسته به  $X$  مغلوب هتماً سالم. هیچ وقت در بیماری وابسته به  $X$  مغلوب، پدر و مادر سالم نمی توانند دختر بیمار داشته باشند. پس هر وقت پدر و مادر سالم، دختری بیمار داشتند، الگوی بیماری فقط اتوزوم مغلوب است. (پراش رو قبلاً صد بار گفتیم!) اما وقتی پدر و مادری سالم، پسری بیمار دارند، بیماری هتماً مغلوب است و می تواند اتوزوم یا وابسته به  $X$  باشد.



$XX \times XY \rightarrow$  دختر بیمار نمی‌دهد!  $X^hX \times XY \rightarrow$  دختر بیمار نمی‌دهد!



$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots \Rightarrow$  احتمال پسر بیمار  $= \frac{1}{4}(aa) \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$  (پسر)  $\times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$

زن و مردی سالم با احتمال  $\frac{1}{4}$  پسری مبتلا به یک نوع بیماری تک‌ژنی خواهند داشت. چه نسبتی از فرزندان این خانواده آل بیماری خواهند داشت؟

$\frac{1}{8}$  (۴)                       $\frac{3}{4}$  (۳)                       $\frac{1}{2}$  (۲)                       $\frac{1}{4}$  (۱)



مطمئنیم که الگوی بیماری مغلوب است. اما اتوزوم مغلوب یا وابسته به X مغلوب؟ باید ببینیم.

$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa \Rightarrow$  احتمال پسر بیمار  $= \frac{1}{4}$  (بیمار)  $\times \frac{1}{2}$  (پسر)  $= \frac{1}{8}$

$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4}X^hY$  (پسر بیمار)

نکته‌ی زیبا و جالب این است که احتمال تولد پسر بیمار از پدر و مادر سالم در الگوی اتوزوم مغلوب  $\frac{1}{8}$  و در الگوی وابسته به X مغلوب  $\frac{1}{4}$  است. دقت کنید! خیلی وقت‌ها به جای آن که اطلاعات مسئله را مستقیم بدهند، احتمالی را می‌دهند که شما طی رسیدن به آن احتمال می‌فهمید که

دنیا دست چه کسی است!

$$X^hX \times XY \rightarrow \frac{1}{4}XY + \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX + \frac{1}{4}XX$$

$\frac{1}{4}$  فرزندان دارای آل بیماری

زن و مردی هر دو مبتلا به یک بیماری تک‌ژنی هستند. احتمال تولد پسر سالم در این خانواده  $\frac{1}{8}$  است. احتمال تولد دختری بیمار در این خانواده چه قدر خواهد بود؟

$\frac{3}{4}$  (۴)                       $\frac{1}{8}$  (۳)                       $\frac{1}{4}$  (۲)                       $\frac{3}{8}$  (۱)



وقتی پدر و مادری بیمار فرزندی سالم دارند، یعنی الگوی بیماری غالب است. حالا اتوزوم یا وابسته به X؟

$X^BX \times X^BY \rightarrow \frac{1}{4}XY$  (پسر سالم)

$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}bb \Rightarrow$  احتمال پسر سالم  $= \frac{1}{4}$  (سالم)  $\times \frac{1}{2}$  (پسر)  $= \frac{1}{8}$

الگوی بیماری صورت سؤال اتوزوم غالب است. چرا که احتمال تولد پسر سالم در آن  $\frac{1}{8}$  است. در این الگو احتمال تولد دختر بیمار می‌شود  $\frac{3}{8}$ .

زن و مردی بیمار دارای دختری سالم هستند. احتمال تولد پسر سالم در این خانواده چه قدر است؟

$\frac{3}{8}$  (۴)                       $\frac{1}{8}$  (۳)                       $\frac{3}{4}$  (۲)                       $\frac{1}{4}$  (۱)



وقتی پدر و مادری بیمار فرزندی سالم دارند، یعنی الگوی آن بیماری یا اتوزوم غالب است و یا وابسته به X غالب. اگر فرزند سالم پسر باشد، هر دو الگو ممکن است. در وابسته به X غالب احتمال تولد پسر سالم می‌شود  $\frac{1}{4}$  و در اتوزوم غالب می‌شود  $\frac{1}{8}$ . اگر فرزند سالم، دختر باشد الگوی بیماری فقط اتوزوم غالب است و نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد.

جواب سؤال بالا می‌شود  $\frac{1}{8}$ .



مردی مبتلا به نوعی بیماری تک‌ژنی و همسرش سالم است. احتمال تولد پسر بیمار در این خانواده  $\frac{1}{4}$  است. احتمال تولد دختر سالم در این خانواده چه قدر است؟

$\frac{1}{2}$  (۴)                       $\frac{1}{4}$  (۳)                       $\frac{1}{8}$  (۲)                      صفر (۱)





گاهی هم مسئله سخت تر از این حرف‌هاست! چرند این میل در طرازان کنگور مشاهده شده است که مسئله را کاملاً نامتعیین و سرگردان طراحی کنند! مثلاً مسئله‌ای می‌دهند که اصلاً معلوم نیست آلل‌ها پیوسته‌اند یا نه. یا این که شماره‌نامه‌ای می‌دهند که اصلاً نشود فهمید که الگوی پیش پیست، ولی فب در همه‌ی الگوها جواب یکسان بدهد. در این سؤال باید ببینید کدام الگو هست که با این شماره‌نامه می‌فواند (پسر بیمار؛  $\frac{1}{4}$ ) و کدام الگو صادق نیست. در این سؤال سعی کردیم یک جور روشن ناپوانمردانه‌ی طرح سؤال را به شما یاد بدهیم. این سؤال‌های بدون پدر و مادرا! در جاهای و به سبک‌های مختلف می‌توانند طرح شوند. یادتان باشد قبلی هم به دانسته‌هایتان نپسید.



بیا بید ببینیم صورت سؤال در چه الگوهایی ممکن است رخ دهد:

۱)  $Aa \times aa$  (مرد)  $\times$  (زن)  $\rightarrow \frac{1}{2}(aa) \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$  اگر الگوی بیماری اتوزوم مغلوب باشد، احتمال پسر بیمار می‌شود  $\frac{1}{4}$ :

۲)  $X^hY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{2}X^hY + \dots$  اگر الگوی بیماری وابسته به X مغلوب باشد، احتمال پسر بیمار می‌شود  $\frac{1}{4}$ :

۳)  $X^BY \times XX \rightarrow \frac{1}{2}XY + \dots$  الگوی بیماری نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد (در این حالت از پدر بیمار و مادر سالم، پسر بیمار متولد نمی‌شود):

در الگوی اتوزوم غالب اگر پدر BB و مادر bb باشد، احتمال پسر بیمار می‌شود  $\frac{1}{4}$

۴)  $BB \times bb \rightarrow 1$  (بیمار)  $\times \frac{1}{2}$  (پسر)  $= \frac{1}{2}$  حتماً می‌دانید که B آلل بیماری غالب است):

۵)  $Bb \times bb \rightarrow \frac{1}{2}Bb$  (بیمار)  $\times \frac{1}{2}$  (پسر)  $= \frac{1}{4}$

می‌بینید که در بین این ۵ حالت فقط در حالت ۴، احتمال پسر بیمار  $\frac{1}{4}$  است. می‌بینید که در این حالت، احتمال فرزند سالم (چه دختر، چه پسر) صفر است.

دقت کنید با این که سال‌هاست که از بیماری‌های انسان در کنکور سؤال می‌آید اما هنوز می‌توان در مورد یک بیماری تک‌زنی سؤال داد که اساساً جدید، مفهومی و چالش برانگیز باشد.



اگر مردی مبتلا به هانتینگتون با زنی سالم ازدواج کند و فرزند اول آن‌ها آلل بیماری نداشته باشد، چه قدر احتمال دارد فرزند بعدی

آن‌ها دختری مبتلا به هانتینگتون باشد؟

$\frac{1}{4}$  (۱)

$\frac{1}{16}$  (۴)

$\frac{1}{8}$  (۳)

$\frac{1}{4}$  (۲)

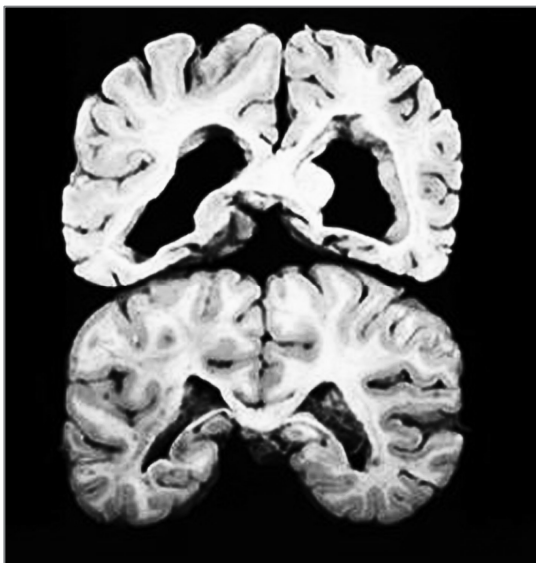


در بیماری‌های اتوزوم غالب، اگر والد بیمار دارای دو آلل

بیماری باشد (BB) همه‌ی فرزندان بیمار می‌شوند. وجود یک فرزند سالم در بین زاده‌ها نشان می‌دهد که والد بیمار، ناخالص (Bb) است. همین‌طور در بیماری وابسته به X مغلوب (مثل هموفیلی) اگر زنی سالم، پسری بیمار داشته باشد یعنی آن زن حتماً ناقل است ( $X^hX$ ).

$Bb \times bb \rightarrow \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{2}bb$   
 بیمار                      سالم

احتمال دختر بیمار  $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$



▲ هانتینگتون باعث تحلیل رفتن بافت مغز می‌شود.

اگر در خانواده‌ای پدر و مادر ناقل زالی باشند، چه نسبتی از فرزندان آن‌ها که آلل بیماری دارند سالم هستند؟



$\frac{1}{4}$  (۴)

$\frac{2}{3}$  (۳)

$\frac{2}{4}$  (۲)

$\frac{1}{4}$  (۱)



گفتیم که هواسان باید همیشه به احتمال شرطی باشد. یک قط کسری بکشید: مفرج آن قبل ویرگول (به مفهوم ۳) و احساس ویرگول تویه کنید شاید در سؤال برایتان نگذاشته باشند) و صورت آن بعد ویرگول است! بعد دقت کنید که صورت باید هتماً در مفرج باشد. یعنی آن صورتی را حساب کنید که در مفرج هست! یعنی پی؟

وقتی به دارند می‌رسیم ویرگولمان می‌گیرد! قبل ویرگول می‌شود مخرج و بعد ویرگول می‌شود صورت:

پاسخ

$$\frac{\text{فرزندانی که سالم هستند ضمناً آلل بیماری را هم دارند (مخرج)}}{\text{فرزندانی که آلل بیماری دارند}} = \frac{Aa}{Aa + aa} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4}} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} = \frac{2}{3}$$

خیلی راه دور نروید. این تست معروف که در زیر می‌بینید و بیشتر بچه‌ها با آن مشکل دارند هم احتمال شرطی است:

اگر مردی هموفیل با زنی ناقل هموفیلی ازدواج کند، چه نسبتی از دختران این خانواده، هموفیل خواهند بود؟

تست

$$\begin{matrix} \text{صفر} & (1) & \frac{1}{2} & (2) & 1 & (3) & \frac{1}{4} & (4) \end{matrix}$$

$$\frac{\text{دختران هموفیل}}{\text{دختران خانواده}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}$$

قبل ویرگول دختران خانواده‌اند و بعد ویرگول دختران هموفیل.

پاسخ

گفتیم که صورت را به شکل جزئی از مخرج می‌نویسیم. یعنی اگر مخرج دختران هستند، صورت نمی‌تواند فرزندان هموفیل باشد (چون پسرها در مخرج نیستند). صورت باید دختران هموفیل باشد.

$$\frac{\text{دختران هموفیل}}{\text{فرزندان}} = \frac{\frac{1}{4}}{1} = \frac{1}{4}$$

حالا اگر می‌پرسید چه نسبتی از فرزندان، دختران هموفیل هستند چه می‌گفتید؟

از ازدواج مردی مبتلا به فنیل کتونوریا با زنی مبتلا به هموفیلی، پسری مبتلا به زالی متولد شده است. چه قدر احتمال دارد که فرزند

تست

بعدی این زوج پسری هموفیل و ناقل زالی باشد؟

$$\begin{matrix} \frac{1}{8} & (1) & \frac{1}{6} & (2) & \frac{1}{4} & (3) & \frac{1}{4} & (4) \end{matrix}$$

هر چند این نکته در مورد سؤال‌های قدیمی‌تر کنکور صادق است اما گاهی از هیچ‌جا هیچ اطلاعاتی در مورد والدین نمی‌توان به دست آورد ولی باید بدانیم که پدر و مادر در مورد آن بیماری چه وضعی دارند. در واقع یک قانون نانوشته‌ای از قدیم‌ها هست که وقتی صورت سؤال در مورد وجود آلل بیماری در کسی صحبت نمی‌کند (یا ناقل یا بیمار)، یعنی آن فرد اصلاً آلل بیماری ندارد و فالص است. البته باز هم تأکید می‌کنم این در حالتی است که مسئله اطلاعات مستقیم یا غیرمستقیم دیگری برای فهمیدن ژنوتیپ فرد ندارد باشد.



مثلاً در این سؤال با این که نمی‌دانیم پدر و مادر ناقل زالی

پاسخ

هستند یا زال، آن‌ها را ناقل زالی می‌گیریم (چون فرزندشان زال است) و آن‌ها را زال فرض نمی‌کنیم چون اگر زال بودند صورت سؤال می‌گفت! یا این که زن را از نظر فنیل کتونوریا خالص و بدون آلل بیماری فرض می‌کنیم. همین‌طور مرد را از نظر هموفیلی سالم می‌گیریم.

$$XY \times X^h X^h \rightarrow \frac{1}{2} X^h Y + \frac{1}{2} X^h X$$

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} Aa + \dots$$

$$pp \times PP \rightarrow 1 Pp$$

$$\text{احتمال پسر هموفیل و ناقل زالی} = \frac{1}{2} (X^h Y) \times \frac{1}{4} (Aa) = \frac{1}{8}$$

پسر بودن را دیگر جدا ضرب نمی‌کنیم چون در  $X^h Y$  حساب شده است.

یک سری نکته‌های خردهریز هم هست که بهتر است آن‌ها را در تست‌ها ببینید. فعلاً!

# جانوران

## اصل داستان



تعیین جنسیت ..... و ..... شبیه هم است.

(۴) سهره - ملخ

(۳) بیستون بتولاریا - انسان

(۲) بیستون بتولاریا - ملخ

(۱) ملخ - انسان



۱ اصل داستان این است که در پرندها و پروانه‌ها برخلاف انسان، نرها XX هستند و ماده‌ها XY و باز هم برخلاف انسان، در پرندها و پروانه‌ها ماده‌ها تعیین جنسیت می‌کنند نه نرها. یعنی چی؟ یعنی پرندها و پروانه‌های نر فقط گامت X دار تولید می‌کنند اما پرندها و پروانه‌های ماده دو نوع گامت تولید می‌کنند: X دار و Y دار. پس آن‌ها با توجه به دو نوع بودن گامت‌هایشان تعیین می‌کنند که بچه چه باشد؟ اگر گامت Y دار از ماده‌ها با گامت X دار نرها آمیزش کند، بچه ماده می‌شود. اگر گامت X دار از ماده‌ها با گامت X دار نرها آمیزش کند، بچه نر می‌شود. همان‌طور که می‌بینید نرها در تعیین حالت جنسیت نقش تماشایی را دارند و تأثیرگذار نیستند (البته در پرندها و پروانه‌ها). در انسان تعیین جنسیت

با نر است، چرا که نرها هستند که دو نوع گامت X و Y تولید می‌کنند.

قبلاً (الآن هم شاید به جاهایی باشه!) می‌گفتن این زن پسرزاست اون یکی دخترزا! یا این که مردها دوست داشتن بچه‌شون پسر بشه! اگر نمی‌شد مینداختن تقصیر زنشون! در حالی که اساساً این که بچه پسر شود یا دختر، با مرد است! نتیجه‌ی اخلاقی این که هر کی هر چی گفت زود باور نکنین!



۲ بر اساس قرارداد در پرنده‌ها و پروانه‌ها ماده‌های XY را با ZW و نرهای XX را با ZZ نمایش می‌دهند. W نماد کروموزوم Y و Z نماد کروموزوم X است. این یک قرارداد است و کار خاصی نمی‌کند و در نتیجه تأثیری ندارد. شاید خوبی‌اش این است که کم‌تر در مورد پروانه‌ها و پرنده‌ها اشتباه می‌کنیم و در مورد نرهایشان نمی‌نویسیم XY! یعنی ZZ و ZW حواسمان را جمع می‌کند که یادمان بیاید در پرنده‌ها و پروانه‌ها نرها XX اند نه XY!

نکته‌ی اصلی و اولیه در حل مسائل پرنرگان و پروانه‌ها این است که اشتباهی نرها را XY و ماده‌ها را XX فرض نکنیم

### تست کدام یک نادرست است؟



- (۱) در مرغ اتوزوم‌ها هومولوگ هستند. (۲) در خروس اتوزوم‌ها هومولوگ هستند.  
 (۳) در خروس کروموزوم‌های جنسی هومولوگ هستند. (۴) در مرغ کروموزوم‌های جنسی هومولوگ هستند.



جانوران ۲n هستند و در آن‌ها کروموزوم‌های اتوزوم هومولوگ‌اند. اما کروموزوم X و Y نسبت به هم هومولوگ نیستند. خروس، نر است! و XX. پس کروموزوم‌های جنسی‌اش هم هومولوگ‌اند، اما مرغ XY است و کروموزوم‌های جنسی‌اش هومولوگ نیستند.

### تست در کبوتر پیدایش فرزند ماده، حاصل آمیزش کدام است؟



- (۱) اسپرم حاوی X با تخمک حاوی X (۲) اسپرم حاوی Y با تخمک حاوی X  
 (۳) اسپرم حاوی X با تخمک حاوی Y (۴) اسپرم حاوی Y با تخمک حاوی Y



کبوتر ماده XY است. Y از کبوتر XY می‌آید که این کبوتر ماده است و تخمک تولید می‌کند. X اش از کبوتر XX می‌آید که نر است و اسپرم تولید می‌کند.

### تست یک پروانه‌ی ..... هیچ‌وقت از والد ..... ژن‌های روی کروموزوم X را دریافت نمی‌کند.



- (۱) نر - نرش (۲) نر - ماده‌اش (۳) ماده - نرش (۴) ماده - ماده‌اش



یک پروانه‌ی ماده که XY است از والد ماده‌اش که آن هم ماده است! کروموزوم Y دریافت کرده است پس نمی‌تواند و نمی‌توانسته که کروموزوم X و ژن‌هایی که روی آن است را دریافت کند.

### ۳ ملخ‌ها جانورانی ۲n هستند! ملخ نر ۲۳ کروموزوم دارد (تعداد کروموزوم‌های سلول‌هایش فرد است) و $2n = 23$ است: $2n = 22 + XO$ .

O این‌جا یعنی نبودن یک کروموزوم جنسی! O کروموزوم نیست، یک جای خالی است! پس ملخ نر با این‌که ۲n است اما فقط یک کروموزوم جنسی دارد. گامت ملخ نر یکی  $O + 11$  است (۱۱ کروموزوم اتوزوم، بدون کروموزوم جنسی) و دیگری  $X + 11$  (۱۲ کروموزومی). ملخ ماده ۲۴ کروموزوم دارد و  $2n = 22 + XX$  است. گامت‌هایش از نظر کروموزوم جنسی یک نوع و همگی  $X + 11$  هستند. تعیین جنسیت در ملخ مثل انسان بر عهده‌ی نر است، چرا که دو نوع گامت از نظر کروموزوم جنسی تولید می‌کند  $X + 11$  و  $O + 11$ .



همیشه تعیین جنسیت با بود و نبود Y نیست. در ملخ تعداد کروموزوم‌های جنسی، جنسیت را تعیین می‌کند.

### تست اگر ملخ ..... یک ژن روی کروموزوم X اش داشته باشد آن را حتماً به همه‌ی فرزندان ..... می‌دهد.



- (۱) نر - نرش (۲) نر - ماده‌اش (۳) ماده - نرش (۴) ماده - ماده‌اش



ملخ نر XO است. یک عدد کروموزوم X دارد و چاره‌ای ندارد جز این‌که آن را به همه‌ی فرزندان ماده‌اش بدهد. یعنی هیچ انتخابی برایش نیست! به همه‌ی فرزندان XX اش حتماً تنها X اش را می‌دهد. اما والد ماده به احتمال  $\frac{1}{2}$  یک X و به احتمال  $\frac{1}{2}$  X دیگرش را به فرزند ماده‌اش می‌دهد.





**تست** در ملخ طول بال صفتی تک‌ژنی و وابسته به X است و آل بلند بر کوتاهی غالب است. از آمیزش ملخ نر بال کوتاه با ملخ ماده‌ی بال بلند، فرزند اول ماده‌ی بال کوتاه شده است. کدام یک در مورد زاده‌های این زوج خوشبخت درست نیست؟

- (۱)  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها بال بلند (۲) نرها بال بلند (۳)  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها دارای آل بلند (۴)  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها دارای آل کوتاهی

**پاسخ** می‌بینید که چیز جدیدی ندارد. ملخ نر  $X^1O$  است (بال کوتاه) و ملخ ماده می‌تواند  $X^LX^L$  باشد یا  $X^LX^1$ . چون بچه‌ی اول  $X^1X^1$  شده است یعنی حتماً ملخ ماده یک آل  $X^1$  دارد و در نتیجه  $X^LX^1$  است.

$$X^1O \times X^LX^1 \rightarrow \frac{1}{4}X^1X^1 + \frac{1}{4}X^LX^1 + \frac{1}{4}X^LX^1 + \frac{1}{4}X^1O$$

همان طور که می‌بینید  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها بال کوتاه و  $\frac{1}{4}$  دیگر بال بلند هستند.  $\frac{1}{4}$  نرها بال کوتاه و  $\frac{1}{4}$  دیگر بال بلند هستند، همین‌طور در مورد ماده‌ها. می‌بینید که  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آل کوتاهی بال را دارند و  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها آل بلندی بال را.

**تست** در سهره رنگ‌بال صفتی وابسته به X، تک‌ژنی و ۲ آلی است که در آن رنگ سیاه به رنگ خاکستری غالب است. از آمیزش سهره‌ی نر بال خاکستری و ماده‌ی بال سیاه، کدام یک درست است؟

- (۱) همه‌ی زاده‌ها آل سیاهی دارند. (۲)  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها آل خاکستری را دارند. (۳) همه‌ی ماده‌ها خاکستری هستند. (۴) نیمی از نرها سیاه هستند.

**پاسخ** سهره‌ی ماده  $X^BY$  است و سهره‌ی نر  $X^bX^b$ .

همان‌طور که می‌بینید همه‌ی زاده‌ها  $X^b$  (آل خاکستری) دارند.  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها  $X^B$  (آل سیاهی) دارند. همه‌ی ماده‌ها خاکستری هستند و همه‌ی نرها سیاه.

**تست** صفت رنگ‌بال در کبوتر وابسته به X، تک‌ژنی و ۲ آلی است که آل خاکستری بر سفید غالب است. از آمیزش کبوتر نر بال سفید با کبوتر ماده‌ی بال خاکستری، در  $F_2$  ..... زاده‌ها و ..... نرها خاکستری هستند.

- (۱)  $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$  (۲)  $\frac{1}{4}$  همه (۳)  $\frac{1}{4}$  همه (۴)  $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$

**پاسخ** همین مسائل نوع اول را امکان دارد در مورد  $F_2$  بپرسند که مثل مسائل سابق  $F_2$  است که قبلاً گفته‌ایم و یاد گرفته‌اید.

$P: X^KY \times X^kX^k \rightarrow F_1: \frac{1}{2}X^KX^k + \frac{1}{2}X^kY \rightarrow F_2: \frac{1}{4}X^kY + \frac{1}{4}X^KY + \frac{1}{4}X^KX^k + \frac{1}{4}X^kX^k$   
می‌بینید که در  $F_2$ ،  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها و همین‌طور  $\frac{1}{4}$  نرها خاکستری هستند.

## آمیزش‌ها مونو هیبریدی - نوع دوم

**۶** این نوع مسائل از شایع‌ترین مسائل سال‌های اخیر کنکور هستند (هم مونو هیبریدی و هم دی هیبریدی) و یک جورهایی حل آن‌ها برای بچه‌ها سخت شده است! دقت کنید که با یک نکته و کلید نمی‌شود همه را حل کرد و گذشت. این نوع مسائل چند وجه قابل بررسی دارند که باید به وجوه آن‌ها مسلط شوید. دنبال شاه کلید و نکته‌ی طلایی نباشید، دنبال فهمیدن باشید. در این مسائل ما نمی‌دانیم که صفت ما اتوزومی است یا وابسته به X و رابطه‌ی بین آل‌ها چگونه است، بلکه از روی شواهد و قرائن باید پی ببریم که دنیا دست چه کسی است!

یاد بگیرید که هر جا نر و ماده دیدید نگویید صفت وابسته به X است. به هر حال در هر صفت اتوزومی هم ازدواج بین یک جانور نر و ماده صورت می‌گیرد. در حالتی که همه‌ی زاده‌ها (نر و ماده) فنوتیپ یکسان دارند، چه نتیجه‌ای بگیریم؟

**تست** با توجه به آمیزش روبه‌رو صفت منقار در سهره‌ها ..... و رابطه‌ی بین آل‌ها ..... است.

**P:** سهره‌ی ماده‌ی منقار بلند  $\times$  سهره‌ی نر منقار کوتاه

**F<sub>1</sub>:** همه‌ی سهره‌ها منقار متوسط

(۱) اتوزومی - هم‌توانی

(۲) اتوزومی - غالب ناقص

(۳) وابسته به X - هم‌توانی

(۴) وابسته به X - غالب ناقص



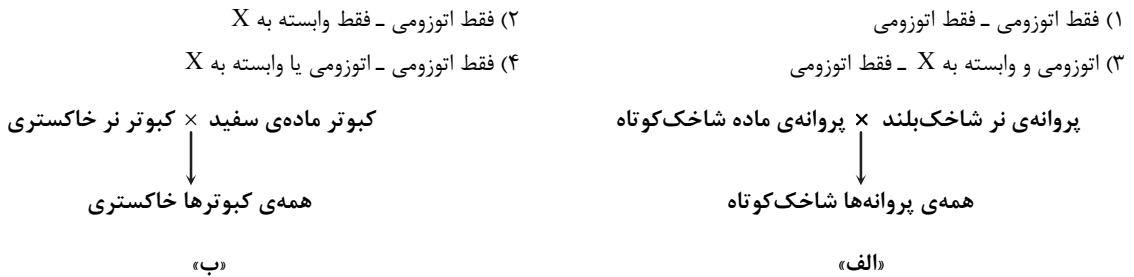


تحلیل: وقتی همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ حدواسط یا هم‌توان را نشان می‌دهند یعنی حتماً حتماً و فقط فقط آن صفت اتوزومی است. چرا؟ چون اگر صفت وابسته به X بود، فرد XY (پرنده‌ی ماده) نمی‌توانست فنوتیپ حدواسط را نشان دهد. چرا؟ چون یک کروموزوم X بیشتر ندارد! و نمی‌تواند ۲ آلل یک صفت وابسته به X را هم‌زمان داشته باشد.

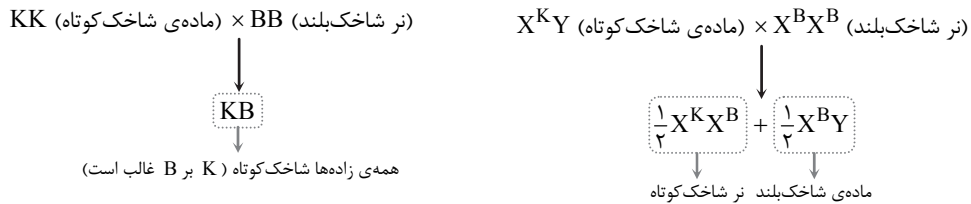
اگر در آمیزش مونوهیبریدی همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ حد واسط یا هم‌توان داشته باشند یعنی آن صفت حتماً اتوزومی است و هیچ‌وقت وابسته به X نیست.

**b** حالا اگر همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ یکی از والدین را نشان دهند، نتیجه چیست؟

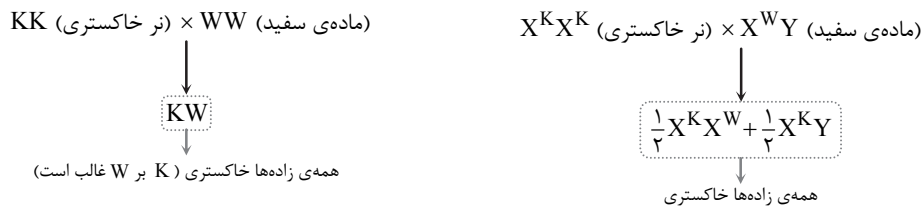
با توجه به آمیزش‌های زیر، الگوی آمیزش الف ..... و الگوی آمیزش ب ..... است.



دقت کنید فرق حالت «الف» و «ب» این است که در حالت «الف» همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد ماده و در حالت «ب» همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد نر را دارند. حالت «الف» را برای دو الگوی اتوزومی و وابسته به X آنالیز می‌کنیم:



می‌بینید که در حالتی که همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد ماده را دارند، این صفت می‌تواند اتوزومی باشد اما نمی‌تواند وابسته به X باشد. بعد حالت «ب» را برای الگوی اتوزومی و وابسته به X آنالیز می‌کنیم:



می‌بینید در حالتی که همه‌ی زاده‌ها در F<sub>1</sub> فنوتیپی شبیه والد نر دارند، هم الگوی اتوزومی صادق است و هم الگوی وابسته به X. پس:

اگر در آمیزش بین پروانه یا پرنده‌ی نر و ماده، همه‌ی زاده‌ها در F<sub>1</sub> فنوتیپ والد ماده را داشته باشند، الگوی آن صفت فقط اتوزومی است و نمی‌تواند وابسته به X باشد. اما اگر همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد نر را داشته باشند، آن‌وقت الگوی صفت هم می‌تواند وابسته به X باشد و هم اتوزومی. این‌بوری فقطش کنید که تعداد الگوهای صادق برابر با تعداد X هاست! یعنی اگر فنوتیپ زاده‌ها در F<sub>1</sub> شبیه والد XY بود، چون این والد یک X دارد فقط الگوی اتوزومی صادق است و اگر فنوتیپ زاده‌ها در F<sub>1</sub> شبیه والد XX بود، چون دوتا X دارد، دو الگوی اتوزومی و وابسته به X صادق هستند.



**تست** در مورد آمیزش روبه‌رو کدام یک از جملات زیر درست است؟

سهره‌ی نر منقار بلند × سهره‌ی ماده منقار کوتاه  
↓  
 $\frac{1}{4}$  نر منقار کوتاه +  $\frac{1}{4}$  ماده منقار کوتاه

- (۱) این صفت حتماً اتوزوم است.
- (۲) این صفت حتماً وابسته به X است.
- (۳) این صفت می‌تواند اتوزوم یا وابسته به X باشد.
- (۴) همه‌ی زاده‌های  $F_1$  هوموزیگوس هستند.

**پاسخ** خواستیم با این سؤال بگوییم که  $\frac{1}{4}$  نر A و  $\frac{1}{4}$  ماده A، یعنی همه‌ی زاده‌ها A. یک وقت گول نخورید. همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد ماده را دارند و این یعنی صفت فقط اتوزومی است و همه‌ی زاده‌های  $F_1$  هتروزیگوس هستند.



سهره‌ی نر بال کوتاه خاکستری × سهره‌ی ماده بال بلند سیاه  
↓  
 $\frac{1}{4}$  نر بال کوتاه سیاه +  $\frac{1}{4}$  ماده بال کوتاه خاکستری

**تست** با توجه به آمیزش روبه‌رو .....

- |     |     |
|-----|-----|
| (۲) | (۱) |
| (۴) | (۳) |

(از قصد گزینه‌ها را ندرایم، گزینه‌ها مهم نیستند)

**پاسخ** در این سؤال دقت کنید که ما با دو صفت روبه‌رو هستیم:

- ۱  $\frac{1}{4}$  نر بال سیاه +  $\frac{1}{4}$  ماده بال خاکستری
- ۲ همه‌ی زاده‌ها بال کوتاه!

در مورد صفت رنگ بال با هم به زودی حرف می‌زنیم. وقتی همه‌ی زاده‌ها بال کوتاه هستند و فنوتیپ والد نر را دارند، یعنی الگوی صفت می‌تواند وابسته به X یا اتوزومی باشد.

**۷** خب تا این‌جا در پروانه‌ها و پرنده‌ها زاده‌های  $F_1$  را که شبیه یکی از والدین بودند، بررسی کردیم. حالا همان  $F_1$  آن‌ها را می‌گیریم و ادامه می‌دهیم تا  $F_2$ !

ظاهراً در همه‌ی حالت‌های فوق، افراد  $F_1$  به هر حال شبیه یکی از والدین هستند. حواستان باشد  $F_2$  در الگوی وابسته به X نسبت به حالت اتوزومی کاملاً متفاوت می‌شود. برای بهتر جا افتادن! موضوع همان مثال‌های **الف** و **ب** را تا  $F_2$  ادامه می‌دهیم.

همه‌ی پروانه‌ها شاخک کوتاه → پروانه‌ی نر شاخک بلند × پروانه‌ی ماده شاخک کوتاه **الف**  
گفتیم که در این حالت چون همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد ماده را دارند پس فقط الگوی اتوزومی صادق است.

$$P: KK \times BB \rightarrow F_1: KB \times KB \rightarrow F_2: \frac{1}{4}KK + \frac{1}{2}KB + \frac{1}{4}BB$$

دو جور برداشت →  $\frac{1}{4}$  شاخک بلند +  $\frac{3}{4}$  شاخک کوتاه → ۳:۱

دو جور برداشت →  $\frac{1}{8}$  ماده‌ی شاخک بلند +  $\frac{1}{8}$  نر شاخک بلند +  $\frac{3}{8}$  ماده‌ی شاخک کوتاه +  $\frac{3}{8}$  نر شاخک کوتاه → ۳:۳:۱:۱

**ب** همه‌ی کبوترها خاکستری → کبوتر ماده‌ی سفید × کبوتر نر خاکستری  
چون همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد نر را دارند پس هم الگوی اتوزوم صادق است و هم وابسته به X. هر دو را آنالیز می‌کنیم:

$$P: KK \times WW \rightarrow F_1: KW \times KW \rightarrow F_2: \frac{1}{4}KK + \frac{1}{2}KW + \frac{1}{4}WW$$

دو جور برداشت →  $\frac{1}{4}$  سفید +  $\frac{3}{4}$  خاکستری → ۳:۱

دو جور برداشت →  $\frac{1}{8}$  ماده‌ی سفید +  $\frac{1}{8}$  نر سفید +  $\frac{3}{8}$  ماده‌ی خاکستری +  $\frac{3}{8}$  نر خاکستری → ۳:۳:۱:۱

دیدید که اتوزوم این حالت دقیقاً شبیه اتوزوم حالت قبل بود! از اول هم باید می‌فهمیدید و حساب نمی‌کردید! چی؟ ما چرا حساب کردیم؟ والله ما پوب همش طلائییم! حساب کنیم به پوریه، نکنیم به پوریه! طلا هم که حسابش پاکه از ما سابه چه پاکه!



(همه خاکستری)  $\frac{1}{4}X^KX^W + \frac{1}{4}X^KY$   $\rightarrow F_1$ :  $\frac{1}{4}X^KX^K + \frac{1}{4}X^KX^W + \frac{1}{4}X^KY + \frac{1}{4}X^WY$  (ماده سفید)  $X^WY$   $\times$  (نر خاکستری)  $X^KX^K$ : حالت وابسته به X

$\rightarrow F_1$ :  $\frac{1}{4}X^KX^K + \frac{1}{4}X^KX^W + \frac{1}{4}X^KY + \frac{1}{4}X^WY$

دو جور برداشت  $\rightarrow$   $\frac{3}{4}$  خاکستری +  $\frac{1}{4}$  سفید  $\rightarrow 3:1$   
 $\frac{1}{4}$  ماده سفید +  $\frac{1}{4}$  ماده خاکستری +  $\frac{1}{4}$  نر خاکستری  $\rightarrow 2:1:1$

نتیجه‌ی اخلاقی جالب این‌که در پرنده‌ها و پروانه‌ها، وقتی در  $F_1$  همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ یکی از والدین را دارند، هم در الگوی وابسته به X و هم در الگوی اتوزومی بدون در نظر گرفتن جنسیت،  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها فنوتیپ غالب و  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها فنوتیپ مغلوب را نمایش می‌دهند. با در نظر گرفتن جنسیت می‌بینید که نسبت‌های فنوتیپی  $F_1$  در حالت اتوزومی می‌شود ۱:۱:۱:۱ و در حالت وابسته به X می‌شود ۲:۱:۱ (این‌ها را نباید حفظ کنید). یعنی در حالت اتوزومی با در نظر گرفتن جنسیت، ۴ نوع فنوتیپ داریم ولی در حالت وابسته به X، ۳ نوع. این همه وارد جزئیات نشدیم که همه را حفظ کنید. نه شما می‌توانید حفظ کنید نه ما می‌توانیم تمام حالات ممکن را بنویسیم! شما باید آنالیز مسئله را یاد بگیرید. باید یاد بگیرید آزمون و خطا کنید که صفت اتوزومی است یا وابسته به X.

۸ بعد از حالتی که همه‌ی زاده‌ها یک نوع فنوتیپ دارند (با توجه به جنسیت، ۲ نوع) می‌رسیم به حالتی که زاده‌ها مستقل از جنسیت، ۲ نوع فنوتیپ دارند.

با توجه به طرح زیر، در مورد صفت رنگ چشم کبوتر چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟ (سر اسری ۷۶)

♂ چشم قهوه‌ای  $\times$  ♀ چشم سیاه

$P$ :  $\frac{1}{2}$  چشم سیاه +  $\frac{1}{2}$  چشم قهوه‌ای

$F_1$ :  $\frac{1}{2}$  چشم سیاه +  $\frac{1}{2}$  چشم قهوه‌ای

(۱) اتوزومی و سیاه، غالب است.  
 (۲) اتوزومی و قهوه‌ای، غالب است.  
 (۳) وابسته به جنس و سیاه، غالب است.  
 (۴) وابسته به جنس و قهوه‌ای، غالب است.

این صفت حتماً وابسته به X است، چون بین نر و ماده در  $F_1$  پراکنش یکسانی ندارد. اگر صفت اتوزومی بود، بین نر و ماده یکسان پخش می‌شد و نر و ماده یا قهوه‌ای می‌شدند یا سیاه.

کبوتر نر در  $F_1$ ، XX است و یک آلل قهوه‌ای از کبوتر نر P گرفته است و چون این کبوتر (کبوتر نر  $F_1$ ) سیاه است، پس آلل دیگرش آلل سیاهی است. پس کبوتر نر  $F_1$ ، سیاه X قهوه‌ای X است! با این حال سیاه‌رنگ است. یعنی آلل سیاهی بر آلل قهوه‌ای غالب است.

اگر صفتی بین نر و ماده پراکنش متفاوتی داشته باشد (متمقارن پخش نشده باشد) آن صفت حتماً وابسته به X است و اتوزوم نیست. در آمیزش‌های پرنده و پروانه که زاده‌های نر یک نوع فنوتیپ و زاده‌های ماده یک نوع فنوتیپ دیگر دارند (و کلاً همین دو نوع فنوتیپ را داریم)، زاده‌ی XX هتروزیگوس است و فنوتیپ غالب یا حدواسط دارد. چرا؟ چون والد XX (در P) حتماً خالص است. چرا؟ چون اگر نباشد در زاده‌ها در  $F_1$  با در نظر گرفتن جنسیت بیش از ۲ نوع فنوتیپ ایجاد می‌کند. پس زاده‌ی XX در  $F_1$  ناخالص است و دارای فنوتیپ غالب یا حدواسط. یادت باشه در حالتی که در زاده‌ها فقط دو نوع فنوتیپ می‌بینی (با در نظر گرفتن جنسیت).

اگر در پرنده‌ها و پروانه‌ها صفتی اتوزومی باشد، حتماً پراکنش آن بین نر و ماده یکسان است. اما اگر صفتی پراکنش یکسان بین نر و ماده داشته باشد، می‌تواند اتوزومی یا وابسته به X باشد. باید با نکته‌های قبلی بررسی کنید.

۹ بعد از این حالت می‌رسیم به حالتی که در زاده‌ها با در نظر گرفتن جنسیت ۴ نوع فنوتیپ می‌بینیم:

با توجه به آمیزش زیر، کدام یک در مورد صفت طول بال در سهره نادرست است؟

طول بال در سهره صفتی ..... است که در آن آلل ..... بال غالب است.

P: سهره‌ی ماده‌ی بال کوتاه  $\times$  سهره‌ی نر بال بلند

$F_1$ :  $\frac{1}{4}$  ماده‌ی بال کوتاه +  $\frac{1}{4}$  نر بال کوتاه +  $\frac{1}{4}$  ماده‌ی بال بلند +  $\frac{1}{4}$  نر بال بلند

(۱) اتوزومی - بلندی (۲) اتوزومی - کوتاهی (۳) وابسته به X - بلندی (۴) وابسته به X - کوتاهی



گزینه‌ها را یکی یکی بررسی می‌کنیم:

گزینه‌ی (۱): فرض می‌کنیم A آل بلند و a آل کوتاهی باشد.

$$Aa \times aa \rightarrow \begin{matrix} \frac{1}{2} Aa & + & \frac{1}{2} aa \\ \downarrow & & \downarrow \\ \text{بال بلند} & & \text{بال کوتاه} \end{matrix}$$

می‌دانید که از  $\frac{1}{2}$  بال بلندها، نصف نر هستند ( $\frac{1}{4}$ ) و نصف ماده ( $\frac{1}{4}$ ). در مورد بال کوتاه‌ها هم همین‌طور. پس گزینه‌ی (۱) صادق است.

گزینه‌ی (۲): مثل حالت قبل است فقط A می‌شود کوتاهی بال و a می‌شود بلندی بال. و داستان عین دفعه‌ی قبل درست از آب درمی‌آید.

گزینه‌ی (۳):  $X^A$  را آل بلندی و  $X^a$  را آل کوتاهی می‌گیریم.

$$X^A X^a \times X^a Y \rightarrow \frac{1}{4} X^A X^a + \frac{1}{4} X^A Y + \frac{1}{4} X^a X^a + \frac{1}{4} X^a Y$$

اینم که صادق!

گزینه‌ی (۴):  $X^A$  را آل کوتاهی و  $X^a$  را آل بلندی در نظر می‌گیریم.

$$X^a X^a \times X^A Y \rightarrow \frac{1}{2} X^a X^a + \frac{1}{2} X^a Y$$

هورا این دروغ می‌گفت، صادق نبور!

وقتی از آمیزش یک پروانه یا پرنده‌ی نر با یک پروانه یا پرنده‌ی ماده با توبه به جنسیت در زاده‌ها ۴ نوع فنوتیپ با فراوانی برابر دیده می‌شود، الگوی صفت می‌تواند هم اتوزومی و هم وابسته به X باشد و نیاز به آنالیز کامل دارد.

ب در بعضی از سؤال‌ها اتفاق جالبی می‌افتد ...

از آمیزش سهره‌ی نر منقار کوتاه با سهره‌ی ماده‌ی منقار کوتاه،  $\frac{3}{8}$  زاده‌ها ماده و منقار کوتاه شده‌اند. چه نسبتی از زاده‌ها نر منقار بلند می‌شوند؟

$$\frac{1}{8} \quad (۴) \qquad \frac{3}{8} \quad (۳) \qquad \frac{3}{4} \quad (۲) \qquad \frac{1}{4} \quad (۱)$$

اگر یادتان باشد هم‌چنین سوژه‌هایی را در بیماری‌های انسان هم داشتیم. می‌بینید که در  $\frac{3}{8}$ ، ۳ بر ۸ بخش پذیر نیست! و می‌دانید که

در آمیزش  $XY \times XX$  هیچ‌وقت کسر  $\frac{3}{8}$  به‌وجود نمی‌آید. در واقع کسر  $\frac{3}{8}$  بوده است  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$  که  $\frac{3}{4}$  آن یک فنوتیپ در یک صفت اتوزومی است و  $\frac{1}{2}$  آن به‌خاطر جنسیت. پس کسرهایی که مخرج ۸ دارند و صورت آن‌ها به ۲ بخش پذیر نیست ( $\frac{3}{8}$  و  $\frac{1}{8}$ ) نشان‌دهنده‌ی ضرب  $\frac{1}{2}$  جنسیت در نسبتی اتوزومی هستند.

$$\frac{3}{4} = \text{احتمال منقار کوتاه بودن} \Rightarrow \frac{1}{2} \times \text{احتمال منقار کوتاه بودن} \Rightarrow \text{احتمال ماده بودن} \times \text{احتمال منقار کوتاه بودن} = \text{احتمال ماده منقار کوتاه}$$

خب حالا شما که این کاره‌اید بفرمایید که در یک صفت اتوزومی کی فراوانی یک فنوتیپ در زاده‌ها می‌شود  $\frac{3}{4}$ ؟ در  $Aa \times Aa$ ، احتمال فنوتیپ A

در زاده‌ها  $\frac{3}{4}$  است و این اتفاق در هیچ آمیزش دیگری هم دیده نمی‌شود. در این‌جا K را آل کوتاهی فرض کنیم و آل کوتاهی منقار بر بلندی آن

غالب است. در آمیزش  $Kk \times Kk$ ، احتمال K (فنوتیپ کوتاهی منقار) می‌شود  $\frac{3}{4}$ .

$$Kk \times Kk \rightarrow \begin{matrix} \frac{1}{4} KK & + & \frac{1}{2} Kk & + & \frac{1}{4} kk \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \frac{3}{4} K & & & & k \end{matrix}$$

$$\frac{1}{8} = \text{احتمال نر بودن} \times \frac{1}{2} = \text{احتمال نر منقار بلند}$$

پس اگر در ازدواج پروانه‌ی نر و ماده یا پرنده‌ی نر و ماده‌ای (در بررسی صفت تک‌ژنی) ...

همه‌ی زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ حدواسط یا هم‌توان نشان دادند، بدانید ای دوستان خوبم که صفت موردنظر به هیچ‌وجه وابسته به X نیست.



۱) همگی زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ والد نر را نشان دادند، صفت مورد نظر هم می‌تواند اتوزومی باشد و هم وابسته به  $X$ . در  $F_2$  در هر دو الگو بدون توجه به جنسیت،  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها فنوتیپ غالب دارند و  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها فنوتیپ مغلوب. اما اگر به جنسیت توجه کنید داستان فرق می‌کند ...

۲) همگی زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ والد ماده را نشان دهند، صفت مورد نظر فقط اتوزومی است.

۳) زاده‌های نر یک نوع فنوتیپ داشته باشند و زاده‌های ماده فنوتیپی دیگر، این یعنی قطعاً آن صفت وابسته به  $X$  است.

۴) زاده‌ها نر و  $A$ ،  $\frac{1}{4}$  دیگر ماده و  $A$ ،  $\frac{1}{4}$  نر و  $B$  و  $\frac{1}{4}$  دیگر ماده و  $B$  (  $A$  و  $B$  فنوتیپ هستند) باشند، در این حالت صفت مورد نظر می‌تواند هم اتوزومی باشد و هم وابسته به  $X$  و ...

۵)  $\frac{1}{8}$  یا  $\frac{3}{8}$  زاده‌ها یک نوع فنوتیپ داشتند، یعنی آن صفت اتوزومی است و احتمال آن فنوتیپ  $\frac{1}{4}$  یا  $\frac{3}{4}$  است که  $\frac{1}{4}$  جنسیت را در آن ضرب کرده‌اند.

۶) کلاً یاد بگیرید روی پای خودتان بایستید، برای آینده‌تان بهتر است! مثل آدم‌های فنگ این‌ها را فقط نکنید! مثل آدم‌های باهوش آن‌ها را بفهمید!

۷) الکی نگید باشه! اگه راست می‌گید همگی موارد ۱ تا ۶ رو روی یک کاغذ در مورد ملخ نر و ماده بنویسید ببینم!

**تست** از آمیزش ملخ نر چشم‌روشن با ملخ ماده‌ی چشم‌قهوه‌ای، همگی زاده‌ها چشم‌قهوه‌ای روشن شده‌اند. احتمال تولد ملخ نر چشم‌قهوه‌ای در  $F_2$  چه قدر است؟

- (۱) صفر      (۲)  $\frac{1}{4}$       (۳)  $\frac{1}{8}$       (۴)  $\frac{1}{8}$

۱۱) خوب، نظرت چیه؟ ملخ نر  $XO$  است و ملخ ماده  $XX$ . هیچ‌وقت نمی‌شود در یک صفت وابسته به  $X$ ، یک ملخ نر فنوتیپ حدواسط یا هم‌توان نشان دهد. پس وقتی همگی زاده‌ها فنوتیپ چشم‌قهوه‌ای روشن را نشان می‌دهند یعنی صفت اتوزومی است.

$$WW \times BB \rightarrow BW \times BW \rightarrow \frac{1}{4}BB + \dots \Rightarrow \text{احتمال نر چشم‌قهوه‌ای} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} (\text{نر}) = \frac{1}{16} = \frac{1}{4}$$

**تست** از آمیزش ملخ نر شاخک‌بلند با ملخ ماده‌ی شاخک‌کوتاه، همگی زاده‌های  $F_1$ ، شاخک‌کوتاه شده‌اند. اگر در  $F_2$   $\frac{1}{4}$  زاده‌ها، نر شاخک‌بلند باشند، چه نسبتی از زاده‌ها ماده‌ی شاخک‌کوتاه هستند؟

- (۱)  $\frac{2}{8}$       (۲)  $\frac{1}{4}$       (۳)  $\frac{1}{8}$       (۴)  $\frac{1}{8}$

**پاسخ** چک می‌کنیم ببینیم الگو، اتوزوم است یا وابسته به  $X$ .

$$P: X^B O \times X^K X^K \rightarrow F_1: X^B X^K + X^K O$$

اگر  $X^K$  به  $X^B$  غالب باشد همه شاخک‌کوتاه می‌شوند:

$$P: BB \times KK \rightarrow F_1: BK$$

اگر  $K$  به  $B$  غالب باشد، همه شاخک‌کوتاه می‌شوند:

پس تا این‌جا هر دو الگو صادق است.  $F_2$  را برای هر دو بررسی می‌کنیم:

$$X^B X^K \times X^K O \rightarrow F_2: \frac{1}{4} X^B X^K (\text{ماده‌ی شاخک‌کوتاه}) + \frac{1}{4} X^K X^K (\text{ماده‌ی شاخک‌کوتاه}) + \frac{1}{4} X^B O (\text{نر شاخک‌بلند}) + \frac{1}{4} X^K O (\text{نر شاخک‌کوتاه})$$

$$BK \times BK \rightarrow F_2: \frac{1}{4} BB + \frac{1}{4} BK + \frac{1}{4} KK$$

خب، خود سؤال گفته که در  $F_2$ ، احتمال نر شاخک‌بلند  $\frac{1}{4}$  است. می‌بینید که در

الگوی وابسته به  $X$  احتمال نر شاخک‌بلند  $\frac{1}{4}$  است اما در الگوی اتوزوم احتمال نر

شاخک‌بلند می‌شود  $\frac{1}{4}$  (احتمال نر بودن)  $\times \frac{1}{4} (BB)$  که می‌شود  $\frac{1}{16}$ . پس الگوی

صفت، وابسته به  $X$  است. در حالت وابسته به  $X$  احتمال ماده شاخک‌کوتاه

$$\text{می‌شود } \frac{1}{4} (\frac{1}{4} X^B X^K + \frac{1}{4} X^K X^K)$$

دقت کردید که اگر در ملخ همگی زاده‌ها فنوتیپ والد ماده را داشته باشند ( $XX$ )

دو نوع الگوی اتوزومی و وابسته به  $X$  در مورد صفت صادق است و ...





تست از آمیزش ملخ نر بال کوتاه با ملخ ماده‌ی بال بلند، همه‌ی زاده‌های  $F_1$  بال کوتاه شده‌اند. در  $F_2$  چه نسبتی از ماده‌ها، بال کوتاه می‌شوند؟

$$\frac{3}{4} (1) \quad \frac{1}{4} (2) \quad \frac{1}{2} (3) \quad \frac{1}{4} (4)$$

پاسخ اول ببینیم الگو اتوزومی است یا وابسته به X.

$$X^K O \times X^B X^B \rightarrow \frac{1}{2} X^B O + \frac{1}{2} X^K X^B$$

می‌بینید که جور در نمی‌آید! اگر  $X^K$  آلل کوتاهی بال باشد نمی‌شود که همه‌ی زاده‌های  $F_1$  بال کوتاه شوند. حتی اگر ملخ ماده را  $X^K X^B$  فرض کنیم باز هم ملخ نر  $X^B O$  (بال بلند) به وجود می‌آید. پس الگوی وابسته به X در مورد این صفت صادق نیست.

$$K K \times B B \rightarrow B K \times B K \quad (\text{آلل K بر B غالب است پس همه بال کوتاه هستند})$$

$$B K \times B K \rightarrow \frac{1}{4} B B + \frac{1}{2} B K + \frac{1}{4} K K$$

$\downarrow$  بال بلند                       $\downarrow$  بال کوتاه  $\frac{3}{4}$

$\frac{3}{4}$  زاده‌ها بال کوتاه هستند. خوب حالا به نظر شما چه نسبتی از ماده‌ها بال کوتاه هستند؟ معلومه! همون  $\frac{3}{4}$ .

$$\frac{\text{احتمال ماکه‌وی بال کوتاه}}{\text{احتمال ماکه بودن}} = \text{احتمال بال کوتاه بودن!}$$

تست از آمیزش ملخ نر شاخک کوتاه با ملخ ماده‌ی شاخک بلند، همه‌ی نرها شاخک بلند و همه‌ی ماده‌ها شاخک کوتاه شده‌اند. چه نسبتی از زاده‌های  $F_2$ ، شاخک بلند خواهند شد؟

$$\frac{1}{4} (1) \quad \frac{1}{2} (2) \quad \frac{3}{4} (3) \quad \frac{1}{8} (4)$$

پاسخ گفتیم که وقتی همه‌ی نرها یک جور باشند و همه‌ی ماده‌ها یک جور دیگر باشند یعنی آن صفت حتماً وابسته به X است. چرا که پراکنش متقارنی بین نرها و ماده‌ها ندارد.

$$X^K O \times X^B X^B \rightarrow F_1 : \frac{1}{2} X^B O + \frac{1}{2} X^B X^K$$

می‌بینید که آلل K بر B غالب است (چرا که  $X^B X^K$  باید فنوتیپ شاخک کوتاه داشته باشد). شاید سؤال بپرسید که چرا  $X^B X^B$  را به صورت ناخالص ننوشتیم؟ و در ادامه بگویید ما که از اول نمی‌دانستیم که  $X^K$  بر  $X^B$  غالب است. جواب سؤالتان واضح است. اگر این کار را می‌کردید نصف نرها  $X^B O$  می‌شدند و نصف دیگر  $X^K O$  که این با فرض اولیه‌ی سؤال در تضاد است.

$$X^B O \times X^B X^K \rightarrow F_2 : \frac{1}{4} X^B X^B + \frac{1}{2} X^B X^K + \frac{1}{4} X^K O + \frac{1}{4} X^B O$$

$\downarrow$  شاخک بلند                       $\downarrow$  شاخک بلند

می‌بینید که کلاً  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها شاخک بلند هستند.

تست در آمیزش بین یک ملخ نر و یک ملخ ماده،  $\frac{1}{4}$  نرها شاخک بلند شده‌اند در حالی که هیچ ملخ ماده‌ی شاخک بلندی به وجود نیامده است. چه نسبتی از زاده‌ها شاخک کوتاه هستند؟ (رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب و مغلوبی است)

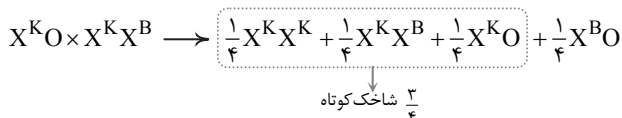
$$\frac{3}{8} (1) \quad \frac{3}{4} (2) \quad \frac{1}{4} (3) \quad \frac{1}{2} (4)$$

پاسخ اول یک  $XO \times XX$  بکشید! بعد فکر کنید! گفته  $\frac{1}{4}$  نرها  $X^B O$  هستند. پس  $XX$  حتماً یکی از کروموزوم‌هایش  $X^K$  است و دیگری

$X^B$ . چرا؟ چون وقتی گفته  $\frac{1}{4}$  نرها  $X^B O$  هستند یعنی حتماً آن  $\frac{1}{4}$  دیگر  $X^B O$  نیستند، پس چاره‌ای ندارند جز این که  $X^K O$  باشند. پس فرد ماده  $X^K X^B$  است. دیگر این که صورت سؤال گفته ملخ ماده شاخک بلند نداریم! این جمله ۲ تا معنی می‌دهد. یکی این که در آمیزش  $XO \times X^K X^B$ ،  $XO$  باید  $X^K O$  باشد، چرا که اگر  $X^B O$  باشد ملخ ماده‌ی  $X^B X^B$  (شاخک بلند) تولید می‌کند. معنی دیگر این جمله این است که  $X^K$  بر  $X^B$  غالب است. حالا چرا؟ چون در  $X^K O \times X^K X^B$ ، زاده‌ی  $X^K X^B$  به وجود می‌آید که نمی‌تواند بر اساس فرض سؤال شاخک بلند باشد، پس شاخک کوتاه است و  $X^K$  بر  $X^B$  غالب است.



ژنتیک مندلی



این تست هم از آن حالت‌هایی است که باید رفت تو شکمش ببینیم چه می‌گوید. تا حالا فکر کنم ۱۰۰ دفعه شر که گفتم همه‌پیز را فرمولی و نکته‌ای برگزار نکنید. پوبش به پشم فودتان می‌رودها! از ما گفتن بورا

تست از آمیزش دو ملخ چشم‌قهوه‌ای،  $\frac{1}{8}$  زاده‌ها ماده‌ی چشم‌تیره شده‌اند. چه نسبتی از نرها چشم‌قهوه‌ای می‌شوند؟ (صفت تک‌ژنی است و رابطه‌ی بین آل‌ها غالب و مغلوبی است.)

$$\frac{3}{4} (1) \quad \frac{3}{8} (2) \quad \frac{1}{4} (3) \quad \frac{1}{2} (4)$$

پاسخ قبلاً خدمتتان عرض کردیم که در آمیزش  $XY \times XX$  هیچ‌وقت نسبت  $\frac{3}{8}$  و  $\frac{1}{8}$  به‌وجود نمی‌آید. شاید  $\frac{2}{8}$  و  $\frac{4}{8}$  به‌وجود بیاید! چرا؟ چون  $\frac{2}{8}$  همان  $\frac{1}{4}$  است و  $\frac{4}{8}$  هم همان  $\frac{1}{2}$ . پس الگوی این صفت تک‌ژنی، اتوزومی است.

احتمال چشم‌تیره شدن  $\times$  احتمال ماده شدن = احتمال ماده‌ی چشم‌تیره

$$\frac{1}{4} = \frac{\frac{1}{8}}{\frac{1}{2}}$$

به نظر شما در یک آمیزش مونوهیبریدی اتوزومی که رابطه‌ی بین آل‌ها غالب و مغلوبی است، کی  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها یک نوع فنوتیپ را خواهند داشت و طبعاً  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها فنوتیپی دیگر را؟ (چون طبیعی است که در این حالت کلاً بیش از ۲ نوع فنوتیپ نداریم) جواب: وقتی آمیزش از نوع  $Bb \times Bb$  باشد. در این حالت  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها فنوتیپ  $b$  دارند و  $\frac{3}{4}$  دیگر فنوتیپ  $B$ .

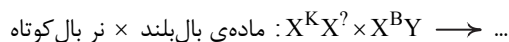
$$\frac{\text{احتمال نر چشم‌قهوه‌ای}}{\text{احتمال نر}} = \frac{\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}}{\frac{1}{4}} = \frac{3}{4}$$

حالا می‌خواهیم بدانیم چه نسبتی از نرها، چشم‌قهوه‌ای می‌شوند.

تست اگر در آمیزش سهره‌ی نر بال‌کوتاه با سهره‌ی ماده‌ی بال‌بلند،  $\frac{1}{4}$  ماده‌ها بال‌بلند شده باشند، احتمال تشکیل سهره‌ی ماده‌ی بال‌کوتاه چه قدر است؟

$$\frac{1}{8} (1) \quad \text{صفر} (2) \quad \frac{1}{4} (3) \quad \frac{1}{2} (4)$$

پاسخ متأسفانه یا خوشبختانه بهترین و کوتاه‌ترین راه، فکر کردن و خوب فکر کردن است! از حفظ کردن که آسون‌تره که!!! این سؤال هم آخرین سؤال این قسمت است. آن را گذاشتم که برای صدویکمین بار بگویم باید به‌جای حفظ کردن نکته‌ها و نتیجه‌ها، خلاق‌تر باشید. اتوزوم و وابسته به  $X$  بودن را چک می‌کنیم.



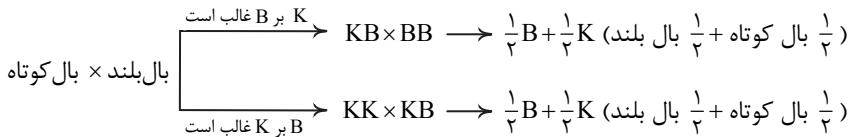
نر بال‌کوتاه می‌تواند  $X^K X^K$  یا  $X^K X^B$  باشد که در حالت اول  $X^K$  بر  $X^B$  غالب است. می‌بینید که اگر نر بال‌کوتاه را  $X^K X^K$  فرض کنید  $\frac{1}{4}$  ماده‌ها، بال‌بلند نمی‌شوند و همه‌ی ماده‌ها بال‌کوتاه می‌شوند. پس قطعاً نر بال‌کوتاه،  $X^K X^B$  است، ضمن این‌که فهمیدیم حتماً  $X^K$  بر  $X^B$  غالب است، دوباره ضمن این‌که، حتماً متوجه شده‌اید  $\frac{1}{4}$  ماده‌ها، یعنی  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها. پس در حالتی که ژنوتیپ سهره‌ها  $X^K X^B \times X^B Y$  باشد و آلل  $X^K$  بر  $X^B$  غالب باشد الگوی وابسته به  $X$  در مورد این صفت صادق است.

حالا برویم سراغ الگوی اتوزومی:

$$\frac{\text{ماده‌ی بال‌بلند}}{\text{ماده‌ها}} = \frac{1}{2}$$

در الگوی اتوزومی وقتی  $\frac{1}{2}$  ماده‌ها بال‌بلند باشند یعنی  $\frac{1}{2}$  زاده‌ها بال‌بلند هستند. حالا چرا؟ چون:

حالا آمیزش اتوزومی باید چگونه باشد که در آن  $\frac{1}{2}$  زاده‌ها بال‌بلند باشند؟



می بینید که در الگوی اتوزومی فقط همین ۲ حالت ممکن است که از پدر و مادر بال کوتاه و بال بلند،  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها بال بلند باشند (می‌توانید حالت‌های دیگر را امتحان کنید!)

خب، پس ما به ۳ حالت رسیدیم در هر ۳ حالت از آمیزش سهره‌ی نر بال کوتاه با سهره‌ی ماده‌ی بال بلند،  $\frac{1}{4}$  ماده‌ها بال بلند شده‌اند. حالا کدومش درسته؟! در هر ۳ حالت می‌آییم و احتمال ماده‌ی بال کوتاه را حساب می‌کنیم:

$$\text{KB} \times \text{BB} \rightarrow \frac{1}{4}\text{KB} \text{ (بال کوتاه)} \times \frac{1}{4} \text{ ماده} = \frac{1}{16}$$

$$\text{KK} \times \text{KB} \rightarrow \frac{1}{4}\text{KK} \text{ (بال کوتاه)} \times \frac{1}{4} \text{ ماده} = \frac{1}{16}$$

نتیجه‌ی جالب این است که در هر ۳ حالت پاسخ سؤال می‌شود  $\frac{1}{4}$  و از هر راهی می‌رفتید باید به  $\frac{1}{4}$  می‌رسیدید. نگویید این ایده‌ها فضایی است. تا به حال ۲ بار از این ایده در کنکور سؤال آمده است. حالتی که پاسخ سؤال هم در الگوی اتوزوم و هم وابسته به X عددی یکسان است.

## مسائل گهیبریدی

۱۲ به قول آقای پدر که ذکرش به خیر باد «کمر کار شکست!» اگر تا این جا را فهمیدید بقیه‌اش تعمیم همان مسائل مونوهیبریدی است. در مسائل دی‌هیبریدی هم اول به صورت مونوهیبریدی به صفت‌ها نگاه می‌کنیم و بعداً نتیجه‌ی آمیزش‌های مونوهیبریدی را در هم ضرب می‌کنیم. مسائل دی‌هیبریدی هم مثل مسائل مونوهیبریدی دو دسته‌اند. دسته‌ی ساده‌تر، آن‌هایی هستند که در صورت سؤال الگوی صفت (اتوزومی / وابسته به X) مطرح شده است. این حالت خیلی سخت نیست، فقط باید حدس بزنید که P و F<sub>۱</sub> خالص هستند یا ناخالص و چرا. حالت دوم مسائل دی‌هیبریدی مثل حالت دوم مسائل مونوهیبریدی سخت‌تر هستند، چون علاوه بر این که نیاز دارید بدانید ژنوتیپ افراد! در P، F<sub>۱</sub> و F<sub>۲</sub> چیست، باید الگوی صفت‌ها را هم پیدا کنید. *نگران نباش، تو می‌تونی!*

**تشریح** در *Biston betularia* رنگ‌بال صفتی تک‌ژنی و وابسته به X و طول بال صفتی تک‌ژنی و اتوزومی است. در آمیزش مقابل، علامت سؤال چه کسری را نشان می‌دهد؟

P:  $\frac{1}{2}$  (بال بلند و سیاه) +  $\frac{1}{2}$  (بال بلند و سفید)

F<sub>۱</sub>:  $\frac{1}{2}$  (بال بلند و سیاه خالدار) +  $\frac{1}{2}$  (بال بلند و سیاه)

F<sub>۲</sub>:  $\frac{1}{4}$  (بال بلند و سیاه خالدار) +  $\frac{1}{4}$  (بال بلند و سیاه) +  $\frac{1}{4}$  (بال بلند و سفید) +  $\frac{1}{4}$  (بال بلند و سیاه خالدار)

۱)  $\frac{1}{8}$   
 ۲)  $\frac{3}{16}$   
 ۳)  $\frac{2}{8}$   
 ۴)  $\frac{9}{16}$

**پاسخ** طرح این چنین سؤالی از مبحث ژنتیک جانوران برای اولین بار در سال ۷۴، باعث شد که ما امروز چنین فصل مبسوطی را اندر احوالات ژنتیک جانوری بنگاریم! و از آن سال به بعد انواع بهتر! و سخت‌تری نیز از این موضوع در کنکور سراسری طرح شد. می‌بینید که این سؤال، دی‌هیبریدی نوع اول است که در واقع در آن الگوی صفت‌ها مشخص شده است و فقط باید با استفاده از شواهد و قرائن بفهمیم که رابطه‌ی بین آلل‌ها چیست و چه کسی هتروزیگوس است و چه کسی هوموزیگوس. باز هم بهترین کار این است که صفت‌ها را جدا جدا در نظر بگیریم و در نهایت ضرب کنیم. صفت رنگ بال: خودش گفته رنگ بال وابسته به X است.

$$\text{ماده‌ی بال سیاه} + \frac{1}{4} \text{ نر بال سیاه خالدار} \rightarrow \text{ماده‌ی بال سفید} \times \text{نر بال سیاه}$$





وجود نر بال سیاه خال دار نشان می دهد که رابطه ی بین آلل ها هم توانی است. وقتی این را فهمیدیم دیگر خیلی ساده می شود. زرنگ باشید لازم نیست بروید P را دریاورید. شما فقط وقتی لازم است P را بنویسید که ندانید  $F_1$  چیست. پس در واقع بهترین راه حل برای این مسائل این است که از  $F_1$  شروع کنید و ببینید آیا آن را می توانید بنویسید. اگر شد که چه خوب، اگر نشد یک نیم نگاه به P می اندازیم و از روی شرایط آن  $F_1$  را کامل می کنیم. خیلی خودتان را درگیر P نکنید. تمرکزتان را روی  $F_1$  بگذارید و نیم نگاهی هم به P بیندازید.  $F_1: X^B X^W \times X^B Y \rightarrow \dots$

دیدید که  $F_1$  را راحت می شد نوشت و نیازی به داشتن P نبود، چرا که رابطه ی بین آلل ها غالب و مغلوبی نیست. بعد از یافتن  $F_1$ ، نروید  $F_2$  را کامل بنویسید، باز هم زرنگ باشید! ببینید در مورد آن صفت سؤال از شما چه خواسته است؟ سؤال، احتمال بال سیاه خال دار (بدون توجه به جنسیت) را در  $F_2$  می خواهد.

باز هم اگر زرنگ باشید می دانید که XY هیچ وقت خال خالی نمی شود، چرا که XY، XY است نه XX! نمی تواند هم زمان  $X^B$  و  $X^W$  را با هم داشته باشد. پس با یک نگاه سریع می فهمید که احتمال  $X^B X^W$ ،  $\frac{1}{4}$  است و بقیه ی  $F_2$  را به امان فرا رها می کنید. فیالنتان جمع باشد چون فردا فورس هوای بقیه ی  $F_2$  را فوهر داشت.

صفت اندازه ی بال: خودش گفته این صفت اتوزومی است. پس کاری به نر بودن یا ماده بودن نداشته باشید. بال بلند  $\rightarrow$  بال کوتاه  $\times$  بال بلند همه ی  $F_1$  شده اند بال بلند، پس آلل بلندی به کوتاهی بال غالب است و حتماً همه ی افراد  $F_1$ ، هتروزایگوس (Ll) هستند. چرا؟ چون هیچ حالتی را نمی توانید در P تصور کنید که همه ی زاده های  $F_1$ ، بال بلند شوند جز این که P، LL  $\times$  ll باشد. باز هم دیدید که یک نیم نگاهی به P انداختیم. این دفعه چون دفعه ی اولتون بود این قدر لغتش دادیم و گرنه شما که زرنکید و خودتون می دونید که چند چنده!  $F_1: Ll \times Ll \rightarrow \dots$

قرار شد که ببینیم سؤال از ما چی می خواد و نریم الکی ضرب کنیم! سؤال احتمال بال بلند را می خواهد که شما کار درستید و ضرب نکرده می گید  $\frac{3}{4}$   $(\frac{3}{4}L + \frac{1}{4}l)$ .  $(Ll \times Ll \rightarrow \frac{3}{4}L + \frac{1}{4}l)$ .

خلاصه جواب این سؤال همیشه:  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$  احتمال بال بلند و سیاه خال دار

اگر در پروانه رنگ بال، صفتی تک زنی و وابسته به X و طول شاخک، صفتی تک زنی و اتوزومی باشد، با توجه به آمیزش های زیر،  $F_2$  چه نسبتی از زاده ها، نر بال سیاه شاخک کوتاه خواهند شد؟

P: نر بال سیاه شاخک بلند  $\times$  ماده ی بال سفید شاخک کوتاه

$F_1$ :	$\frac{1}{4}$ (2)	$\frac{1}{4}$ (1)
	$\frac{1}{16}$ (4)	$\frac{1}{8}$ (3)
$F_2$ :		

شاخک بلند و سیاه  $\downarrow$   
؟



قرار شد صفت ها را جدا جدا حساب کنیم.

صفت رنگ بال: رنگ بال صفتی وابسته به X است. وقتی همه ی  $F_1$ ، سیاه رنگ است این یعنی  $X^B$  بر  $X^W$  غالب است. خب حالا بدون توجه به P، برای  $F_1$  چی می تونی بنویسی:  $X^B Y \times X^B X^W$ ?

می بینید که تا این جایش بدون توجه به P قطعی است. فقط نمی دانیم که در  $F_1$  نر سیاه رنگ، خالص است یا ناخالص. برای جواب دادن به این سؤال نیم نگاهی به P می اندازیم و طرف سیم یا سیم یا حتی نیم ثانیه می فهمیم که XX در  $F_1$  ناخالص است. چون یک X اش را از  $X^W Y$  گرفته و دیگری را از  $X^B X^B$ . شاید یک ذهن وسواسی بپرسد که آقا چرا در P، نر سیاه را  $X^B X^W$  فرض نکردیم. شما اگر فرض کنید،  $\frac{1}{4}$  زاده های  $F_1$ ، ماده ی سفید می شوند در حالی که در  $F_1$  همه سیاه اند، سیاه سیاه! پس باز هم تأکید و خواهش ما از شما عزیزان این است که کار را از  $F_1$  شروع کنید و  $F_1$  را بنویسید و برای تکمیل  $F_1$  به P توجه کنید.

$$F_1: X^B Y \times X^B X^W \rightarrow \frac{1}{4} X^B X^B + \frac{1}{4} X^B X^W + \dots$$



باید احتمال نر بال سیاه را حساب کنیم که می شود  $\frac{1}{4}$ .

صفت اندازه‌ی شاخک: خودش گفته اندازه‌ی شاخک صفتی اتوزومی ست. با توجه به این که در  $F_1$  همه شاخک بلند هستند، یعنی آلل بلندی شاخک بر کوتاهی آن غالب است. ضمناً ژنوتیپ در  $F_1$ ،  $Ll$  است نه  $LL$ . چرا؟ چون در  $P$  یکی از والدین شاخک کوتاه ( $ll$ ) است.

$$F_1: Ll \times Ll \rightarrow \frac{1}{4}ll + \dots$$

پس احتمال نر بال سیاه شاخک کوتاه می شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$  یعنی  $\frac{1}{16}$ .

با توجه به سؤال قبل چه نسبتی از ماده‌ها در  $F_2$ ، در هر دو صفت غالب هستند؟

$$\frac{3}{16} (1) \quad \frac{2}{8} (2) \quad \frac{1}{4} (3) \quad \frac{1}{16} (4)$$

استان ویرگول هر بایی می تواند پسر به یقه‌ی مبارک شما دقت کنید که وقتی با یک صفت اتوزومی و یک صفت وابسته به  $X$  طرف هستیم سعی کنید تکلیف جنسیت را در صفت وابسته به  $X$  حل کنید! اول ببینیم چه نسبتی از ماده‌ها، در صفت وابسته به  $X$  غالب هستند:

$$X^B Y \times X^B X^W \rightarrow \frac{1}{4}X^W Y + \frac{1}{4}X^B Y + \dots$$

می بینیم که  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها، ماده غالب ( $X^B$ ) هستند اما نصف ماده‌ها ( $\frac{1}{2}$ )،  $X^B$  هستند. چه قدر احتمال دارد ماده‌ای که با احتمال  $\frac{1}{4}$ ،  $X^B Y$  است، در صفت اتوزومی هم غالب باشد؟ احتمال غالب بودن در صفت اتوزومی  $\frac{3}{4}$  است. پس احتمال این که ماده‌ای، در هر دو صفت غالب باشد می شود  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ . دقت کنید احتمال تشکیل ماده‌ای که در هر دو صفت غالب باشد  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$  است. در حالت قبل ماده بودن قبل از ویرگول بود و نباید احتمالش را حساب کنیم.

با توجه به سؤال ۲ تا قبلی! در  $F_2$  چه نسبتی از پروانه‌های سیاه، نر و شاخک کوتاه هستند؟

$$\frac{1}{6} (1) \quad \frac{1}{4} (2) \quad \frac{1}{8} (3) \quad \frac{2}{3} (4)$$

$$\frac{\text{پروانه‌های سیاه و نر و شاخک کوتاه}}{\text{سیاه}} = \frac{\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{6}$$

قضیه‌ی ویرگول:

اگر در ملخ طول بال صفتی تک‌ژنی و وابسته به  $X$  و اندازه‌ی شاخک صفتی تک‌ژنی و اتوزومی باشد، با توجه به آمیزش زیر، در  $F_2$  چه نسبتی از زاده‌ها نرهای شاخک بلند و بال کوتاه هستند؟

$P$ : ماده‌ی بال کوتاه و شاخک بلند  $\times$  نر بال بلند و شاخک کوتاه

$F_1$ : ماده‌ی بال بلند و شاخک متوسط  $\times$  نر بال کوتاه و شاخک متوسط

$F_2$ :

$$\frac{1}{16} (1) \quad \frac{1}{8} (2) \quad \frac{3}{16} (4) \quad \frac{1}{4} (3)$$

بازم خودش گفته. برای صفت اندازه‌ی بال، ملخ نر  $X^L O$  است و ملخ ماده  $X^L X^L$  و آلل  $X^L$  بر  $X^l$  غالب است. چرا که در  $F_1$  ملخ ماده با ژنوتیپ  $X^L X^l$ ، بال بلند شده است. باز هم اگر بررسی چو در  $P$ ، ملخ ماده را  $X^L X^L$  فرض نکردیم به تو خواهیم گفت دوست خوبم که اگر این کار را می کردیم حتماً در  $F_1$  ملخ نر بال بلند  $X^L O$  به وجود می آمد ( $X^L$  خود را از والد ماده می گیرد). همان طور که می بینیم در  $F_1$  ملخ نر بال بلند نداریم پس در  $P$ ، ملخ ماده، خالص و  $X^L X^L$  است.

احتمال نر بال کوتاه می شود  $\frac{1}{4}$ . قبلاً گفتیم که سعی می کنیم که تکلیف جنسیت را در همان صفت وابسته به  $X$  حل کنیم مگر آن که سؤال ما را به کار دیگری مجبور کند!



در مورد اندازه‌ی شاخک هم حتماً فهمیده‌اید که رابطه‌ی بین آلل‌ها غالب ناقص است.

$$F_1: BK \times BK \rightarrow \frac{1}{4}BB + \dots$$

$$\text{احتمال نر بال کوتاه شاخک بلند} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

با توجه به سؤال قبل چه نسبتی از نرهای شاخک متوسط، بال بلند هستند؟



$$\frac{1}{4} \quad (1) \qquad \frac{1}{8} \quad (2) \qquad \frac{2}{3} \quad (3) \qquad \frac{1}{3} \quad (4)$$



$$\frac{\text{نر بال بلند شاخک متوسط}}{\text{نر شاخک متوسط}} = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}}{\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

نکته‌ی اصلی این سؤال این است که نر بودن در صورت کسر، در نر بال بلند ( $X^B O$ ) مستتر است و از آن جا حساب می‌شود ولی چون اندازه‌ی شاخک صفتی اتوزومی است،  $\frac{1}{4}$  نر بودن در مخرج به صورت مستقل از شاخک متوسط بودن محاسبه می‌شود. اگه نفهمیدین ... در صورت کسر ۳ تا آیتم داریم: نر، بال بلند و شاخک متوسط، اما ۲ تا عدد می‌نویسیم! چرا؟ چون نر بودن در بال بلند بودن محاسبه شده. چرا؟ چون این صفت وابسته به  $X$  است. اما در مخرج ۲ تا آیتم داریم و ۲ تا هم عدد می‌نویسیم. حالا چرا؟ چون در مخرج صفت وابسته به  $X$  ای نداریم و  $\frac{1}{4}$  نر بودن را باید جدا ضرب کنیم.

۱۲ آخرین بحث، مسائلی از دی‌هیبریدی است که در آن‌ها الگوی صفت‌ها مشخص نیست. در این مسائل علاوه بر تشخیص رابطه‌ی بین آلل‌ها و خالص بودن یا نبودن، باید بفهمیم که الگوی صفت اتوزومی است یا وابسته به  $X$ . روش‌ها همان‌هایی‌ست که در مونوهیبریدی در موردش حرف زدیم.

**P:** کبوتر ماده‌ی بال خاکستری نوک بلند  $\times$  کبوتر نر بال سفید نوک کوتاه

با توجه به آمیزش زیر،  $X$  چه قدر است؟



**F<sub>1</sub>:** ماده‌ی بال سفید نوک بلند  $\times$  نر بال خاکستری نوک بلند

$$\frac{1}{8} \quad (1) \qquad \frac{1}{16} \quad (2) \qquad \frac{3}{16} \quad (3) \qquad \frac{1}{4} \quad (4)$$

**F<sub>2</sub>:** ماده‌ی بال سفید نوک کوتاه  $\times$

در مونوهیبریدی کلی با هم حرف زدیم که اگر صفتی در  $F_1$ ، بین نر و ماده متفاوت باشد، حتماً وابسته به  $X$  است. پس رنگ بال



حتماً وابسته به  $X$  است.

$$F_1: X^K X^W \times X^K X^W \rightarrow \dots$$

برای این که  $X^K X^K$  را بفهمیم به  $P$  نگاه می‌کنیم.  $X^K X^K$  حتماً  $X^K X^W$  است و به هیچ وجه نمی‌تواند  $X^K X^K$  باشد. چرا؟ چون  $X^K X^W$  حتماً یک  $X$  از کبوتر نر بال سفید گرفته است ( $X^W X^W$ ). حالا شاید بگویید چرا آن کبوتر نر بال سفید در  $P$  را  $X^K X^W$  فرض نمی‌کنیم؟ چون در آن صورت از آمیزش  $X^K X^W \times X^W X^W$  در ماده‌های  $F_1$  هم بال خاکستری ( $X^K Y$ ) می‌دیدید و هم بال سفید ( $X^W Y$ ). اما حالا در  $F_1$  ماده‌ی بال خاکستری نداریم و این یعنی در  $P$ ، کبوتر نر بال سفید  $X^W X^W$  است، نه  $X^K X^W$ . ضمن این که آلل  $X^K$  بر  $X^W$  غالب است.

$$X^W X^K \times X^W X^W \rightarrow \frac{1}{4} X^W Y + \dots$$

بعد از صفت رنگ بال نوبت صفت اندازه‌ی نوک است. باید ببینیم این صفت اتوزوم است یا وابسته به  $X$ . گفتیم که وقتی همه‌ی زاده‌های  $F_1$ ، فنوتیپ والد  $XY$  (این جا ماده) را دارند یعنی آن صفت فقط از یک الگو تبعیت می‌کند و آن هم الگوی اتوزومی است. گفتیم این جور ی یاد بگیرید که تعداد الگوها با تعداد  $X$ ‌ها برابر است. اگر زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ والد  $XY$  را داشته باشند فقط الگوی اتوزومی صادق است و اگر زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ والد  $XX$  را داشته باشند، الگوی اتوزومی و وابسته به  $X$  صادق است (چون ۲ تا  $X$  دارد). پس صفت اندازه‌ی نوک در این سؤال اتوزومی‌ست و آلل بلندی نوک بر کوتاهی آن غالب است و همه‌ی زاده‌های  $F_1$ ،  $Ll$  هستند.

$$Ll \times Ll \rightarrow \frac{1}{4} ll + \dots$$

$$\text{احتمال کبوتر ماده‌ی بال سفید نوک کوتاه} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$



**تست** در آمیزش مقابل اگر احتمال تولد پروانه‌ی ماده‌ی سیاه و بال‌بلند در  $F_2$   $\frac{1}{16}$  باشد، احتمال  $x$  را حساب کنید.

**P:** پروانه‌ی ماده‌ی سفید بال کوتاه  $\times$  پروانه‌ی نر سیاه بال بلند

**F<sub>1</sub>:** سیاه و بال کوتاه

**F<sub>2</sub>:**  $x$  نر سیاه بال کوتاه

	$\frac{3}{8}$ (۲)	$\frac{3}{16}$ (۱)
	$\frac{1}{16}$ (۴)	$\frac{1}{8}$ (۳)

**پاسخ** گاهی در سؤال پیش شرط‌هایی می‌گذارند که از آن‌ها می‌فهمیم الگوی صفت چیست. همان‌طور که می‌بینید در  $F_1$  در هر دو صفت همه‌ی زاده‌ها یک نوع فنوتیپ دارند. در صفت رنگ‌بال، همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد  $XX$  را دارند، پس این صفت می‌تواند اتوزومی یا وابسته به  $X$  باشد که از روی پیش شرط باید بفهمیم کدام است. صفت طول بال هم فقط اتوزومی است چرا که همه‌ی زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ والد  $XY$  (والد ماده) را دارند. احتمال پروانه‌ی ماده‌ی سیاه و بال‌بلند را یک بار برای حالتی که صفت رنگ‌بال اتوزومی است حساب می‌کنیم و یک بار هم برای حالتی که این صفت وابسته به  $X$  است تا ببینیم در کدام حالت به  $\frac{1}{16}$  می‌رسیم.

گفتیم که در مورد طول بال مطمئنیم که این صفت اتوزومی است و آلل کوتاهی بال بر بلندی آن غالب است (چون در  $F_1$  همه بال کوتاه شده‌اند). احتمال بال بلند در  $F_2$  می‌شود  $\frac{1}{4}$ .

**P:** ماده سفید  $\times$  نر سیاه:  $BB \times WW \rightarrow F_1: BW \times BW$  (همه سیاه)  $\rightarrow F_2: \frac{3}{4}B$  (سیاه)

**P:** ماده سیاه  $\times$  نر سیاه:  $X^B X^B \times X^W Y \rightarrow F_1: X^B Y \times X^B X^W$  (همه سیاه)  $\rightarrow F_2: \frac{1}{4} X^B Y$  (ماده سیاه)

می‌بینید که در مورد رنگ بال هر دو الگو صادق است. باید دقت کنیم از یک جای دیگر به یک نتیجه‌ی دیگر برسیم! می‌رویم و احتمال ماده‌ی سیاه بال‌بلند را در دو حالت اتوزومی و وابسته به  $X$  حساب می‌کنیم.

$\frac{3}{4}$  (بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (ماده)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (سیاه) = احتمال ماده‌ی سیاه بال بلند وقتی رنگ بال اتوزومی باشد

$\frac{1}{16}$  (بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (ماده سیاه) = احتمال ماده‌ی سیاه بال بلند وقتی رنگ بال وابسته به  $X$  باشد

پس فهمیدید که صفت رنگ بال چاره‌ای ندارد جز این که وابسته به  $X$  باشد. حالا می‌خواهیم احتمال نر سیاه بال کوتاه را حساب کنیم.

$X^B X^W \times X^B Y \rightarrow \frac{1}{4} X^B X^W + \frac{1}{4} X^B X^B + \dots$

↓  
 $\frac{1}{4}$  نر سیاه

بال کوتاه  $\times$  نر سیاه =  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$

**تست** با توجه به آمیزش روبه‌رو، احتمال پروانه‌ی نر بال بلند و سفید در  $F_2$  چه قدر است؟

**P:** پروانه‌ی نر سیاه بال کوتاه  $\times$  پروانه‌ی ماده‌ی سفید بال بلند

**F<sub>1</sub>:**  $\frac{1}{2}$  خاکستری و بال کوتاه

**F<sub>2</sub>:** ؟ نر سفید و بال بلند

	$\frac{3}{8}$ (۲)	$\frac{1}{32}$ (۱)
	$\frac{3}{16}$ (۴)	$\frac{1}{16}$ (۳)

**پاسخ** می‌بینید که در مورد رنگ بال همه‌ی زاده‌های  $F_1$  فنوتیپ حدواسط را نشان می‌دهند و این یعنی صفت رنگ بال حتماً اتوزومی است.

**P:**  $WW \times BB \rightarrow F_1: BW \times BW \rightarrow \frac{1}{4} WW + \dots$

در مورد اندازه‌ی بال می‌بینید که در  $F_1$  همه‌ی زاده‌ها فنوتیپ والد  $XX$  را دارند. تا این‌جا کار یعنی هر دو الگوی اتوزوم و وابسته به  $X$  می‌توانند صادق باشند و البته آلل کوتاهی بال بر بلندی آن غالب است.  $P$  و  $F_1$  را برای هر دو الگوی وابسته به  $X$  و اتوزومی می‌نویسیم:

**P:**  $BB \times KK \xrightarrow{K \text{ غالب است}} F_1: BK \times BK \rightarrow F_2: \text{احتمال نر بال بلند} = \frac{1}{4} (\text{نر}) \times \frac{1}{4} (\text{بال بلند}) = \frac{1}{16}$

**P:**  $X^K X^K \times X^B Y \xrightarrow{X^K \text{ بر } X^B \text{ غالب است}} F_1: \frac{1}{2} X^K X^B + \frac{1}{2} X^K Y$  (ماده‌ی بال کوتاه)  $\rightarrow F_2: \text{احتمال نر بال بلند} = 0!$



یک منطبق یک بوری عیب که در کنگور سراسری هم دیده شده است، این است که اگر احتمال تشکیل فنوتیپ یا ژنوتیپ مورد سؤال در یک الگو صفر باشد و در الگوی دیگر یک عدد غیر صفر، با این حساب که صفر در گزینه‌ها نیست (که تقریباً همیشه هم نیست)، الگوی را که جواب غیر صفر داده است، مبنای مناسبی پاسخ سؤال قرار می‌دهیم. یک نقره‌ایی به این روش وارد است، اما ولش کن! هسش نیست!

پس با این اوصاف صفت طول بال را اتوزومی در نظر می‌گیریم تا به یکی از جواب‌های موجود در گزینه‌ها برسیم (چون اگر وابسته به X در نظر بگیریم، جواب سؤال صفر می‌شود که در گزینه‌ها نیست).

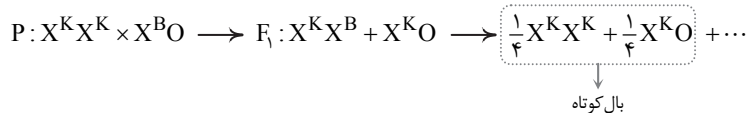
$$\text{احتمال نر سفید بال بلند} = \frac{1}{8} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{32}$$

**P:** ♂ بال بلند چشم روشن × ♀ بال کوتاه چشم تیره  
 ↓  
**F<sub>1</sub>:** ♂ بال کوتاه چشم روشن × ♀ بال بلند چشم روشن  
 ↓  
**F<sub>2</sub>:** ♂ بال کوتاه چشم تیره

در آمیزش زیر در ملخ‌ها، مقدار x کدام است؟

(۲) $\frac{3}{16}$	(۱) $\frac{3}{8}$
(۴) $\frac{1}{8}$	(۳) $\frac{1}{16}$

همه چیزهایی که در مورد پرنده‌ها و پروانه‌ها گفتیم یک جورهایی در مورد ملخ‌ها هم صادق است. می‌بینید که صفت اندازه‌ی بال در ملخ‌ها حتماً وابسته به X است. چرا که در F<sub>1</sub>، بین نر و ماده پراکنش متفاوتی دارد. ضمن این که در این حالت گفتیم فرد XX فنوتیپ غالب را نشان می‌دهد. پس در این سؤال، آلل بلندی بال بر کوتاهی غالب است.



در مورد رنگ چشم می‌بینید که همه‌ی زاده‌های F<sub>1</sub> فنوتیپ والد XO را دارند (چشم‌روشن هستند). این یعنی صفت رنگ چشم نمی‌تواند وابسته به X باشد و فقط اتوزومی است و آلل روشنی چشم (R) بر تیرگی آن (T) غالب است.

$$F_1: RT \times RT \xrightarrow{\text{R بر T غالب است}} \frac{3}{4} R + \frac{1}{4} T$$

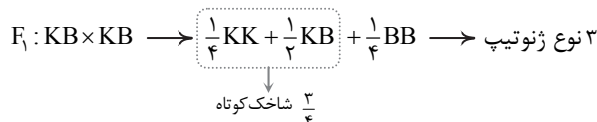
$$\text{بال کوتاه و چشم تیره} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

در آمیزش زیر اگر در F<sub>2</sub> احتمال پروانه‌ی ماده‌ی خاکستری شاخک کوتاه  $\frac{3}{16}$  باشد، در F<sub>2</sub> با در نظر گرفتن رنگ و اندازه‌ی شاخک،

چند نوع ژنوتیپ در زاده‌ها دیده می‌شود؟

<b>P:</b> پروانه‌ی ماده‌ی سیاه شاخک کوتاه × پروانه‌ی نر خاکستری شاخک بلند	(۲) ۶	(۱) ۹
<b>F<sub>1</sub>:</b> پروانه‌ی ماده‌ی خاکستری شاخک کوتاه × پروانه‌ی نر خاکستری شاخک کوتاه	(۴) ۱۶	(۳) ۱۲

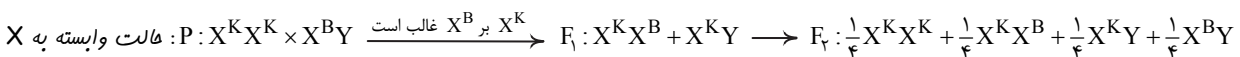
می‌بینید که در هر دو صفت زاده‌های F<sub>1</sub> شبیه به یکی از والدین هستند. از نظر رنگ همه‌ی زاده‌های F<sub>1</sub> خاکستری هستند. یعنی شبیه والد XX و این یعنی این صفت می‌تواند هم اتوزومی باشد هم وابسته به X. صفت اندازه‌ی شاخک حتماً و فقط اتوزومی است. چرا که همه‌ی زاده‌های F<sub>1</sub> فنوتیپ والد XY را دارند. ضمن این که آلل کوتاهی بر بلندی شاخک غالب است.



در مورد رنگ بال باید به  $\frac{3}{16}$  سؤال توجه کنیم. هر دو حالت اتوزوم و وابسته به X را برای رنگ بال امتحان می‌کنیم:



$$\text{خاکستری} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16} \text{ (ماده)} = \frac{3}{4} \text{ (خاکستری)}$$



$$\text{خاکستری} = \frac{1}{4}$$



پس، پس، پس صفت رنگ بال وابسته به  $X$  است نه اتوزومی. حالا با این حساب انواع ژنوتیپها را حساب می‌کنیم:

انواع ژنوتیپ برای صفت اتوزومی طول شاخک  $= 3$

انواع ژنوتیپ برای صفت وابسته به  $X$  رنگ بال  $= 4$

$\Rightarrow$  انواع ژنوتیپ برای ۲ صفت  $= 3 \times 4 = 12$

در آمیزش زیر در کبوترها، در  $F_2$  چه نسبتی از زاده‌هایی که آلل سفیدی بال را دارند، منقار بلند هستند؟

$P$ : ماده‌ی سیاه منقار بلند  $\times$  نر سفید منقار کوتاه

$$\frac{1}{4} (2)$$

(۱) صفر

$F_1$ : نر سیاه منقار بلند  $\times$  ماده‌ی سفید منقار کوتاه

$$\frac{1}{4} (4)$$

(۳)  $\frac{1}{3}$



▲ این کبوتر نامرسان متعلق به ارتش ایالات متحده بوده است.

می‌بینید که در  $F_1$  هر دو صفت بین نر و ماده متفاوت پخش شده‌اند. یعنی نر سیاه است اما ماده سفید، نر منقار بلند است در حالی که ماده منقار کوتاه. پس هر دو صفت وابسته به  $X$  هستند. نکته‌ی مهم این است که حواستان باشد دو صفت که هر دو وابسته به  $X$  هستند را حتماً پیوسته حساب کنید. چون اگر جدا جدا حساب کنید اساساً جوابتان کلی غلط در می‌آید.

$X^S$  آلل سیاهی و  $X^W$  آلل سفیدی است که  $X^S$  بر  $X^W$  غالب است. چرا؟ چون فرد  $XX$  که  $X^W X^S$  است، سیاه شده است.  $X^B$  آلل بلندی منقار و  $X^K$  آلل کوتاهی منقار است که آلل  $X^B$  بر  $X^K$  غالب است، چرا که فرد  $XX$  که  $X^K X^B$  است، منقار بلند است.

$$P: X^{WK} X^{WK} \times X^{SB} Y \rightarrow F_1: X^{WK} Y \times X^{WK} X^{SB}$$

$$\rightarrow F_2: \frac{1}{4} X^{WK} X^{WK} + \frac{1}{4} X^{WK} X^{SB} + \frac{1}{4} X^{WK} Y + \frac{1}{4} X^{SB} Y$$

$$\frac{\text{منقار بلندی که آلل سفیدی بال دارد}}{\text{آنهایی که آلل سفیدی بال دارند}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$$

$\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل  $X^W$  را دارند. در این  $\frac{3}{4}$ ، یکی از  $\frac{1}{4}$  ها، منقار بلند است ( $\frac{1}{4} X^{WK} X^{SB}$ ). پس:

حالا فرض کنید این دو صفت را پیوسته نمی‌گرفتید. چه اتفاقی می‌افتاد؟!

$$P: X^W X^W \times X^S Y \rightarrow F_1: X^W X^S \times X^W Y \rightarrow F_2: \frac{1}{4} X^W X^W + \frac{1}{4} X^W X^S + \frac{1}{4} X^W Y + \frac{1}{4} X^S Y$$

زاده‌ها دارای آلل سفیدی بال

$$P: X^K X^K \times X^B Y \rightarrow F_1: X^K X^B \times X^K Y \rightarrow F_2: \frac{1}{4} X^K X^K + \frac{1}{4} X^K X^B + \frac{1}{4} X^K Y + \frac{1}{4} X^B Y$$

منقار بلند  $\frac{1}{4}$

$$\frac{\text{منقار بلندی که آلل سفیدی بال دارد}}{\text{آنهایی که آلل سفیدی بال دارند}} = \frac{\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{4}$$

$X^B$  آلل بلندی منقار و  $X^K$  آلل کوتاهی منقار است و آلل  $X^B$  بر  $X^K$  غالب است.

نکته که همچین کسری رو تشکیل بدی! همان‌طور که می‌بینید صورت کسر منقار بلندی را می‌خواهد که آلل سفیدی بال دارند. یعنی بلندی منقار و سفیدی بال همراه با هم. اما ما این‌جا در صورت کسر زاده‌های دارای آلل سفیدی بال ( $\frac{3}{4}$ ) و زاده‌های منقار بلند ( $\frac{1}{4}$ ) را جدا از هم گذاشته‌ایم. در واقع صورت این کسر صفر است، چون زاده‌ای نداریم که آلل سفیدی بال را داشته باشد و در عین حال منقار بلند هم باشد. می‌بینید که جوابتان به کلی تغییر کرد و اشتباه شد پس هر وقت در آمیزشی دارید دو صفت وابسته به  $X$  را با هم حساب می‌کنید، حتماً باید آن‌ها را با هم پیوسته بگیرید. اما در مورد صفت‌های اتوزومی چه‌طور؟ چرا معمولاً این کار را نمی‌کنیم؟ بهش فکر کنید!



در آمیزش زیر در سهره‌ها احتمال ایجاد ماده‌ی قهوه‌ای بال بلند در  $F_2$ ،  $\frac{1}{4}$  است. احتمال نر سیاه بال کوتاه در  $F_2$  چه قدر است؟

$P$ : نر سیاه بال کوتاه $\times$ ماده‌ی قهوه‌ای بال بلند	$\frac{1}{4}$ (۲)	$\frac{1}{4}$ (۱)
↓		
$F_1$ : سیاه و بال کوتاه	$\frac{1}{32}$ (۴)	$\frac{1}{16}$ (۳)
↓		
$F_2$ : ؟		

می‌بینید که در هر صفت همه‌ی زاده‌های  $F_1$  یک نوع فنوتیپ دارند و فنوتیپ آن‌ها در هر دو صفت شبیه والد  $XX$  در  $P$  است. این یعنی هر دوی این صفت‌ها هم می‌توانند اتوزوم باشند و هم وابسته به  $X$ . برای تعیین الگوی صفت‌ها باید بررسی بیشتری انجام دهیم. احتمال ماده‌ی قهوه‌ای را در حالتی که هر دو صفت وابسته به  $X$  باشند، هر دو اتوزومی باشند و یکی اتوزومی و دیگری وابسته به  $X$  باشد (این آخری خودش ۲ حالت دارد) حساب می‌کنیم تا ببینیم در کدام حالت احتمال ماده‌ی قهوه‌ای  $\frac{1}{4}$  می‌شود.

رنگ بال

$$P: ss \times gg \xrightarrow{s \text{ بر } g \text{ غالب است}} F_1: sg \times sg \rightarrow F_2: \frac{3}{4}s + \frac{1}{4}g$$

$$P: X^sX^s \times X^gY \xrightarrow{X^g \text{ بر } X^s \text{ غالب است}} F_1: X^sX^g \times X^sY \rightarrow F_2: \frac{1}{4}X^sX^s + \frac{1}{4}X^sX^g + \frac{1}{4}X^sY + \frac{1}{4}X^gY$$

اندازه‌ی بال

$$P: BB \times KK \xrightarrow{K \text{ بر } B \text{ غالب است}} F_1: BK \times BK \rightarrow F_2: \frac{3}{4}K + \frac{1}{4}B$$

$$P: X^KX^K \times X^BY \xrightarrow{X^B \text{ بر } X^K \text{ غالب است}} F_1: X^KY \times X^KX^B \rightarrow F_2: \frac{1}{4}X^KX^K + \frac{1}{4}X^KX^B + \frac{1}{4}X^KY + \frac{1}{4}X^BY$$

$\frac{1}{4}$  (ماده)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (قهوه‌ای) = وقتی هر دو صفت اتوزومی باشند

$\frac{1}{16}$  (ماده‌ی بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (قهوه‌ای) = وقتی صفت رنگ بال اتوزومی باشد و صفت اندازه‌ی بال وابسته به  $X$

در این حالت  $\frac{1}{4}$  ماده بودن را ضرب نمی‌کنیم چون یکی از صفت‌ها وابسته به  $X$  است.

$\frac{1}{16}$  (بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (ماده قهوه‌ای) = وقتی صفت رنگ بال، وابسته به  $X$  باشد و صفت اندازه‌ی بال، اتوزومی

در این جا هم به همان دلیل بالا در  $\frac{1}{4}$  ضرب نمی‌کنیم.

دیدید که در هیچ کدام از این حالت‌ها به  $\frac{1}{4}$  نرسیدید!

از این به بعد هم امکان دارد یک اشتباه دیگر بکنید:  $\frac{1}{16}$  (ماده‌ی بال بلند)  $\times$   $\frac{1}{4}$  (ماده‌ی بال قهوه‌ای) = وقتی هر دو صفت وابسته به  $X$  باشند

این هم که  $\frac{1}{4}$  نشد!!! چرا؟ خب چون در حالتی که هر دو صفت وابسته به  $X$  هستند باید دو صفت را پیوسته حساب کنید نه گسسته. حل فوق

کاملاً غلط است. در واقع در حل فوق، ژنوتیپ فرد را  $X^BYX^gY$  در نظر گرفته‌اید، در حالی که ژنوتیپ ماده‌ی قهوه‌ای بال بلند  $X^BgY$  است.

برای محاسبه‌ی حالتی که هر دو صفت وابسته به  $X$  هستند، از اول هر دو صفت را پیوسته در نظر می‌گیریم:

$$P: X^{KS}X^{KS} \times X^{Bg}Y \rightarrow F_1: X^{KS}X^{Bg} \times X^{KS}Y \rightarrow F_2: \frac{1}{4}X^{KS}X^{KS} + \frac{1}{4}X^{KS}X^{Bg} + \frac{1}{4}X^{KS}Y + \frac{1}{4}X^{Bg}Y$$

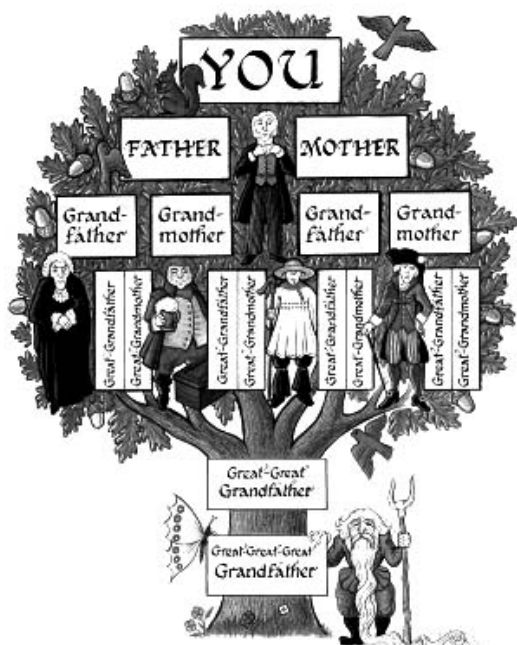
نر سیاه بال کوتاه

می‌بینید که در  $F_2$  احتمال ماده‌ی قهوه‌ای بال بلند شده است  $\frac{1}{4}$ . حالا سؤال احتمال نر سیاه بال کوتاه را می‌خواهد که می‌شود  $\frac{1}{4}$ .

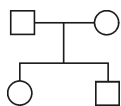
دوستان مهربان من؛ تازه این ایده‌هایی که با هم حل کردیم همه‌ی ایده‌های ممکن نبودند و خیلی بیشتر از این‌ها می‌شود فکر کرد و خلاقیت زد! می‌بینید که خیلی از این‌ها با روش‌های «اینو دیدی، اونو بزن» حل نمی‌شوند و نیاز به آنالیز و تجزیه تحلیل کامل دارند. مواظب خودتان باشید!

# شجره نام

۱ این آخرین فصل کتاب لعنتی و نفرین شده‌ی ژنتیک که بعد از ۶ سال داره تموم میشه! الان دیگه خیلی‌هایی که منتظر این کتاب بودن با هم ازدواج کردن و ۲ تا بچه هم دارن! اشکال نداره؛ چه بهتر!

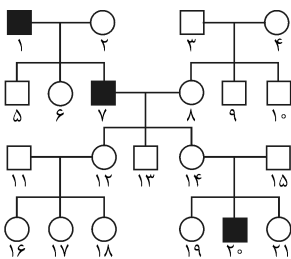


۲ شجره‌نامه یک دیو بی شاخ و دم نیست. اما چرا بچه‌ها این قدر از شجره‌نامه می‌ترسند؟ دلایل این است که معمولاً آخر از همه و عجله‌ای آن را یاد می‌گیرند، به عمقش نمی‌رسند و به طور سطحی فقط یک‌سری نکته از آن حفظ می‌کنند. دوران برخورد نکته‌ای با شجره‌نامه چند سالی‌ست که تمام شده است. در واقع نکته‌ها برای حالتی خوب هستند که دقیقاً همان کلیشه‌ی نکته‌شده سؤال بیايد، اما اگر تغییری در ایده‌ی طرح سؤال داده شود، ضمن این که دیگر آن نکته کارایی ندارد، دانش‌آموز اساساً خودش را می‌بازد و اصلاً به موضوع نزدیک نمی‌شود. مهم‌ترین کار در پاسخ به سؤالات شجره‌نامه توانایی آنالیز آن است که سعی می‌کنیم آن را با هم تمرین کنیم. نباید بترسی و از آن فرار کنی ...



۳ □ یعنی یک مرد سالم! ○ یعنی یک زن سالم. — یعنی عروسی و | یعنی بچه‌دار شدن! پس نمودار روبه‌رو یعنی یک مرد سالم با یک زن سالم ازدواج کردند و یک پسر و یک دختر سالم دارند. ● یعنی زن قصه‌ی ما بیمار و ■ یعنی مرد بیمار. تا این‌جا که انصافاً گلابی بود و بس!





در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو کدام یک نادرست است؟



- (۱) پدر بزرگ پدری فرد ۱۳ بیمار است.
- (۲) پسرخاله‌ی فرد ۱۸ بیمار است.
- (۳) پدر بزرگ مادری فرد ۲۱ سالم است.
- (۴) دایی مرد ۲۰ سالم است.

خب داستان از این‌جا شروع می‌شود! احتمالاً متوجه شده‌اید! با این‌که تست بالا اصلاً هیچ نکته‌ای ندارد ولی یک جور بددستی در آن



حس می‌کنید. باید بر این حس غلبه کنید و خودتان را با آن مواجه کنید. راهش ورود به جزئیات شجره‌نامه است. دور نایستید، بیایید داخل!  
 ۱، پدر بزرگ پدری ۱۳ است و بیمار. ۲۰، پسرخاله‌ی ۱۸ و بیمار است. ۷، پدر بزرگ مادری ۲۱ است و سالم نیست! ۱۳، دایی ۲۰ است و سالم.

یادتان هست که ۴ الگوی معروف داشتیم: اتوزومی غالب و مغلوب و همین‌طور وابسته به X غالب و مغلوب که در فصل‌های وابسته به X و بیماری‌های انسان کلی با آن‌ها سر و کله زدیم! این‌جا هم همان است. فقط با ۲ تا تفاوت:

در شجره‌نامه صفت‌ها مونوهیبریدی هستند (تا حالا هیچ شجره‌نامه‌ی دی‌هیبریدی‌ای نیامده است).

باید زبان مربع و دایره را به ژنوتیپ و فنوتیپ تبدیل کنیم (این شاید سختی ظاهری شجره‌نامه باشد).

نکته‌ی اصلی این است که شما بتوانید با آنالیز شجره‌نامه و یا با توجه به یک سری نکته بفهمید که چه الگو یا الگوهایی در شجره‌نامه صادق است و چه الگو یا الگوهایی صادق نیست.

پس در شجره‌نامه ما ۲ تا کار باید بکنیم:

تعیین الگو یا الگوهایی که در شجره‌نامه صادق هستند و یا صادق نیستند.

تعیین ژنوتیپ یا فنوتیپ بعضی از زاده‌ها که در جواب تأثیر دارند.

دیدید بازم چشم‌بسته غیب گفتیم!

خب حالا این ۲ تا کار رو چگونه بینجامیم؟

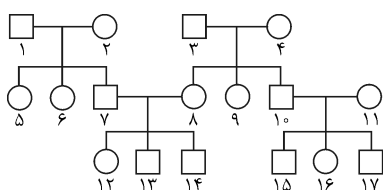
یک سری نکته هست که خیلی وقت‌ها به ما کمک می‌کنند بفهمیم این شجره‌نامه چی هست و چی نیست. اما باید مفهوم پس این نکته‌ها را بفهمیم. اگر طوطی‌وار آن‌ها را حفظ کنیم، نمی‌دانیم در کدام سؤال از کدامشان باید استفاده کنیم و ...

صورت مسئله می‌تواند شامل اطلاعاتی باشد که به ما کمک کند تا با استفاده از آن‌ها و با استفاده از نکته‌هایی که فهمیده‌ایم (در کنار هم)، الگوی شجره‌نامه را تعیین کنیم. در مورد نکته‌ها باید بدانیم که آیا آن نکته همیشه درست است یا این که در محدوده‌ی تست‌هایی که تا الان آمده! **بیش می‌رسیم توضیح می‌دهم!**

این مورد آخر از دو مورد دیگر مهم‌تر است و کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. سومین و مهم‌ترین کار در شجره‌نامه توانایی و نترسیدن از آنالیز شجره‌نامه است. گاهی شجره‌نامه‌ای می‌دهند که نه اطلاعاتی دارد و نه با نکته‌های معروف می‌شود حلش کرد بلکه باید بروی و الگوها را امتحان کنی و ژنوتیپ‌ها را بنویسی، ببینی جور درمی‌آید یا نه. اکثراً از این کار فرار می‌کنند، چون تمرین نکرده‌اند و می‌خواهند با همان فرمول‌ها سر و ته داستان را بیاورند به هم!

طراح کنکور هم که زرنک! در سال‌های اخیر شجره‌نامه‌ها معمولاً با فرمول‌ها و نکته‌های معروف حل نمی‌شوند و از نوعی هستند که حتماً نیاز به آنالیز دارند. به هر حال کسی که خوب آنالیز می‌کند، شجره‌نامه را خوب می‌فهمد و حتماً نکته‌هایش را هم درک می‌کند، اما کسی که نکته‌ای جلو می‌رود، از آنالیز می‌ترسد و نمی‌تواند همه‌ی مسائل را حل کند.

در شجره‌نامه‌ی زیر فرد ۴ یک آل هموفیلی دارد. این آل هموفیلی از فرد شماره‌ی ۴ به کدام یک نمی‌تواند برسد؟ (افراد بیمار



مشخص نشده‌اند)

- (۱) ۱۲
- (۲) ۱۴
- (۳) ۱۶
- (۴) ۱۷



این سؤال نشان می‌دهد که آنالیز یعنی چه. در واقع شجره‌نامه‌ها آمیزش‌های مونوهیبریدی ساده‌ای هستند که فقط چون به رمز نوشته می‌شوند، ظاهراً سخت به نظر می‌رسند.

در شجره‌نامه دو نکته خیلی مهم است:

۱- از بزرگ بودن شجره‌نامه نترسید و بدانید باید به کجای شجره‌نامه نگاه کنید.

۲- بدانید که به کجای شجره‌نامه نباید توجه کنید! باید ببینید سؤال از شما چه می‌خواهد.

آنالیز یعنی تعیین ژنوتیپ یا فنوتیپ‌های افراد در جهت حل سؤال (نه همه). در این سؤال فرد ۴ زن است و یک آلل هموفیلی دارد، یعنی ژنوتیپش  $X^hX$  است. آیا  $X^h$  را می‌تواند به پسرش بدهد؟ بعله. آیا می‌تواند آن را به دخترش بدهد؟ بعله. پس این آلل می‌تواند به ۸ و ۱۰ برسد. (کاری به ۹ نداریم چون در جهت حل سؤال نیست! هر چند به او هم می‌تواند برسد!) دقت کنید ما داریم در مورد امکان رسیدن آلل  $X^h$  صحبت می‌کنیم، نه این که قطعاً می‌رسد. اگر به ۸ برسد، ۸ می‌شود  $X^hX$ . آیا ۸ می‌تواند  $X^h$  را به پسرش (۱۴) بدهد؟ بعله. آیا ۸ می‌تواند  $X^h$  اش را به دخترش (۱۲) بدهد؟ بعله. آیا ۱۰ که  $X^hY$  شده است می‌تواند  $X^h$  اش را به دخترش (۱۶) بدهد؟ بعله. آیا می‌تواند  $X^h$  اش را به پسرش (۱۷) بدهد؟ نعله! چرا؟ چون پدر  $X^hY$  به پسرش  $X$  نمی‌دهد بلکه  $Y$  می‌دهد و خلاص! هر چند این سؤال سخت نیست اما می‌رساند که آنالیز شجره‌نامه یعنی چه. یعنی باید آستین‌ها و پاپه‌ها را بالا بزنید و ... دیدید که حل این سؤال نه نکته‌ی خاصی در مورد شجره‌نامه لازم داشت نه نکته‌ی خاصی در مورد ژنتیک.

۵ شجره‌نامه‌ها را از چپ به راست می‌خوانند یا از چپ به راست، نسل به نسل شماره می‌زنند می‌آیند پایین، یا این که هر نسل را با عدد یونانی نمایش می‌دهند و در هر نسل از عدد ۱ شماره‌گذاری می‌کنند. به هر حال خیلی مهم نیست!



مثلاً در این یونانیه! می‌گن  $I_2$  مادر بزرگ مادری  $III_1$  است!

۶ موضوع مهم دیگر این است که ما کلاً ۲ نوع شجره‌نامه داریم: شجره‌نامه‌های فنوتیپی و شجره‌نامه‌های ژنوتیپی. حالا این یعنی چی؟ ما گفتیم که مردها یا  $\square$  هستند یا  $\blacksquare$ . می‌بینید که اگر  $a$  آلل بیماری باشد، فنوتیپ  $AA$  و  $Aa$  یکی است و هر دو سالم و  $\square$  یا  $\circ$  هستند. این مال حالتی است که هدف شجره‌نامه نشان دادن فنوتیپ‌ها باشد. اما اگر شجره‌نامه بخواد ژنوتیپ‌ها را نشان دهد،  $AA$  را به صورت  $\circ$  یا  $\square$  نشان می‌دهد و  $Aa$  را به صورت  $\bullet$  یا  $\bullet$  که به این معنی است که  $Aa$  ناقل است و یک آلل بیماری دارد با این که بیمار نیست و از نظر فنوتیپی سالم است.

ژنوتیپ	فنوتیپ	اگر شجره‌نامه ژنوتیپی باشد	اگر شجره‌نامه فنوتیپی باشد
$AA$	$A$	$\square$ یا $\circ$	$\square$ یا $\circ$
$Aa$	$A$	$\blacksquare$ یا $\bullet$	$\square$ یا $\circ$
$X^hX$	$X$	$\bullet$	$\circ$
$X^hY$	$X^h$	$\blacksquare$	$\blacksquare$
$XY$	$X$	$\square$	$\square$



## شجره نامه های ژنوتیپ

۷ در یک نگاه می‌توانید بفهمید که شجره‌نامه ژنوتیپی است یا فنوتیپی. یادتان باشد که شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی خیلی راحت‌تر از شجره‌نامه‌ی فنوتیپی است، چون شما در شجره‌نامه‌ی فنوتیپی باید حدس بزنید که فرضاً  $\square$ ، AA است یا Aa. در حالی‌که در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی دقیقاً می‌دانید که فرد شما ناقل است یا نه.

بیش‌تر سؤال‌های کنکور تا به حال شجره‌نامه‌های فنوتیپی بوده‌اند که چالش‌بیش‌تری دارند. دو نکته‌ی اساسی در شجره‌نامه‌های ژنوتیپی وجود دارد:

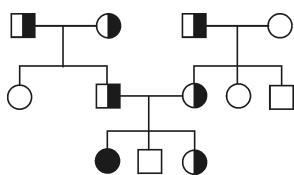
a اگر شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی باشد یعنی حتماً صفتی که در آن شجره‌نامه بررسی می‌شود، مغلوب است (اتوزوم یا وابسته به X) چرا؟ چون در صفت غالب، اصلاً فرد ناقل نداریم که  $\blacksquare$  یا  $\bullet$  بشود. چون هر فرد با داشتن یک آلل بیماری  $\bullet$  یا  $\blacksquare$  و سوت! می‌شود.

b در الگوی وابسته به X مغلوب هیچ مرد ناقلی نداریم چرا که مردها یا XY هستند که سالم‌اند و یا  $X^hY$  که بیمارند، پس در حالت وابسته به X مغلوب نمی‌توانند ناقل باشند.

پس:

هر وقت یک شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی دیدید، مطمئن باشید که صفت مورد نظر تماماً مغلوب است و نمی‌تواند غالب باشد. هر وقت در یک شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی یک مرد ناقل دیدید بدانید که الگوی آن صفت فقط می‌تواند اتوزومی مغلوب باشد، نه هیچ الگوی دیگری. اگر در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل نداشتیم باید آنالیز کنیم ببینیم اتوزوم مغلوب است یا وابسته به X مغلوب.

شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد کدام بیماری صادق نیست؟



۱) زالی

۲) کم‌خونی داسی‌شکل

۳) هموفیلی

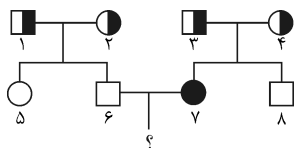
۴) تالاسمی

می‌بینید که در این شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل هست، پس قطعاً این شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. هموفیلی



وابسته به X مغلوب است و بقیه‌ی گزینه‌ها اتوزوم مغلوب هستند.

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چه قدر احتمال دارد فرد ؟ دختری ناقل شود؟



$\frac{1}{2}$  (۲)

۱ (۱)

$\frac{1}{8}$  (۴)

$\frac{1}{4}$  (۳)

سعی کنید با شجره‌نامه‌های ژنوتیپی که ساده‌تر از فنوتیپی‌ها هستند، آنالیز کردن شجره‌نامه را یاد بگیرید. این شجره‌نامه ژنوتیپی



است و مرد ناقل هم دارد پس حتماً و فقط الگوی آن می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. می‌دانید که در اتوزوم مغلوب، آلل بیماری را با حرف کوچک نمایش می‌دهند و آلل سلامتی را با حرف بزرگ.

۱، ۲، ۳ و ۴ همگی Aa (ناقل) هستند. ۵، ۶ و ۸، AA هستند و ۷، aa. خوبی شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی این است که اگر الگو را تشخیص بدهی، در تعیین ژنوتیپ مشکلی نداری. پس علامت سؤال از ازدواج  $aa \times AA$  به‌وجود آمده است. ببینید سؤال چه قدر آسان است. سؤال می‌گوید در  $aa \times AA$  احتمال دختر Aa چه قدر است. واقعاً یک جورهایی خنده‌دار است! ببینید و نترسید!

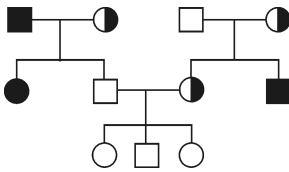
$$AA \times aa \rightarrow 1Aa$$

$$Aa \text{ احتمال دختر } = 1 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$$



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو با کدام بیماری مطابقت دارد؟

تست



- (۱) هانتینگتون
- (۲) زالی
- (۳) هموفیلی
- (۴) تالاسمی

گفتیم که برای حل شجره‌نامه از ۳ تا چیز استفاده می‌کنیم البته به ترتیب: ۱- نکته‌ها ۲- اطلاعاتی که سؤال داده (اگه داده باشه)

پاسخ

۳- در آخر آنالیز شجره‌نامه. با توجه به نکته‌ها این شجره‌نامه قطعاً غالب نیست و نمی‌تواند الگوی هانتینگتون باشد. یک نکته‌ی مهم دیگر هم هست:

در تست‌هایی که می‌گویند این شجره‌نامه چه بیماری‌ای را نشان می‌دهد، اگر دو یا سه گزینه یک نوع بیماری را نشان دهند، بدون توجه به صورت سؤال، هیچ‌کدام از آن‌ها جواب نیستند.

مهم نیست که شجره‌نامه‌اش چه شکلی باشه!

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو الگوی بیماری کدام می‌تواند باشد؟

تست

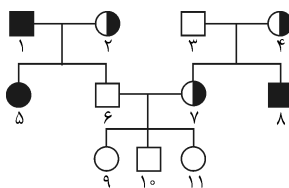
- (۱) فنیل کتونوریا
- (۲) هانتینگتون
- (۳) زالی
- (۴) کم‌فونی داسی شکل

بدون این که اصلاً شجره‌نامه رو ببینی می‌تونی بگی که جواب این سؤال هانتینگتونه. چرا؟ چون ۳ گزینه‌ی دیگر الگوی یکسانی دارند (اتوزوم مغلوب) و اگر یکی از آن‌ها جواب باشد ۲ تای دیگر هم هستند! البته دیکه فیلی وقت سؤال این بوری ندارند! این سؤال‌ها در دهه‌ی ۶۰ و اوایل دهه‌ی ۷۰ فراوان بودند.

پاسخ

با توجه به نکته‌ی بالا تالاسمی و زالی هیچ‌کدام نمی‌توانند جواب سؤال باشند، چون هر دو یک الگو را دارند. پس جواب می‌شود هموفیلی! اما چرا؟ گفتیم که شجره‌نامه‌های ژنوتیپی اصلاً نمی‌توانند الگوی غالب داشته باشند و بعد گفتیم که اگر در آن‌ها مرد ناقل ببینید یعنی آن شجره‌نامه حتماً و فقط از الگوی اتوزوم مغلوب پیروی می‌کند. حالا این‌جا مرد ناقل نداریم. پس باید آستین‌هایمان را بزنیم بالا و شجره‌نامه را آنالیز کنیم.

چون نمی‌دانیم نکته‌ی سؤال در کجای آن مستتر است باید ژنوتیپ‌ها را برای همه بنویسیم. یکی سراغ پدر و مادرها بروید ببینید که در حالت اتوزوم مغلوب بچه‌هایی را که می‌بینید تولید می‌کنند یا در حالت وابسته به X مغلوب. البته به مرور باید بتوانید این کار را ذهنی انجام دهید.



۱×۲ ← اگر اتوزومی باشد: ۱، aa و ۲، Aa است. آیا  $Aa \times aa$  می‌تواند بچه‌ی aa (۵) و AA (۶) بدهد؟ خیر! بچه‌ی Aa می‌شود اما AA نمی‌شود!

۱×۲ ← اگر وابسته به X باشد: ۱،  $X^hY$  و ۲،  $X^hX$  است. آیا  $X^hY \times X^hX$  می‌تواند بچه‌ی  $X^hX^h$  (۵) و XY (۶) بدهد؟ بعله!

تا همین جا کافیه! چرا؟ چون ما در بررسی یک خانواده فهمیدیم که الگوی این شجره‌نامه حتماً وابسته به X مغلوب است و حتماً اتوزوم مغلوب نیست.

وقتی شجره‌نامه یک الگویی دارد یعنی آن الگو در همه‌ی نقاط آن شجره‌نامه صادق است. اگر یک الگو در یک نقطه از شجره‌نامه صادق نباشد، یعنی آن الگو در کل شجره‌نامه صادق نیست.

در مورد کدام شجره‌نامه هر دو الگوی اتوزوم مغلوب و وابسته به X مغلوب صادق است؟

تست



این سؤال به شما آنالیز کردن را یاد می‌دهد! می‌بینید که همه‌ی شجره‌نامه‌ها ژنوتیپی هستند.

پاسخ



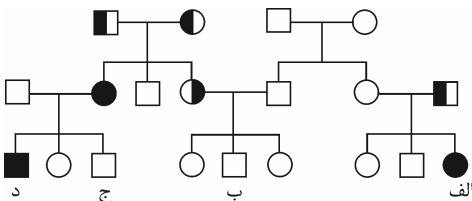
گزینه‌ی (۱): وقتی پدر aa است آیا می‌شود بچه‌ای باشد که آلل a نداشته باشد؟ معلومه که نه، درحالی‌که پسر خانواده سالم است و آلل بیماری ندارد (ناقل نیست). پس این گزینه نمی‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. حالا وابسته به X چی؟ پدر  $X^hY$  و مادر XX است. پدر  $X^h$  اش را می‌دهد به دخترش و او را ناقل می‌کند. پسر از پدرش Y می‌گیرد و مادرش X سالم به او می‌دهد و او سالم می‌شود.

گزینه‌ی (۲): در الگوی اتوزوم، پدر aa و مادر Aa است که می‌توانند پسر aa و دختر Aa تولید کنند. پس این گزینه با الگوی اتوزوم مغلوب مطابقت دارد. الگوی وابسته به X هم در این شجره‌نامه می‌تواند صادق باشد. پدر  $X^hY$  و مادر  $X^hX$  است که پسر  $X^hY$  و دختر  $X^hX$  دارند.

گزینه‌ی (۳): در حالت اتوزوم، پدر AA و مادر Aa است که نمی‌توانند پسر aa ایجاد کنند. در حالی‌که در حالت وابسته به X مغلوب، مادر  $X^hX$  می‌تواند پسر  $X^hY$  ایجاد کند! البته Y از پدر و  $X^h$  از مادر.

گزینه‌ی (۴): الگوی اتوزوم مغلوب صادق نیست. چرا که پدر aa و مادر Aa نمی‌توانند پسر AA داشته باشند. اما الگوی وابسته به X مغلوب صادق است. پدر  $X^hY$  و مادر  $X^hX$ ، پسری XY و دختری  $X^hX$  دارند.

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو احتمال به‌وجود آمدن کدام یک وجود دارد؟



تست

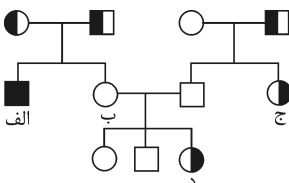
- (۱) الف
- (۲) ب
- (۳) ج
- (۴) د

در این شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی، مرد ناقل داریم پس الگوی صفت، اتوزوم مغلوب است و لاغیر. حالا یکی یکی گزینه‌ها را آنالیز می‌کنیم.

فرد «الف» aa است پس یک a را از پدرش گرفته یکی دیگر را از مادرش. اما می‌بینیم که مادر فرد «الف» آلل a ندارد، پس احتمال ندارد که فرد «الف» به وجود بیاید. فرد «ب» ژنوتیپ AA دارد. پس یک A را از پدرش گرفته و A دیگر را از مادرش. پدرش AA است و مادرش Aa.  $Aa \times AA$  می‌تواند AA تولید کند. پس احتمال به‌وجود آمدن فرد «ب» هست. فرد «ج» AA است در حالی‌که مادرش aa است و حتماً یک a به فرد «ج» می‌دهد. پس احتمال تولد فرد «ج» وجود ندارد. فرد «د» aa است در حالی‌که پدرش AA است و حتماً یک A به فرد «د» می‌دهد. پس فرد «د» هم نمی‌تواند به‌وجود بیاید.

پاسخ

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو احتمال به‌وجود آمدن کدام یک وجود ندارد؟



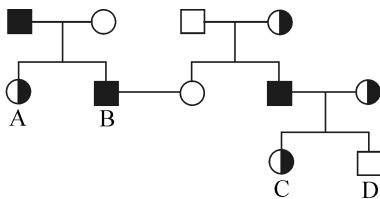
تست

- (۱) الف
- (۲) ب
- (۳) ج
- (۴) د

این شجره‌نامه قطعاً اتوزوم مغلوب است و لاغیر، چرا که مرد ناقل داریم. فرد «الف» aa است و پدر و مادرش هر دو Aa که می‌توانند بچه‌ی aa داشته باشند. فرد «ب» AA است از پدر و مادر Aa که این هم ممکن است. فرد «ج» Aa است و پدرش Aa و مادرش AA که می‌توانند بچه‌ی Aa تولید کنند. فرد «د» Aa است ولی پدر و مادرش هر دو AA هستند و هیچ آلل بیماری‌ای ندارند. از آمیزش  $AA \times AA$  فرد Aa به‌وجود نمی‌آید.

پاسخ

در شجره‌نامه‌هایی که سؤال در مورد یک فرد خاص است، فرد «الف»، «ب»، یا علامت سؤال یا X، فردتان را در کلیت شجره‌نامه سرگردان نکنید. از کلیت شجره‌نامه کمک بگیرید تا بفهمید که الگوی شجره‌نامه چیست. بعد بروید سراغ همان آدم‌ها که در مورد آن‌ها سؤال شده است و بررسی را از آن‌ها و پدر و مادرشان یا بچه‌هایشان شروع کنید. از اول اول، بالا سمت چپ شجره‌نامه، قرار نیست همه را آنالیز کنیم، فیلی وقت می‌گیرد و فیلی وقت‌ها لازم هم نیست. جاهایی را بایر آنالیز کنید که به حل سؤال کمک می‌کنند.

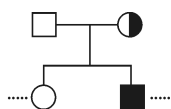


در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو احتمال به‌وجود آمدن کدام‌یک وجود ندارد؟



- A (۱)
- B (۲)
- C (۳)
- D (۴)

یک پیز مهم! وقتی سؤالی می‌گوید احتمال به وجود آمدن «الف»، «ب»، «ج» و «د» وجود دارد یا نه (یعنی آن را می‌پرسد) ما نمی‌توانیم از ژنوتیپ آن‌ها برای تعیین الگوی کلی شجره‌نامه و حتی برای تعیین ژنوتیپ دیگران استفاده کنیم. چرا؟ فب معلومه ریکه! چون اون‌ا فردشون پاشون گیره و معلوم نیست که درست باشن و آکه درست نباشن (با احتمال  $\frac{1}{3}$  یا  $\frac{2}{3}$  درست نیستن، چرا؟) باعث گمراه شدن ما میشن.

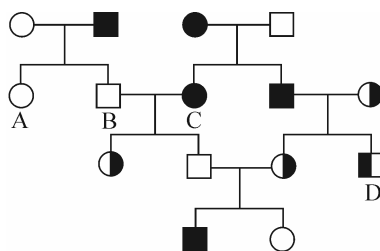


اول الگوی شجره‌نامه را تعیین می‌کنیم. شجره‌نامه ژنوتیپی است اما مرد ناقل ندارد. پس شجره‌نامه حتماً



مغلوب است اما وابسته به X یا اتوزومی؟ باید به دنبال اطلاعات دیگری بگردیم. در سمت راست و بالای شجره‌نامه، خانواده‌ای را می‌بینیم که در آن زن ناقل، پسری بیمار دارد در حالی که پدر خانواده آلل بیماری ندارد. اگر الگو را اتوزوم

فرض کنید یعنی از ازدواج پدر AA و مادر Aa بچه‌ی aa به‌وجود آمده است که این اتفاق غیرممکن است. اما این اتفاق می‌تواند در الگوی وابسته به X بیفتد. اگر مادر  $X^hX$  (ناقل) باشد و پدر XY (سالم)، می‌توانند پسر  $X^hY$  (بیمار) تولید کنند. پس الگوی این شجره‌نامه قطعاً و فقط وابسته به X مغلوب است. حالا می‌بینیم سراغ گزینه‌ها، نمی‌بینیم همه رو آنالیز کنیم! از گزینه‌ها شروع می‌کنیم. A،  $X^hX$  است. می‌تواند  $X^h$  اش را از پدرش گرفته باشد و X سالم‌اش را از مادرش. B،  $X^hY$  است و نمی‌تواند به‌وجود بیاید. چرا؟ چون از پدرش فقط می‌توانسته Y بگیرد نه X. مادرش هم که  $X^h$  نداشته به بچه‌اش بده! C،  $X^hX$  است که  $X^h$  اش را از پدرش گرفته و X سالم‌اش را از مادرش (مادرش  $X^hX$  است). D، XY است که Y اش را از پدرش گرفته و X اش را از X سالم مادرش.



احتمال به‌وجود آمدن کدام‌یک در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو وجود دارد؟

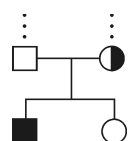


- A (۱)
- B (۲)
- C (۳)
- D (۴)

اولین و مهم‌ترین نکته‌ی این سؤال این است که فرد D، مردی ناقل است. آیا از روی آن می‌توانیم بفهمیم الگوی شجره‌نامه چیست؟



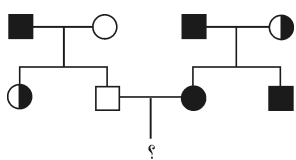
قبلاً گفتیم که نه. چرا؟ چون امکان دارد فرد D از همان افرادی باشد که نمی‌تواند به‌وجود بیاید (به احتمال  $\frac{3}{4}$  این فرد نمی‌تواند به‌وجود بیاید) و اون وقت ما از فردی فهمیدیم الگوی شجره‌نامه چیست که خودش نمی‌توانسته به‌وجود بیاید. چون این شجره‌نامه ژنوتیپی ست، حتماً مغلوب است اما باید بفهمیم که اتوزوم است یا وابسته به X. برای این کار چاره‌ای جز آنالیز نداریم، ضمن این‌که روی ژنوتیپ‌های A، B، C و D نمی‌توانیم حساب کنیم، چون می‌توانند غلط باشند.



در این قسمت از شجره‌نامه (نسل ۳ و ۴) می‌بینید که در نسل ۳، مادر یک آلل بیماری دارد و پدر آلل بیماری ندارد. در حالی‌که در نسل ۴ پسر بیمار شده است. در اتوزوم مغلوب پسر aa خواهد بود و حتماً باید پدر و مادرش هر دو ناقل و Aa باشند. پس الگوی این شجره‌نامه نمی‌تواند اتوزوم مغلوب باشد، چون پدر AA است نه Aa. اما در حالت وابسته به X مغلوب مادر  $X^hX$  است و  $X^h$  اش را می‌دهد به پسرش و پسرش با یک آلل  $X^h$  بیمار می‌شود. بعد از تعیین الگو می‌رویم سراغ گزینه‌ها.



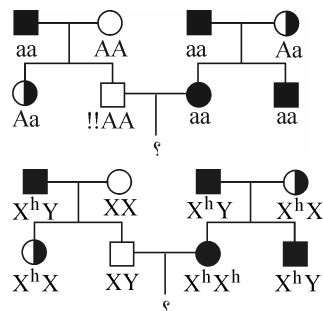
A, XX است. نمی تواند به وجود بیاید چرا که پدرش  $X^hY$  است و حتماً  $X^h$  را به دخترش می دهد در حالی که A,  $X^h$  ندارد. B, XY است. Y اش را از پدرش گرفته و X اش را از مادرش. می تواند به وجود بیاید. C,  $X^hX^h$  است و نمی تواند به وجود بیاید. چون با این که مادرش  $X^hX^h$  است اما پدرش اصلاً  $X^h$  ندارد. ضمناً پسرش هم XY است. زنی که بیماری وابسته به X مغلوب دارد حتماً همه ی پسرهایش بیمار خواهند شد. نگویید پسر C که سالم است به وجود نمی آید! چرا؟ چون A و B و C و D می توانند به وجود نیایند، نه والدین یا فرزندان آن ها. D هم نمی تواند به وجود بیاید. چرا؟ خب معلومه دیگه! در الگوی وابسته به X مغلوب که مرد ناقل نداریم!



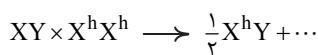
در شجره نامه ی روبه رو چه نسبتی از زاده ها بیمار می شوند؟

- (۱) صفر  $\frac{1}{4}$  (۲)  
 (۳)  $\frac{1}{2}$  (۴) ۱

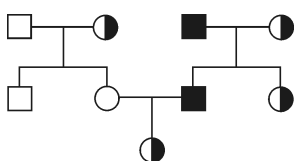
شجره نامه ژنوتیپی ست و الگوی آن حتماً مغلوب است. مرد ناقل نداریم، پس یا اتوزوم مغلوب است یا وابسته به X مغلوب. حالا باید



بینیم چند چند است. هر دو حالت را باید امتحان کنیم تا در یکی به تضاد برسیم. به این میگن یه آنالیز واقعی. یعنی اومدیم و الگوی اتوزومی رو برای همه نوشتیم و در پدر علامت سوال به تضاد خوردیم! و فهمیدیم که الگوی این شجره نامه نمی تواند اتوزوم مغلوب باشد. می بینید که در حالت وابسته به X مغلوب به هیچ تضادی نمی رسیم و همه چیز ردیف ردیف است. حالا دیگه سؤال خیلی ساده به نظر می رسد.



۸ می خواهیم پنجره ی جدیدی به رویتان باز کنیم که ریشه ی همه ی بدبختی ها و ترس ها از شجره نامه از این جاست: اینو دیدی، اینو بزن! تا این جای کار رو اگر به سبک ما اومدی جلو که خوش اومدی. گذاشتیم این نکته رو این جا بگیم که یک کمی هم آنالیز یاد بگیرید و ترستون بریزه.

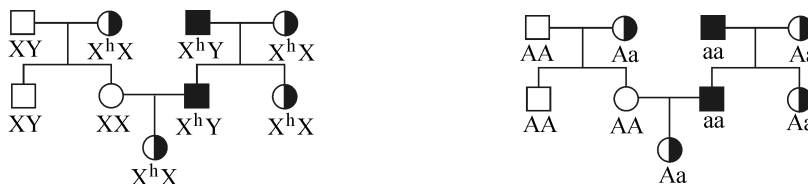


چند الگو در شجره نامه ی روبه رو صادق است؟

- (۱) ۱ (۲) ۲  
 (۳) ۳ (۴) ۴

«اگر مرد ناقل در شجره نامه ژنوتیپی ندیدی یعنی آن شجره نامه وابسته به X مغلوب است». با این نکته ی نسبی که به صورت

تمام عیار از آن استفاده می شود، جواب سؤال بالا می شود گزینه ی (۱). چرا؟ چون شجره نامه ژنوتیپی است، و ۲ الگوی غالب جواب نمی شوند. پس این شجره نامه یا اتوزوم مغلوب است یا وابسته به X مغلوب. با این نکته ی بالا هم چون این شجره نامه مرد ناقل ندارد، الگوی آن می شود وابسته به X مغلوب.



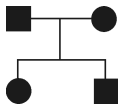
در کمال تعجب می بینید که هر دو الگوی اتوزوم مغلوب و وابسته به X مغلوب در مورد این شجره نامه که مرد ناقل هم ندارد، صادق هستند و اگر شما با این نکته سر کنکور می رفتید و این تست را می دادند، حتماً اشتباه می زدید. در واقع نکته هایی که از شجره نامه استخراج و ارائه می شوند، دو نوع هستند: نکته های قطعی و نکته های نسبی.

نکته ی قطعی یعنی نکته ای که همیشه درست است و بستگی به نوع سؤال ندارد. مثلاً این نکته که «اگر در شجره نامه ای فرد ناقل بینیم، آن شجره نامه به هیچ وجه نمی تواند غالب باشد» همیشه قطعی است چرا که در الگوی غالب ما اصلاً فرد ناقل نداریم. عمراً! یا این قاعده که «اگر در شجره نامه ای ژنوتیپی مرد ناقل دیدیم، آن شجره نامه قطعاً اتوزوم مغلوب است و لاغیر» همیشه درست است. چرا که ما هیچ وقت نمی توانیم در الگوی وابسته به X مغلوب مرد ناقل داشته باشیم. اما نکته ی «همه ی شجره نامه های ژنوتیپی که مرد ناقل ندارند، وابسته به X مغلوب هستند»



نسبی است و ایراد اساسی دارد که استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند به‌خصوص در سال‌های اخیر که طراحان کنکور سؤال‌ها را بسیار زیرکانه و خلاقانه طرح می‌کنند و بر نقطه ضعف‌های این نکته‌های نسبی واقف‌اند.

**ایراد اساسی:** راستش را بخواهید این نکته که «در هر شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی که مرد ناقل نباشد، الگوی وابسته به X مغلوب صادق است» درست است! اما نکته‌ی قطعی باید جامع و مانع باشد. یعنی علاوه بر این که می‌گوید در این حالت این الگو صادق است، باید بگوید الگوهای دیگر صادق نیستند.



به شجره‌نامه‌ی روبه‌رو توجه کنید:

**نکته‌ی مسخره:** اگر پدر و مادر بیمار باشند و همه‌ی فرزندان آن‌ها هم بیمار شوند، الگوی اتوزوم مغلوب صادق است.

آیا از نکته‌ی مسخره می‌توانیم بفهمیم که چه الگویی در این حالت صادق نیست؟ آیا این نکته جامع و مانع است؟ آیا می‌شود از این نکته استفاده کرد؟

راستش را بخواهید در همین شجره‌نامه‌ی مسخره! هر ۴ الگو صادق هستند!!! (امتحان کنید!) اما باز هم این نکته‌ی مسخره غلط نیست!!! اما به درد نمی‌خورد و گمراه‌کننده است. الگوی اتوزوم مغلوب صادق است اما علاوه بر این که چه الگویی صادق است، این مهم است که چه الگوهایی صادق نیستند.

**نکته‌ی غلط:** اگر در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل نداشتیم، الگوی شجره‌نامه وابسته به X مغلوب است و لاغیر.

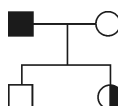
این نکته کاملاً غلط است. همین صفحه‌ی قبل یک مثال زدیم و شجره‌نامه‌ی را نشان دادیم که ژنوتیپی بود و مرد ناقل نداشت، اما هر دو الگوی وابسته به X مغلوب و اتوزوم مغلوب در آن صدق می‌کرد.

**نکته‌ی نسبی و خطرناک:** اگر در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل نداشتیم، الگوی وابسته به X مغلوب همیشه در آن صادق است.

این نکته کاملاً و همیشه درست است اما جامع و مانع نیست و خطرناک است. با این نکته همان سؤال صفحه‌ی قبل را غلط حل می‌کنید. فرق نکته‌ی غلط و نکته‌ی نسبی در «ولاغیر» آخر آن است.

**نکته‌ی درست:** همه‌ی شجره‌نامه‌های ژنوتیپی که مرد ناقل ندارند، الگوی وابسته به X مغلوب همیشه برای آن‌ها صادق است ولی گاهی علاوه بر الگوی وابسته به X مغلوب، الگوی اتوزوم مغلوب هم در مورد آن‌ها صدق می‌کند و این همان پاشنه‌ی آشیل این نکته‌ی نسبی است که اگر طراح از آن استفاده کند کلی تلفات می‌گیرد! پس چرا این نکته به‌وجود آمد؟! راستش را بخواهید نوع طرح سؤال در دهه‌ی ۶۰ و اوایل دهه‌ی ۷۰ این نکته‌ی نسبی و نکات نسبی شبیه این را رواج داد.

**تست** کدام الگو در شجره‌نامه‌ی مقابل صادق است؟ (تستی در دهه‌ی ۱۷۰)



- (۱) اتوزوم مغلوب  
(۲) اتوزوم غالب  
(۳) وابسته به X مغلوب  
(۴) وابسته به X غالب

**پاسخ** خوب دقت کنید تا بفهمید. گزینه‌های غالب حذف می‌شوند چون شجره‌نامه ژنوتیپی است و فرد ناقل دارد. چون مرد ناقل ندارد ۲ الگوی اتوزوم مغلوب و وابسته به X مغلوب می‌توانند صادق باشند.

**a** الگوی وابسته به X مغلوب همیشه صادق است.

**b** الگوی اتوزوم مغلوب گاهی صادق است.

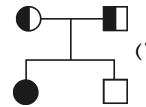
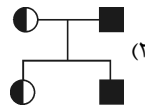
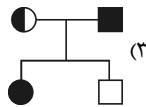
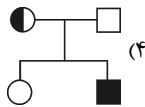
خب با توجه به ۲ گزاره‌ی a و b و با توجه به این که هر تست در کنکور فقط یک جواب دارد به نظر شما جواب چی می‌شه؟! خب معلومه وابسته به X مغلوب.

در واقع برای این که این جور تست‌ها فقط یک جواب درست داشته باشند، طراح مجبور بود کاری کند که فقط الگوی وابسته به X مغلوب صادق باشد و الگوی اتوزوم مغلوب صدق نکند. دقت کنید طراح کار عکسش را نمی‌توانست انجام دهد. یعنی شما هیچ شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی‌ای نمی‌توانید طراحی کنید که مرد ناقل نداشته باشد و در آن الگوی وابسته به X مغلوب صادق نباشد و الگوی اتوزوم مغلوب صادق باشد. این بود که با توجه به رواج فقط این جور سؤال‌ها در آن سال‌ها، این نکته نسبی این جوری خیلی معروف شد که هر شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی که مرد ناقل ندارد، وابسته به X مغلوب است که البته ایرادش را گفتیم.

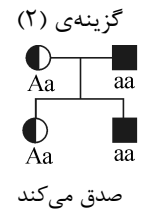
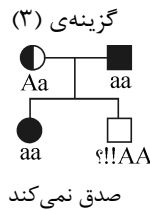
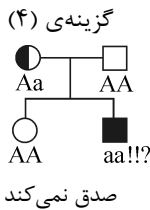




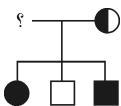
در کدام شجره‌نامه الگوهای بیش‌تری صادق است؟



می‌بینید که اگر فقط آن نکته‌ی نسبی را حفظ کرده باشید، نمی‌توانید این سؤال را حل کنید. در واقع بر اساس آن نکته‌ی نسبی گزینه‌های (۲)، (۳) و (۴) وابسته به X مغلوب هستند که درست است. این الگو در هر ۳ تای آنها صادق است اما این نکته برای حل این سؤال کافی نیست. گزینه‌ی (۱) فقط اتوزوم مغلوب است و لاغیر، چرا که مرد ناقل یعنی فقط اتوزوم مغلوب. بر اساس نکته‌ی نسبی می‌دانیم که در یک شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی که مرد ناقل ندارد حتماً الگوی وابسته به X مغلوب صادق است. پس لازم نیست آن را در گزینه‌های (۲)، (۳) و (۴) امتحان کنیم. در این ۳ گزینه الگوی اتوزوم مغلوب را امتحان می‌کنیم:



فقط گزینه‌ی (۲) است که ۲ الگوی اتوزوم و وابسته به X مغلوب در آن صدق می‌کند. در گزینه‌ی (۱) فقط اتوزوم مغلوب و در گزینه‌های (۳) و (۴) فقط وابسته به X مغلوب صادق است.



برای علامت سؤال چند نوع ژنوتیپ ممکن است؟

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

این شجره‌نامه، ژنوتیپی است و فقط بیماری‌های مغلوب در آن صادق هستند. یک مرد در بیماری‌های مغلوب می‌تواند ۵ نوع ژنوتیپ داشته باشد.

- |                  |                    |   |
|------------------|--------------------|---|
| مرد              | زن                 |   |
| AA               | x Aa               | → x فرزند بیمار نمی‌دهد                     |
| Aa               | x Aa               | → ✓ هم بیمار می‌دهد هم AA                   |
| aa               | x Aa               | → x AA نمی‌دهد                              |
| XY               | x X <sup>h</sup> X | → x دختر بیمار نمی‌دهد                      |
| X <sup>h</sup> Y | x X <sup>h</sup> X | → ✓ پسر سالم، پسر بیمار و دختر بیمار می‌دهد |

در شجره‌نامه‌ی مقابل احتمال تولد دختر بیمار چه قدر است؟



۱ (۲)

۱ (۱) صفر

$\frac{1}{4}$  (۴)

$\frac{1}{4}$  (۳)

بابا به خدا طراحی پیشرفت کردن! جدیداً کلی سؤال باصفا میدن! این شجره‌نامه ژنوتیپی است پس حتماً و فقط می‌تواند مغلوب باشد. حالا اتوزوم مغلوب یا وابسته به X مغلوب؟ در هر دو حالت احتمال دختر مغلوب را حساب می‌کنیم:

$$aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{2}aa + \frac{1}{2}Aa \Rightarrow \text{احتمال دختر بیمار} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$$X^hY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4}X^hX^h + \dots$$

می‌بینید که سؤال طوری طراحی شده که در هر دو حالت پاسخ  $\frac{1}{4}$  باشد! امکان دارد شما کلی وقت بگذارید تا تنها الگوی صادق در این شجره‌نامه را بیابید که البته نتیجه نمی‌گیرید، چون دو الگو در آن صادق است! این ایده که در یک شجره‌نامه چند الگو صادق باشد و جواب مسئله در همه‌ی الگوها یکسان باشد، قبلاً در کنکور سراسری آمده است.



جمع‌بندی شجره‌نامه‌های ژنوتیپی

۱ وقتی فرد ناقلی در یک شجره‌نامه دیدیم یعنی آن شجره‌نامه ژنوتیپی است. الگوهای غالب، ناقل ندارند. پس الگوی یک شجره‌نامه‌ی



ژنوتیپی حتماً و فقط مغلوب است: اتوزوم یا وابسته به X

۲ اگر در یک شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل دیدیم یعنی الگوی آن شجره‌نامه قطعاً و فقط اتوزوم مغلوب است. چرا که الگوی وابسته به X مغلوب (مثل هموفیلی) اصلاً مرد ناقل ندارد. در صفات وابسته به X چون مردها یک کروموزوم X دارند و XY هستند، نمی‌توانند ناقل باشند.

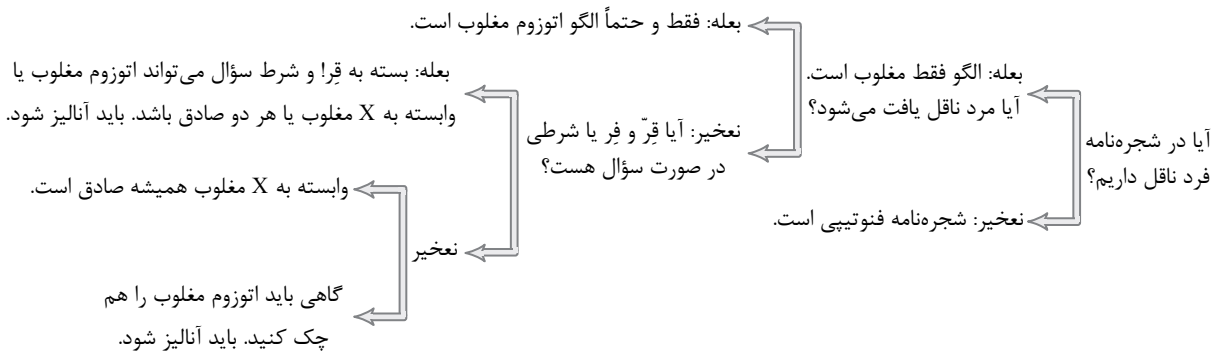
۳ اگر در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی مرد ناقل ندیدیم:

a الگوی وابسته به X مغلوب حتماً در آن صادق است (نکته‌ی نسبی - فقط را ندارد)

b الگوی اتوزوم مغلوب در آن می‌تواند صادق باشد یا نباشد. (نکته‌ی نسبی - حتماً را ندارد) و a در کنار هم: نکته‌ی قطعی

c پس اگر گفتند الگوی این شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی چیست (گزینه‌ها ۴ الگوی معروف هستند!) و سؤال فقط یک گزینه‌ی درست داشت، جواب وابسته به X مغلوب است چون طراح باید جوری سؤال را طرح کند که الگوی وابسته به X صادق باشد و الگوی

اتوزومی نه. اما اگر بپرسند در این شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی که مرد ناقل ندارد چند الگو صادق است، باید اتوزوم مغلوب را چک کنیم و ببینیم صادق است یا نه. وابسته به X مغلوب را چک نمی‌کنیم چون همیشه در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی بدون شرط که مرد ناقل ندارد، صادق است! امکان دارد شرط و احتمالی در صورت سؤال قید شود که با آن شرط، دیگر وابسته به X مغلوب صادق نباشد و تنها الگوی صادق، اتوزوم مغلوب باشد.



این الگوریتم در واقع شامل تمام نکات قطعی و نسبی شجره‌نامه ژنوتیپی است. می‌بینید که گاهی هم لازم است آنالیز کنید و این یعنی شما خلاق باقی می‌مانید! نکته‌ای زندگی نکنید.

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو از ازدواج B و C، فرزند آن‌ها به احتمال  $\frac{1}{4}$  پسری سالم خواهد بود. چه نسبتی از زاده‌ها بیمار خواهند شد؟

۱) صفر  $\frac{1}{4}$  (۲)  $\frac{1}{4}$  (۳)  $\frac{1}{3}$  (۴) ۱

خب، بر اساس الگوریتم، شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی که مرد ناقل ندارد اما در صورت سؤال شرط دارد، باید آنالیز شود! در شجره‌نامه‌های ژنوتیپی چون همه چیز معلوم است خیلی لازم نیست در عمق شجره‌نامه شروع کنیم! از پدر و مادر مورد سؤال شروع می‌کنیم.



باشد  $X^h X^h \times XY \rightarrow \frac{1}{2} X^h X + \frac{1}{2} X^h Y$  اگر الگو وابسته به X

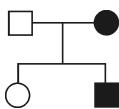
باشد  $aa \times AA \rightarrow 1Aa \Rightarrow$  احتمال پسر سالم  $= 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$  اگر الگو اتوزوم

می بینید که در الگوی وابسته به X همه ی پسرها  $X^h Y$  و بیمار می شوند. اما در الگوی اتوزوم احتمال پسر سالم می شود  $\frac{1}{2} \times 1$ ، یعنی همان  $\frac{1}{2}$ . پس با این شرطی که در شجره نامه هست، شجره نامه اتوزومی است و وابسته به X نیست. البته اگر این شرط را در نظر نگیرید و کل شجره نامه را آنالیز کنید، می بینید که هر دو الگو درست است و البته نمی شد که درست نباشد. بعد با این شرط یکی حذف شد و اتوزوم باقی ماند. می بینید که در حالت اتوزوم احتمال بیمار شدن زاده ها صفر است.

## شجره نامه ها فنوتیپ

۹ اگر در شجره نامه ای فرد ناقل را نشان ندهند که ناقل است و آن را سالم (○ یا □) نشان دهند، یعنی آن شجره نامه فنوتیپی است. در مورد الگوهای غالب، شجره نامه ها فنوتیپی می شوند چون فرد ناقل در این الگوها نیست. سختی اصلی در شجره نامه ها، مربوط به شجره نامه های فنوتیپی است و علت این امر این است که به راحتی شجره نامه های ژنوتیپی، شاید نمی توان تعیین کرد که الگوی شجره نامه چیست.

چند الگو در شجره نامه ی روبه رو صدق می کند؟



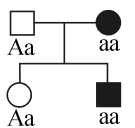
۲ (۲)

۱ (۱)

۴ (۴)

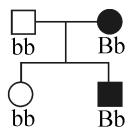
۳ (۳)

اول سؤال سخته رو دادیم که کپ کنین!!! ببینید این سؤال را با هیچ نکته ای نمی توان حل کرد! فقط راهش امتحان کردن و آنالیز کردن است. سؤال مشروط و شرط دار هم نیست. صورت سؤال، گزینه ها و شکل شجره نامه خیلی استاندارد و درست حسابی است، اما اصلاً با روش های «این رو دیدی، اون رو بزنی» قابل حل نیست! هر ۴ الگو را برای این شجره نامه فرض می کنیم:



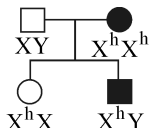
۱ اتوزوم مغلوب صادق است.

a آلل بیماری است



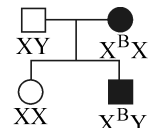
۲ اتوزوم غالب صادق است.

B آلل بیماری است



۳ وابسته به X مغلوب صادق است.

$X^h$  آلل بیماری است



۴ وابسته به X غالب صادق است.

$X^B$  آلل بیماری است

دیدید که هر ۴ الگو در این شجره نامه صادق بود!

حالا این مثال سخت را زدیم تا بگوییم سختی شجره نامه ی فنوتیپی و فرق آن با شجره نامه ی ژنوتیپی چیست. به حالت ۱ یعنی الگوی اتوزوم مغلوب دقت کنید. سختی کار این جاست که ما نمی دانیم پدر، Aa است یا AA. فقط می دانیم aa نیست (چون خانهاش سیاه نیست!). حالا از کجا می فهمیم Aa است؟ چون پسرش aa شده پس حتماً یک a را از پدرش گرفته بنابراین پدر حتماً Aa است و AA نیست. دختر می تواند AA یا Aa باشد، اما چون مادرش aa است پس او حتماً Aa است (aa هم که قطعاً نیست چون هاشور نخورده!). می بینید که این جور شکها و نیاز به این آنالیزها در شجره نامه های ژنوتیپی حس نمی شد.

در حالت ۲ یعنی الگوی اتوزوم غالب شما نمی دانید که مادر خانواده BB است یا Bb (یعنی یک آلل بیماری دارد یا ۲ تا)، اما با دیدن دخترش که bb است می فهمید که مادرش حتماً یک آلل b دارد و حتماً Bb است و BB نیست. بعد به پسر خانواده دقت می کنید و می پرسید که آیا Bb است یا BB؟ و با کمی مکث جواب می دهید، قطعاً Bb است. چرا که فقط یک B در والدین هست نه ۲ تا! پس او نمی تواند ۲ تا آلل B داشته باشد. می رویم سراغ حالت ۳. چون در الگوی وابسته به X مغلوب مردها نمی توانند ناقل باشند، فقط دختر خانواده است که می تواند ۲ نوع ژنوتیپ برایش متصور شد:  $X^h X$  یا  $X^h X^h$ . چون مادر خانواده  $X^h X^h$  است، حتماً یک  $X^h$  به دخترش می دهد و او را  $X^h X$  می کند.

در حالت ۴ باید بدانیم مادر خانواده  $X^B X^B$  است یا  $X^B X$ . با توجه به این که دختر خانواده XX است و  $X^B$  ندارد، مادر فقط می تواند  $X^B X$  باشد. بقیه ی فنوتیپها فقط یک نوع ژنوتیپ دارند.



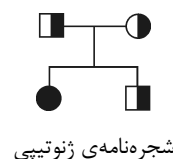
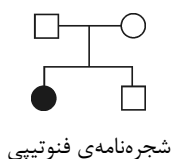
از این سؤال چند تا چیز یاد بگیرید:

□ امکان دارد در شجره‌نامه‌ای ۱، ۲، ۳ یا هر ۴ الگو صادق باشد (یعنی فقط دنبال این نباشید که در شجره‌نامه‌ی مورد سؤال به یک الگو که صادق است، برسید).

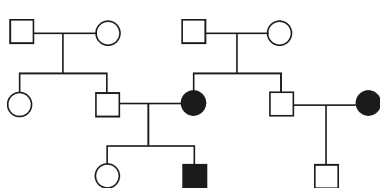
□ هر پدر ممکن است با یک سری نکته بفهمیم الگوی شجره‌نامه پیوست اما امکان دارد در شجره‌نامه‌هایی که هیچ نکته‌ای ندارند، نتوانیم بفهمیم الگو پیوست و متمماً نیاز به آنالیز و امتحان تک تک الگوها باشد.

□ بعد از تعیین الگوی یک شجره‌نامه، موضوع بعدی این است که از روی فنوتیپ آن‌ها ژنوتیپشان را پیدا کنیم. بعضی از فنوتیپ‌ها فقط یک نوع ژنوتیپ دارند و بعضی دیگر دو نوع.

□ یک جور دیگه به همین چیزهایی که گفتیم، نگاه کنید:



این دو شجره‌نامه دقیقاً یکی هستند و متعلق به یک خانواده. تنها تفاوت این است که دست چپی فنوتیپی و دست راستی ژنوتیپی است! مقایسه‌ی این دو در کنار هم جالب است. می‌بینید که در شجره‌نامه‌ی فنوتیپی، شما در نگاه اول با این مشکل روبه‌رو هستید که چه کسی خالص است و چه کسی ناخالص، در حالی که در شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی خالص یا ناخالص بودن افراد را مشاهده می‌کنید. در واقع ابهام و سختی شجره‌نامه‌ی فنوتیپی به دلیل کمبود اطلاعات! نسبت به شجره‌نامه‌ی ژنوتیپی بیشتر است.



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد زالی‌ست. ژنوتیپ چند نفر قطعاً معلوم است؟

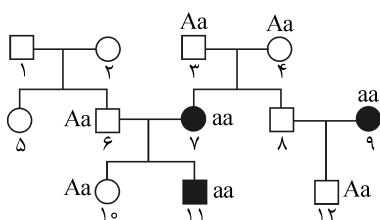


- ۷ (۱)
- ۸ (۲)
- ۹ (۳)
- ۱۰ (۴)

این شجره‌نامه ۱۲ تا آدم داره! زالی بیماری اتوزوم و مغلوب است. افراد بیمار aa هستند و فقط همین یک نوع ژنوتیپ را دارند (یعنی

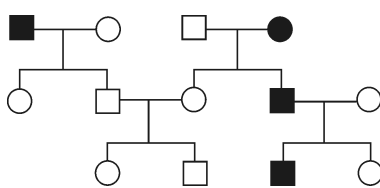


افراد ۷، ۹ و ۱۱). نکته‌ی مهم این است که شما بدانید پدر و مادر و بچه‌های فرد aa حتماً حداقل یک آلل a دارند (یا یکی دارند و Aa هستند یا



۲ تا دارند و aa و بیمار هستند). با همین یک نکته تکلیف افراد ۳، ۴، ۶، ۱۰ و ۱۲ معلوم می‌شود. این‌ها قطعاً Aa هستند و نمی‌توانند AA باشند. ۳ و ۴ هر دو Aa هستند چون بچه‌ی aa (۷) دارند. ۶ به خاطر ۱۱، ۱۰ به خاطر ۷ و ۱۲ به خاطر ۹، Aa هستند و نمی‌توانند AA باشند. ۴ نفر باقی‌مانده‌اند: ۱، ۲، ۵ و ۸. Aa است. پس پدر و مادرش (یک کدام یا هر دویشان) یک آلل a دارند اما ما نمی‌دانیم کدامشان. یعنی ۱×۲

می‌تواند AA×Aa، Aa×Aa یا Aa×AA (با در نظر گرفتن جابه‌جایی) باشد. پس ژنوتیپ ۱ و ۲ قطعی معلوم نیست. دقت کنید ۱×۲ نمی‌تواند AA×AA باشد چرا که بچه‌شان (۶) Aa است. با توجه به معلوم نبودن ژنوتیپ ۱ و ۲، ژنوتیپ ۵ هم معلوم نیست و می‌تواند AA یا Aa باشد. می‌رسیم به فرد ۸. پدر و مادر ۸، هر دو Aa هستند پس ۸ می‌تواند هم AA باشد و هم Aa. بچه‌ی ۸، Aa است و a را حتماً از مادرش که aa است، گرفته است. پس در مورد ژنوتیپ ۸ قطعی نمی‌توان نظر داد. از ۱۲ نفر، ژنوتیپ ۴ نفر را قطعی نمی‌دانیم اما بقیه قطعی معلوم هستند.



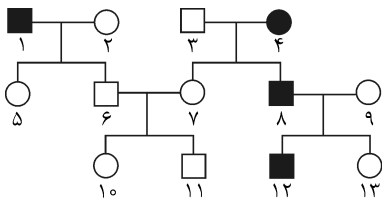
شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد هموفیلی است. ژنوتیپ چند نفر قطعاً مشخص است؟



- ۱۲ (۱)
- ۱۱ (۲)
- ۱۰ (۳)
- ۹ (۴)

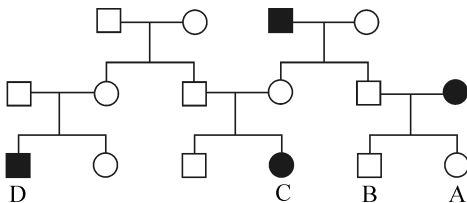


در این شجره‌نامه که وابسته به X مغلوب است ۱۳ نفر وجود دارد. ژنوتیپ مردهای سالم XY و ژنوتیپ مردهای بیمار  $X^hY$  است. مردها حالت ناقل ندارند و از همین الان ژنوتیپ آنها معلوم است. ۱، ۸ و ۱۲،  $X^hY$  و ۳، ۶ و ۱۱، XY هستند.



در بیماری‌های وابسته به X ژنوتیپ زن‌های بیمار ( $X^hX^h$ ) است. اما زن‌های غیربیمار (۲)، ۵، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۳ می‌توانند  $X^hX$  یا  $XX$  باشند که نیاز به آنالیز دارند. فرد ۲ می‌تواند  $X^hX$  یا  $XX$  باشد. اگر  $X^hX$  باشد در ازدواج با مرد  $X^hY$  (بیمار) می‌تواند پسر سالم (۶) و دختر سالم (۵) تولید کند! پس ژنوتیپ ۲ قطعی نیست. فرد ۵ حتماً  $X^hX$  است که  $X^h$  اش را از پدرش (۱) گرفته است. چون ۴،  $X^hX^h$  است پس ۷ حتماً  $X^hX$  است. ۱۰ هم معلوم نیست که  $X^hX$  یا  $XX$ . چرا که از ازدواج ۶ و ۷ ( $XY \times X^hX$ ) هر دو حالت ممکن است. ۹ حتماً  $X^hX$  است. چرا؟ چون پسرش  $X^hY$  شده است و  $X^h$  اش را نمی‌توانسته از پدرش بگیرد (چون از پدرش Y گرفته است) و آن را حتماً از ۹ گرفته است. ۱۳ فقط می‌تواند  $X^hX$  باشد چون پدر و مادرش  $X^hY \times X^hX$  هستند و نمی‌توانند دختر  $XX$  تولید کنند. پس در این شجره‌نامه از کل ۱۳ نفر ژنوتیپ‌های ۲ و ۱۰ معلوم نیستند اما ژنوتیپ ۱۱ نفر دیگر قطعی است.

شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد هموفیلی است. احتمال به‌وجود آمدن کدام دو فرد وجود ندارد؟



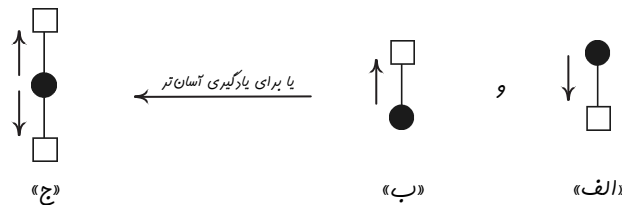
- ۱) A و B
- ۲) C و D
- ۳) B و C
- ۴) A و D

مادر A و B  $X^hX^h$  است. پس حتماً هم به پسر و هم به دخترش یک  $X^h$  می‌دهد. اگر به دخترش بدهد، دخترش  $X^hX$  می‌شود (چون پدر XY است) و اگر به پسرش بدهد حتماً آن را بیمار می‌کند، در حالی که B سالم است. پس B نمی‌تواند به‌وجود بیاید.

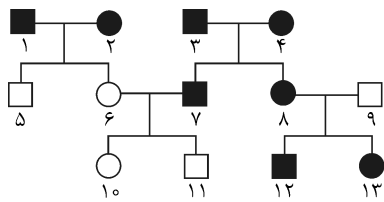
قبلاً گفتیم که هر وقت مادر بیماری، پسری بیمار داشت یا این که همه‌ی پسرهایش بیمار بودند، الگوی قطعی را نمی‌توان تعیین کرد. اما هر وقت مادری بیمار، پسری سالم داشت (مداقل یک پسر سالم)، مطمئن هستیم که الگوی آن بیماری نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد.

C،  $X^hX^h$  است و یک  $X^h$  اش را از پدرش گرفته و دیگری را از مادرش. پس پدرش که یک  $X^h$  دارد،  $X^hY$  است و حتماً بیمار در حالی که پدر C سالم است. پس C نمی‌تواند به‌وجود بیاید.

قبلاً گفتیم که در الگوهای زیادی ممکن است زن بیمار، پسری بیمار داشته باشد. اما هر وقت زنی بیمار پسری سالم داشت، الگوی بیماری به هیچ‌وجه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. پس درین این الگوها یعنی آن شجره‌نامه به هیچ‌وجه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد:



دقت کنید درین هر یک از الگوهای «الف» و «ب» و «ج» در یک شجره‌نامه کافی است تا بفهمیم که شجره‌نامه، نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد.



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد هانتینگتون است. ژنوتیپ چند نفر قطعاً معلوم است؟

تست

۷ (۱)

۹ (۲)

۱۰ (۳)

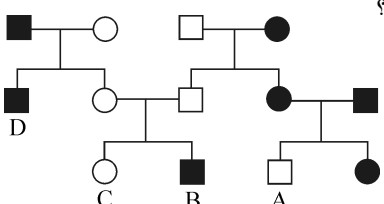
۱۲ (۴)

کلاً در این شجره‌نامه ۱۳ نفر می‌بینیم. می‌دانید که در بیماری‌های غالب، فرد با داشتن یک یا دو آلل بیماری بیمار می‌شود و آلل بیماری را با حرف بزرگ نمایش می‌دهند. در واقع افراد سالم همگی فقط یک نوع ژنوتیپ  $hh$  دارند. چون سالم‌اند. ژنوتیپ ۱ و ۲ هم قطعاً  $Hh$  است نه  $HH$ ، چرا که بچه‌های آن‌ها (۵ و ۶)  $hh$  شده‌اند. اگر ۱ و ۲ هر دو یا یکی شان  $HH$  می‌بود، حتماً همه‌ی بچه‌ها بیمار می‌شدند و  $hh$  تولید نمی‌شد. ژنوتیپ ۳ و ۴ را قطعاً نمی‌توانیم تعیین کنیم. نگویید چون همه‌ی بچه‌هایشان (۷ و ۸) بیمار شده‌اند پس ۳ و ۴ هر دو  $HH$  هستند، نه، در آمیزش  $Hh \times Hh$  هم ممکن است دو بچه‌ی بیمار به دنیا بیایند. ۷ حتماً  $Hh$  است و نمی‌تواند  $HH$  باشد، چون بچه‌هایش (۱۰ و ۱۱)، سالم و  $hh$  هستند، یعنی یکی از  $h$ ‌هایشان را از ۷ گرفته‌اند. در مورد ۸ نمی‌توانیم نظر قطعی بدهیم. چون نمی‌دانیم که ۳ و ۴  $HH$  هستند یا  $Hh$ . ضمن این‌که در آمیزش  $8, 8 \times 9$ ، چه  $HH$  باشد و چه  $Hh$ ، می‌تواند بچه‌های بیمار (۱۲ و ۱۳) تولید کند:  $Hh \times hh$  یا  $HH \times hh$ .

پاسخ

به پیزی! قبلاً تو همین کتاب گفتی. به روز یکی زنگ زده بود می‌گفت آقا مثلاً در آمیزش  $Aa \times Aa$  در مورد زالی، احتمال زال شدن  $\frac{1}{4}$  میشه. پس آگه در شجره‌نامه‌ای پدر و مادری ۴ تا بچه داشتن و هر دو  $Aa$  بودن، فقط یکی از بچه‌ها باید بیمار باشه!!! این حرف از بیخ و بن غلطه! مثل این‌که بگیم هالا که احتمال پسر و دختر شدن  $\frac{1}{2}$  هستش، پس هر خانواده‌ای که ۴ تا بچه داره، حتماً ۲ تا پسر داره ۲ تا دختر. می‌بینید که این‌طور نیست. مثلاً در این سؤال وقتی می‌بینید ۸ و ۹، ۲ تا بچه‌ی بیمار دارن (۱۲ و ۱۳)، نگید ۸، حتماً ژنوتیپ  $HH$  داره. نه! ۸ می‌تونه  $Hh$  هم باشه. با این‌که در آمیزش  $Hh \times hh$  احتمال بیمار شدن  $\frac{1}{2}$  میشه. اما همین احتمال هم می‌تونه این ۲ تا بچه رو بیمار کنه. امیروارم منظورمو رسونده باشم!

ژنوتیپ ۱۲ و ۱۳ هم حتماً  $Hh$  است چون پدرشان  $hh$  است و حتماً یک آلل  $h$  به آن‌ها می‌دهد. پس از بین این ۱۳ نفر، ژنوتیپ ۳ نفر (۳ و ۴ و ۸) قطعی نیست، اما ژنوتیپ ۱۰ نفر کاملاً قطعی و مشخص است.



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد هانتینگتون است. احتمال به‌وجود آمدن کدام یک وجود ندارد؟

تست

A (۱)

B (۲)

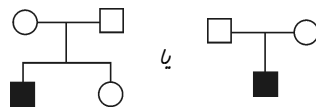
C (۳)

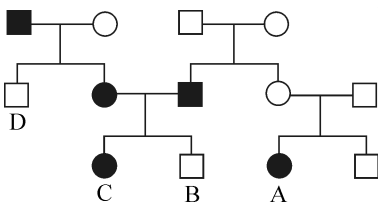
D (۴)

هانتینگتون بیماری اتوزوم غالب است. گزینه‌ها را یکی یکی بررسی می‌کنیم.  $A$ ،  $hh$  است. پدر و مادرش هر دو می‌توانند  $Hh$  باشند و خواهر  $A$  هم می‌تواند  $HH$  یا  $Hh$  باشد.  $B$  نمی‌تواند به‌وجود بیاید. چرا؟ چون  $B$  یا  $Hh$  است یا  $HH$ . در حالی‌که پدر و مادر  $B$  فقط می‌توانند  $hh$  باشند.  $C$ ،  $hh$  است.  $D$  می‌تواند به‌وجود بیاید و  $Hh$  باشد، چرا که پدرش بیمار است. یک درس خیلی بزرگ از این شجره‌نامه بگیرد:

پاسخ

در همه‌ی بیماری‌های غالب، چه اتوزومی و چه وابسته به  $X$ ، هر فرد بیمار حتماً پدر یا مادرش یا هر دو بیمار هستند. اگر پدر و مادر فرد بیماری، هر دو سالم باشند یعنی الگوی آن بیماری به هیچ‌وجه نمی‌تواند غالب باشد. پس اگر پدر و مادر سالمی حداقل یک فرزند بیمار داشتند، الگوی آن بیماری فقط می‌تواند مغلوب باشد و نمی‌تواند غالب باشد.





در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو که در مورد زالی است، احتمال به‌وجود آمدن کدام فرد وجود ندارد؟



- A (۱)
- B (۲)
- C (۳)
- D (۴)

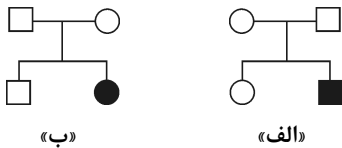
زالی بیماری اتوزوم مغلوب است. گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم. A، بیمار و aa است پس پدر و مادرش هر دو باید Aa باشند و مشکلی ندارد. B نمی‌تواند به‌وجود بیاید. چرا؟ چون B، یا AA است یا Aa، در حالی که پدر و مادرش، هر دو فقط می‌توانند aa باشند و نمی‌توانند بچه‌ی سالم تولید کنند.



در بیماری مغلوب (په اتوزوم، په وابسته به X) امکان ندارد پدر و مادری که هر دو بیمار هستند بتوانند بچه‌ی سالم ایجاد کنند. اگر در شجره‌نامه‌ای پدر و مادری بیمار، حداقل یک بچه‌ی سالم داشته باشند، الگوی آن بیماری فقط می‌تواند غالب باشد و نمی‌تواند مغلوب باشد.

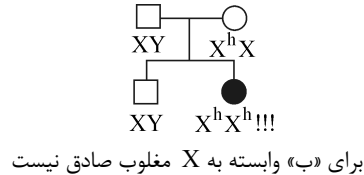
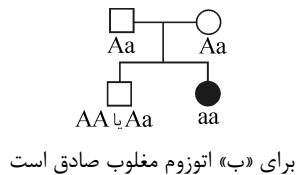
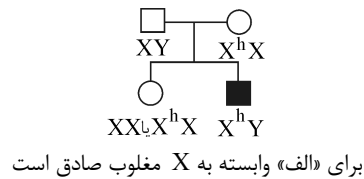
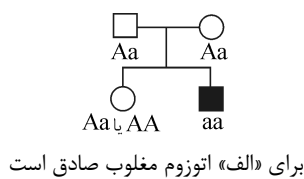
C، aa است، پدر و مادرش هم هر دو aa هستند. D، Aa است چون پدرش aa و مادرش Aa است.

در مورد شجره‌نامه‌ی «الف» و «ب» به ترتیب چند الگوی بیماری صادق است؟

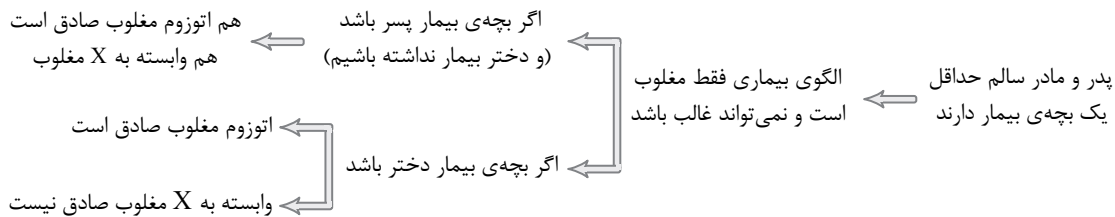


- ۱-۱ (۱)
- ۲-۲ (۲)
- ۲-۱ (۳)
- ۱-۲ (۴)

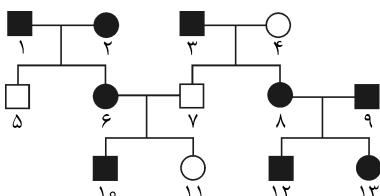
گفتیم که اگر پدر و مادری سالم فرزندی بیمار داشتند، الگوی بیماری فقط می‌تواند مغلوب باشد (اتوزوم یا وابسته به X). تا این‌جا قبول؟ اگر یادتان باشد کمی قبل‌تر گفتیم (همین‌طور در فصل‌های قبل) زنی که مبتلا به بیماری وابسته به X مغلوب است ( $X^hX^h$ ) حتماً پدر و همه‌ی پسرهایش بیمار هستند و اگر زنی بیمار پدر یا پسری سالم داشت، یعنی الگوی آن بیماری نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. می‌بینید که در شکل «ب» زن بیمار پدری سالم دارد، پس الگوی «ب» فقط اتوزومی است. «الف» هم می‌تواند اتوزومی باشد و هم وابسته به X. آنالیز هم بکنیم که هم دستمان راه بیفتد هم قشنگ باورمان شود:



اگر پدر و مادر سالم بچه‌ای بیمار داشته باشند، الگوی آن بیماری غالب نیست و فقط می‌تواند مغلوب باشد. اگر پدر و مادر سالم پسر بیمار داشتند، الگوی بیماری هم می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد، هم وابسته به X مغلوب. اما اگر پدر و مادر سالم، دختر بیمار داشتند، الگوی بیماری فقط می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. چرا که در الگوی وابسته به X مغلوب، پدر دختر بیمار نمی‌تواند سالم باشد.



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد یک بیماری وابسته به X غالب است. ژنوتیپ چند نفر قطعی و مشخص است؟



تست

۱۲ (۱)

۱۱ (۲)

۱۰ (۳)

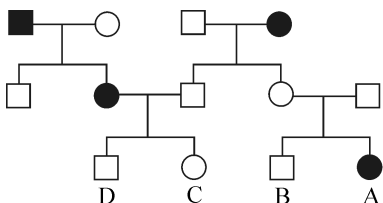
۹ (۴)

۱۳ نفر در این شجره‌نامه داریم. مردهای سالم XY، مردهای بیمار  $X^B Y$  و زنهای سالم XX هستند و هر ۳ یک نوع ژنوتیپ دارند و مشکلی در تشخیص ژنوتیپ آن‌ها نداریم.

پاسخ

از بین این ۱۳ نفر ۴ نفر زن بیمار هستند (۲، ۶، ۸، ۱۳). ۲ احتمالاً  $X^B X$  است. چرا که یک پسر سالم (۵) دارد. ۶ احتمالاً  $X^B X$  است و نمی‌تواند  $X^B X^B$  باشد، چون دخترش (۱۱) سالم است. ۸ فقط می‌تواند  $X^B X$  باشد. چرا که مادرش  $X^B$  ندارد و فقط پدرش یک  $X^B$  دارد که آن را به او داده است. ۹،  $X^B Y \times X^B X$  است، پس ۱۳ می‌تواند  $X^B X$  یا  $X^B X^B$  باشد. می‌بینید که در بین این ۱۳ نفر فقط ژنوتیپ فرد ۱۳ دو حالت دارد و قطعی نیست، یعنی ژنوتیپ ۱۲ نفر قطعی و مشخص است.

شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد یک بیماری وابسته به X غالب است. احتمال به‌وجود آمدن کدام فرد وجود ندارد؟



تست

A (۱)

B (۲)

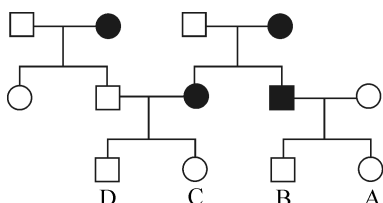
C (۳)

D (۴)

یکی یکی گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم. A نمی‌تواند به‌وجود بیاید! چرا؟ چون در بیماری غالب (چه اتوزومی و چه وابسته به X) اگر فرزندی بیمار باشد حتماً حداقل یکی از والدینش بیمار هستند. یعنی نمی‌شود در الگوی غالب، پدر و مادری هر دو سالم، بچه‌ای بیمار داشته باشند و این حالت فقط در الگوی مغلوب دیده می‌شود. فرد B می‌تواند به‌وجود بیاید، چرا که پدر و مادرش  $XY \times XX$  هستند و خودش XY. C (XX) می‌تواند به‌وجود بیاید، چرا که پدر و مادرشان  $X^B X \times XY$  هستند که هم دختر سالم می‌دهند و هم پسر سالم. از کجا فهمیدیم مادر D،  $X^B X$  است و  $X^B X^B$  نیست؟ چون پدر مادر D (پدربزرگ D)  $X^B Y$  است و مادربزرگ D، XX است. در این حالت مادر D فقط می‌تواند  $X^B X$  باشد نه  $X^B X^B$ .

پاسخ

شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد یک بیماری وابسته به X غالب است. احتمال به‌وجود آمدن کدام فرد وجود ندارد؟



تست

A (۱)

B (۲)

C (۳)

D (۴)



بیابید آنالیز کنیم. پدر و مادر A و B،  $X^B Y \times X X$  هستند. می‌دانید که از این ازدواج، همه‌ی دخترهای خانواده بیمار می‌شوند ( $X^B X$ ) و همه‌ی پسرهای خانواده XY و سالم. پس A نمی‌تواند به‌وجود بیاید. دقت کنید مادر C و D،  $X^B X$  است، نه  $X^B X^B$  که  $X^B$  را از مادرش و X سالمش را از پدرش گرفته است، پس C و D می‌توانند به‌وجود بیایند.

در الگوی وابسته به X غالب، مرد بیمار حتماً مادرش و همه‌ی دخترهایش بیمار می‌شوند. هر پدر این حالت در الگوهای دیگر هم ممکن است دیده شود، اما در این الگو همیشه و برون استثناء دیده می‌شود. ما باید از نقیض این قانون استفاده کنیم. یعنی اگر مرد بیماری داریم که مادر یا حداقل یک دخترش سالم بود، الگوی آن بیماری به هیچ‌وجه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد.

یا برای یادگیری آسان‌تر

هر کدام از ۳ حالت فوق را داریم، یعنی الگوی آن بیماری وابسته به X غالب نیست.

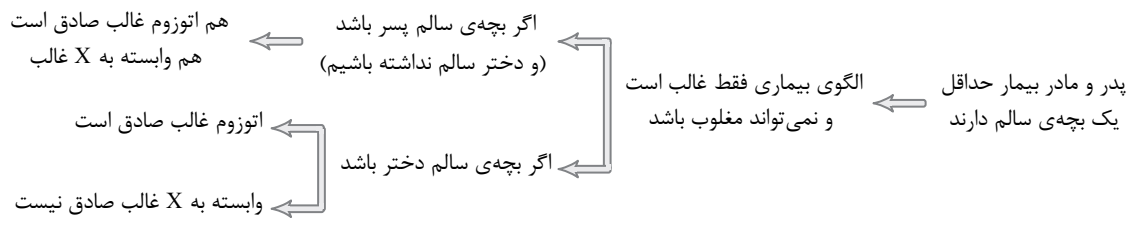
در دو شجره‌نامه‌ی «الف» و «ب» به ترتیب چند الگو صادق است؟

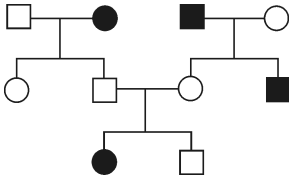
		۲-۲ (۲)	۱-۱ (۱)
«ب»	«الف»	۲-۱ (۴)	۱-۲ (۳)

گفتیم که اگر پدر و مادری بیمار، بچه‌ای سالم داشته باشند، الگوی آن بیماری فقط می‌تواند غالب باشد و نمی‌تواند مغلوب باشد. ضمناً کمی بالاتر گفتیم که در بیماری وابسته به X غالب، پدر بیمار همه‌ی دخترهایش را حتماً بیمار می‌کند و اگر مرد بیماری داشته، یعنی الگوی آن بیماری به هیچ‌وجه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. پس حالت «الف» می‌تواند هم اتوزوم غالب باشد و هم وابسته به X غالب. اما حالت «ب» فقط می‌تواند اتوزوم غالب باشد، نه وابسته به X غالب. آنالیزش هم بکنیم تا باورتان شود:

<p>برای «الف»، اتوزوم غالب صادق است</p>	<p>برای «الف»، وابسته به X غالب صادق است</p>
<p>برای «ب»، اتوزوم غالب صادق است</p>	<p>برای «ب»، وابسته به X غالب صادق نیست</p>

اگر در شجره‌نامه‌ای پدر و مادر بیمار، حداقل یک بچه‌ی سالم داشتند، الگوی آن شجره‌نامه فقط می‌تواند غالب باشد و نه مغلوب. اگر پدر و مادر بیمار، پسر سالم داشتند، الگوی شجره‌نامه هم می‌تواند اتوزوم غالب باشد و هم وابسته به X غالب. اما اگر پدر و مادر بیمار، دختری سالم داشتند، الگوی شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم غالب باشد، نه وابسته به X غالب.





الگوی شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چیست؟



- (۱) اتوزوم غالب
- (۲) اتوزوم مغلوب
- (۳) وابسته به X غالب
- (۴) وابسته به X مغلوب

یک دوره‌ای هر سال یک سؤال از شجره‌نامه می‌آید، آن هم مثل سؤال بالا بود. الگوی این شجره‌نامه چیست؟ بعد معلم‌ها و مؤلف‌های خوب گشتند و برای حل این سؤال یک راه حل پشیم بسته و سیم‌ثانیه‌ای پیدا کردند که در زمان خودش نکته‌ی فیلی باحال و باصفایی بود. یعنی فکر کن شجره‌نامه را که فیلی سفت بود، با این نکته مثل آب خوردن می‌زدی و فلاص. آن نکته هم این بود که: اگر در نکتور در سؤالی پرسند که الگوی این شجره‌نامه چیست و گزینه‌ها هم ۴ الگوی معروف باشند، اگر «پدر و مادر سالم، بچه‌ی بیمار» دیدیم، جواب سؤال همیشه می‌شود «اتوزوم مغلوب» و اگر «پدر و مادر بیمار، بچه‌ی سالم» دیدیم، جواب سؤال همیشه می‌شود «اتوزوم غالب».

این نکته در مورد این سؤالات همیشه درست است، اما چون فقط در مورد این سؤالات درست است و امکان دارد سؤال را طوری بدهند که به‌فاطر همین نکته اشتباه حل کنی، به این نکته می‌گویند یک نکته‌ی نسبی. حالا این نکته از کجا می‌آید؟

بینید، ما ۲ تا نکته‌ی مطلق و همیشه درست گفتیم:

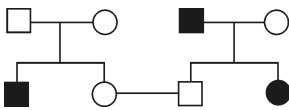
□ اگر پدر و مادری سالم، بچه‌ی بیمار داشتند، الگوی آن بیماری فقط و تماماً مغلوب است.

□ اگر پدر و مادری بیمار، بچه‌ی سالم داشتند، الگوی آن بیماری فقط و تماماً غالب است.

خب، حالا فکر کنید که طراح در یک جای شجره‌نامه‌اش یک پدر و مادر سالم کشید و فواست برایشان یک بچه‌ی بیمار بکشید! به نظر شما طراح این بچه را پسر می‌کشد یا دختر؟ در واقع برای این که این نوع سؤال‌ها فقط یک جواب داشته باشد، طراح می‌باید است پدر و مادر سالم را با دختر بیمار و پدر و مادر بیمار را با دختر سالم بکشد. چرا؟ چون در این حالت‌ها، به ترتیب الگوهای وابسته به X مغلوب و وابسته به X غالب جواب نمی‌شوند و فقط الگوی اتوزوم مغلوب (در پدر و مادر سالم، بچه‌ی بیمار) و اتوزوم غالب (در پدر و مادر بیمار، بچه‌ی سالم) جواب صحیح هستند.

به هر حال هنوز هم اگر از این جور سؤال‌ها بدهند (که دیگر هر چند سال یک بار شجره‌نامه‌ی این طوری می‌دهند) این نکته کاربرد دارد. اما ایراد نکته پیش‌تر از کاربرد آن است! ایرادش این است که ذهن را می‌بندد و توانایی تجزیه‌تعلیل و آنالیز کردن را از ذهن می‌گیرد. این امکان وجود دارد که از آن اشتباه هم استفاده کنیم. به هر حال طراح‌ها هم دیگر فیلی پیشرفت کرده‌اند و در سال‌های اخیر سؤال‌های فیلی فلاقانه‌تری در مورد شجره‌نامه می‌دهند که گاهی استفاده از این نکته باعث حل اشتباه می‌شود.

چه الگو یا الگوهایی در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو صادق است؟

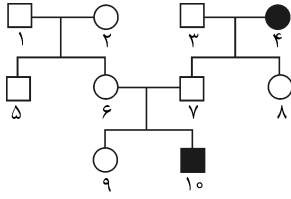


- (۱) فقط اتوزوم مغلوب
- (۲) فقط وابسته به X مغلوب
- (۳) اتوزوم و وابسته به X مغلوب
- (۴) اتوزوم و وابسته به X مغلوب و اتوزوم غالب

همین تغییر خیلی ساده باعث می‌شود که آن قانون نسبی معروف دیگر کار نکند. حالا فکر کنید شما همه‌ی امید و آرزویان هم به این قانون نسبی باشد و دستتان از چیزهای دیگر خالی. می‌بینید که اگر با قانون نسبی جواب بدهید، باید فقط اتوزوم مغلوب را انتخاب کنید که جواب غلط است چون در این شجره‌نامه پدر و مادر سالم، پسر بیمار دارند و ضمناً دختر بیمار، پدرش بیمار است و این یعنی هر دو الگوی اتوزوم و وابسته به X مغلوب در این شجره‌نامه صادق است.



به پای قانون‌های نسبی از قانون‌های مطلق و قطعی استفاده کنید. شاید کمی راهتان طولانی‌تر شود، اما احتمال اشتباه کردن‌تان کم‌تر می‌شود و ذهنتان فلاق‌تر



در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چند الگو صادق است؟

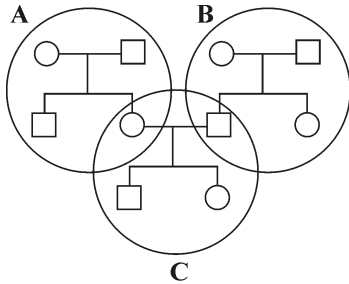


- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

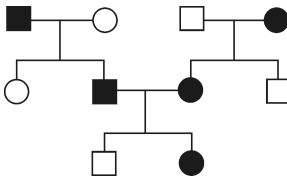
باید زرتنگ باشید! می‌بینید که آمیزش ۶×۷ پسر بیمار (۱۰) دارد، این یعنی الگوی بیماری می‌تواند اتوزوم مغلوب یا وابسته به X مغلوب باشد. اما این جا پایان ماجرا نیست! دقت کنید، ۴ مادری بیمار است که پسری سالم دارد (۷) و این یعنی الگوی این شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. پس در این شجره‌نامه فقط اتوزوم مغلوب صادق است.



یک نکته‌ی طلایی و برپه‌ی ولی حیاتی این است که ما نهایتاً از الگوهای مفتلفی که در تست‌ها صادق هستند، اشتراک می‌گیریم نه اجتماع. مثلاً فرض کنید در قسمت A الگوهای اتوزوم غالب و وابسته به X مغلوب صادق هستند، در قسمت B فقط الگوی اتوزوم غالب و در قسمت C هر ۴ الگو.



فب، نهایتاً الگوی این شجره‌نامه چیست؟ معلومه، only اتوزوم مغلوب و لاغیر. چون الگوی شجره‌نامه باید در همه‌ی قسمت‌های شجره‌نامه صدق کند. حالا یک سؤال غیرمنطقی! اگر الگوهای قسمت‌های مفتلف با هم اشتراک نداشتند، الگوی شجره‌نامه چه فواید بود؟ جواب منطقی: هیچ الگویی در کل آن شجره‌نامه صادق نیست! یعنی یک پورهایی شجره‌نامه جواب ندارد. به دلیل همین اشتراک گرفتن از الگوهاست که اگر بفهمیم یک تکه کوچک از شجره‌نامه فقط در یک الگو صدق می‌کند؛ دیگر لازم نیست بقیه‌ی تکه‌های آن را بررسی کنیم. چون اشتراک  $\{X\}$ ،  $\{Y, X\}$  و  $\{W, Z, Y, X\}$  می‌شود  $\{X\}$ !

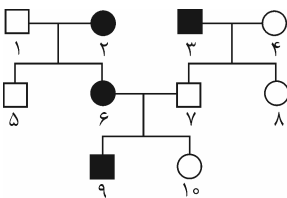


چند الگو در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو صادق است؟



- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

می‌بینید که پدر و مادر بیمار پسر سالم دارند و این یعنی الگوی بیماری می‌تواند وابسته به X غالب و اتوزوم غالب باشد. اما در خانواده‌ی سمت چپی می‌بینید که مرد بیمار، مادری سالم دارد که این، با الگوی وابسته به X غالب در تضاد است. پس با این که در خانواده پایینی هر دو الگو صادق است اما در خانواده‌ی سمت چپی فقط یک الگو آن هم اتوزوم غالب صادق است.



در مورد شجره‌نامه روبه‌رو کدام گزینه درست است؟



- ۱ (۳) الگو در آن صادق است.
- ۲ (۲) الگوهای وابسته به X نمی‌توانند در شجره‌نامه صادق باشند.
- ۳ (۳) الگوهای غالب نمی‌توانند در شجره‌نامه صادق باشند.
- ۴ (۴) فقط ۲ الگوی وابسته به X غالب و اتوزوم مغلوب در شجره‌نامه صادق هستند.

می‌بینیم که پدر و مادر هر دو سالم یا پدر و مادر هر دو بیمار نداریم. پس می‌رویم سراغ قوانین نقیض. فرد ۲ زنی بیمار است که پسرش (۵) سالم است. این یعنی الگوی شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. ضمناً می‌بینید که پدر بیمار ۳، دختری سالم (۸) دارد و این یعنی الگوی شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. پس ۲ الگوی اتوزوم (غالب و مغلوب) در این شجره‌نامه صادق است و الگوهای وابسته به X صادق نیستند.





برای استفاده از قوانین نقیض، فیلی نگاهتان را پرکنده نکنید. سالم‌ها را رها کنید. برای به کار بردن قانون نقیض وابسته به X مغلوب، سراغ زن‌های بیمار بروید و پدرها و پسرهایشان را بررسی کنید. اگر مرد یا پسر سالم یافتید، شجره‌نامه تان وابسته به X مغلوب نیست. در نقیض وابسته به X غالب، سراغ مرد بیمار بروید و مادر و دخترهایش را بررسی کنید. اگر مادر یا دختری سالم یافتید، فوش به حالتان!

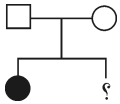
11 اگر یادتان باشد، گفتیم از ۳ تا چیز کمک می‌گیریم که شجره‌نامه را حل کنیم: نکته‌ها، اطلاعات مسئله و آنالیز. نکته‌های مطلق و نسبی شجره‌نامه‌ها را می‌دانید و این‌که کی و کجا از آن‌ها استفاده کنید. در واقع حل همه‌ی مسائل شجره‌نامه ۲ تا step دارند.

1 این شجره‌نامه از چه الگویی پیروی می‌کند

2 حالا که الگو را فهمیدی، احتمال فلان یا بهمان یا چیز دیگری چه می‌شود!

امکان دارد سؤال فقط step 1 را بخواهد یا این‌که step 1 را خودش بدهد و سؤالش فقط شامل step 2 باشد. الگوی شجره‌نامه را با استفاده از نکته‌ها، آنالیز و اطلاعات شجره‌نامه می‌فهمیم. وقتی الگو را فهمیدیم، بقیه‌اش دیگر خیلی آسان است. در واقع بعد از فهمیدن الگو، تقریباً باید یک آمیزش مونو هیبریدی حل کنیم.

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو احتمال تولد پسر بیمار چه قدر است؟



$\frac{1}{16} (4)$

$\frac{1}{8} (3)$

$\frac{1}{4} (2)$

$\frac{1}{2} (1)$

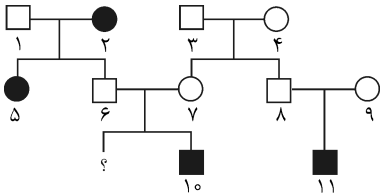
این در واقع یک سؤال دو مرحله‌ای است. مرحله‌ی اول این‌که الگوی شجره‌نامه چیست؟ پدر و مادر سالم، دختر بیمار دارند، این

یعنی الگوی شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد و پدر و مادر هر دو Aa هستند.

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} aa \Rightarrow \text{احتمال پسر بیمار} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

می‌بینید که مرحله‌ی دوم آن خیلی آبی‌ست!

حالا شاید این شجره‌نامه را خیلی بزرگ و عجیب و غریب بدهند، ولی نباید ترسی به دل راه بدهید.



در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چه قدر احتمال دارد فرد ؟ آلل بیماری داشته باشد؟

$\frac{3}{4} (2)$

$\frac{2}{3} (1)$

$\frac{1}{4} (4)$

$\frac{1}{3} (3)$

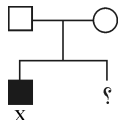
این سؤال دقیقاً همان سؤال بالایی‌ست، فقط شجره‌نامه‌اش کمی بزرگ‌تر است و نکته‌اش کمی مخفی‌تر! می‌بینید که ۶ و ۷ و

همین‌طور ۸ و ۹ هر دو پدر و مادرهایی سالم هستند که پسر بیمار دارند. این یعنی الگوی شجره‌نامه تا این‌جا کار می‌تواند اتوزوم یا وابسته به X مغلوب باشد. وقتی با قانون‌های نقیض در این شجره‌نامه دقت می‌کنید، می‌بینید که دختر بیمار ۵، پدرش سالم است و این یعنی الگوی این بیماری نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد و only اتوزوم مغلوب است (دقیقاً عین شجره‌نامه‌ی بالایی). خب ۶×۷ یعنی Aa×Aa، چرا که ۱۰ بیمار است.

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} aa + \frac{1}{2} Aa + \dots$$

می‌بینید که  $\frac{3}{4}$  زاده‌ها آلل بیماری دارند و این یعنی فرد مورد سؤال به احتمال  $\frac{3}{4}$  آلل بیماری را خواهد داشت.

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو اگر احتمال تولد فرد X،  $\frac{1}{4}$  باشد، چه قدر احتمال دارد فرد ؟ آلل بیماری نداشته باشد؟



$\frac{3}{4} (4)$

$\frac{1}{8} (3)$

$\frac{1}{4} (2)$

$\frac{1}{2} (1)$



گاهی تشخیص الگوی شجره‌نامه با استفاده از اطلاعاتی است که در صورت سؤال می‌دهند. در این شجره‌نامه می‌بینید که زن و مردی سالم، پسری بیمار دارند. پس الگوی این شجره‌نامه می‌تواند اتوزوم مغلوب یا وابسته به X مغلوب باشد.

$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} aa \Rightarrow \text{احتمال پسر بیمار} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

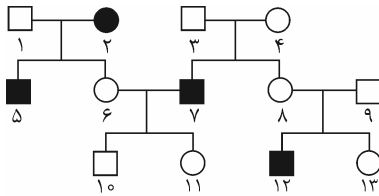
$$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4} X^hY + \dots$$

می‌بینید که اگر الگوی شجره‌نامه اتوزوم مغلوب باشد، احتمال X (پسر بیمار) می‌شود  $\frac{1}{8}$ . اما در حالت وابسته به X مغلوب، این احتمال می‌شود  $\frac{1}{4}$ . پس الگوی این شجره‌نامه نمی‌تواند اتوزوم مغلوب باشد و فقط وابسته به X مغلوب است.

$$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4} XY + \frac{1}{4} XX + \frac{1}{4} X^hX + \frac{1}{4} X^hY$$

می‌بینید که  $\frac{1}{4}$  زاده‌ها آلل بیماری ندارند.

اگر در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو فرد ۳، آلل بیماری نداشته باشد، از ازدواج فرد ۱۱ و ۱۲، چه نسبتی از پسرها، بیمار می‌شوند؟



- (۱) صفر
- (۲)  $\frac{1}{4}$
- (۳)  $\frac{1}{2}$
- (۴) ۱

می‌بینید که پدر و مادر سالم (۳ و ۴) پسر بیمار دارند (۷) و این یعنی ۲ الگوی اتوزوم و وابسته به X مغلوب ممکن است. بعد می‌بینید که زن بیمار ۲ همه‌ی پسرهایش (۵) بیمار هستند (پس کماکان هر دو الگو صادق هستند). در صورت سؤال گفته فرد ۳، آلل بیماری ندارد:

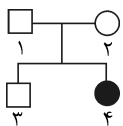
$$Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} aa + \dots$$

$$XY \times X^hX \rightarrow \frac{1}{4} X^hY + \dots$$

می‌بینید که وقتی پدر و مادر سالم، پسر بیمار دارند، در حالت اتوزوم پدر و مادر هر دو ناقل هستند و آلل بیماری دارند. اما در حالت وابسته به X پدر (۳) آلل بیماری ندارد، چرا که اگر داشت بیمار می‌شد. پس الگوی بیماری فقط می‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. با این حساب ژنوتیپ فرد ۱۲،  $X^hY$  و ژنوتیپ فرد ۱۱ قطعاً  $X^hX$  است (چون پدر ۱۱ (۷)،  $X^hY$  است و  $X^h$  اش را حتماً به دخترش می‌دهد).

$$11 \times 12: X^hX \times X^hY \rightarrow \frac{1}{4} X^hY + \frac{1}{4} XY + \dots$$

می‌بینید که نصف پسرها بیمار می‌شوند.



$$\frac{1}{4} (4)$$

$$\frac{1}{3} (3)$$

$$\frac{2}{3} (2)$$

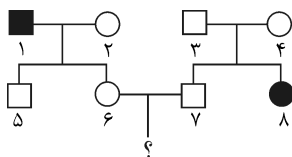
$$\frac{1}{3} (1)$$

در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چه قدر احتمال دارد فرد ۳، آلل بیماری داشته باشد؟

۱ و ۲ سالم هستند و دختر بیمار دارند. این یعنی الگوی شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. گاهی احتمال شرطی در شجره‌نامه مطرح می‌شود که مسائل جالبی می‌شود از آن طرح کرد. در واقع نکته‌ی اصلی و باحال این سؤال این است که فرد ۳ احتمال دارد AA یا Aa باشد (چون مربعش سفید است!). حالا برای این که بفهمیم احتمال داشتن آلل بیماری برای این فرد چه قدر است، در واقع باید احتمال  $Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa$  بودن یک فرد سالم را حساب کنیم.

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

$$\frac{\text{احتمال } Aa \text{ بودن}}{\text{احتمال سالم بودن}} = \frac{\frac{1}{2} Aa}{\frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa} = \frac{2}{3}$$



در شجره نامه‌ی مقابل از ازدواج فرد ۶ و ۷، احتمال تولد پسر بیمار چه قدر است؟

- تست
- ۱)  $\frac{1}{18}$
  - ۲)  $\frac{1}{8}$
  - ۳)  $\frac{1}{6}$
  - ۴)  $\frac{1}{12}$

گاهی محاسبه‌ی احتمال، از یک نسل فراتر می‌رود. قبلاً این محاسبه را در بیماری‌های انسان کرده‌ایم.

۴ و ۳ سالم‌اند و دارای دختر بیمار (۸) شده‌اند. این یعنی الگوی بیماری فقط می‌تواند اتوزوم مغلوب باشد. اما نکته‌ی اصلی سؤال این است که ژنوتیپ ۶ و ۷ را معلوم کنیم که AA هستند یا Aa و با چه احتمالی. ۶ قطعاً Aa است، چرا که پدرش aa بوده و حتماً یک آلل a به او داده است. برای این که فرد ۷ پسر بیمار شود، باید احتمال Aa بودن فرد ۷ را حساب کنیم (از بین دو حالتی که برایش ممکن است: AA و Aa). پدر و مادر ۷، (۳ و ۴) هر دو فقط Aa هستند، چرا که دختر آن‌ها aa شده است.

$$3 \times 4: Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}aa$$

از بین دو حالت AA و Aa برای ۷، احتمال حالت Aa را حساب می‌کنیم.

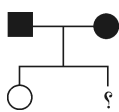
$$\text{احتمال Aa شدن فرد ۷ (احتمال Aa شدن فرد سالم)} = \frac{\frac{1}{2}Aa}{\frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}AA} = \frac{2}{3}$$

پس فرد ۷ به احتمال  $\frac{2}{3}$ ، Aa است و به احتمال  $\frac{1}{3}$ ، AA.

$$\frac{1}{12} = \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{4} = \text{احتمال پسر بودن} \times \text{احتمال Aa شدن فرد ۷} \times \text{احتمال (بیمار بودن)} = \frac{1}{4}$$

وقتی ۶ و ۷، Aa باشند، احتمال تولد پسر aa از آن‌ها می‌شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ . احتمال Aa بودن ۷ هم که  $\frac{2}{3}$  بود.

شاید یک ذهن سازه انگار بگوید که چون قرار است ۶×۷ بپه‌ی بیمار داشته باشند، پس هر دو حتماً Aa هستند و دیگر احتمال Aa بودن ۷ را نباید حساب کرد. این اشتباه فیلی رایج و فیلی تکنیکی است! در واقع ما مطمئنیم که ۷ حتماً سالم است (AA یا Aa). اگر بفوایم مطمئن شویم که ۷، Aa است، باید احتمال Aa بودن آن را حتماً در حالی که سالم است حساب کنیم. به این دقت کنید که اگر شما ۶ و ۷ را از اول Aa می‌گرفتید، احتمال پسر بیمار می‌شد  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ ، اما وقتی نمی‌دانید که ۷، Aa است یا AA و احتمال Aa شدن آن را حساب می‌کنید، احتمال پسر بیمار می‌شود  $\frac{1}{4} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{4}$  یعنی  $\frac{1}{12}$ . می‌بینید که  $\frac{1}{12}$  از  $\frac{1}{16}$  کم‌تر است. یعنی وقتی که ۷ می‌تواند AA یا Aa باشد و Aa بودنش قطعی نیست، احتمال تولید بپه‌ی aa کم‌تر از قبل می‌شود. فهمیدنش آسون نیست! فهموندنش سخته! شرمندره!



در شجره نامه‌ی روبه‌رو چه قدر احتمال دارد فرد ۷ پسر بیمار باشد؟

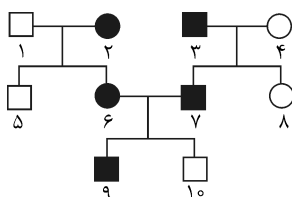
- تست
- ۱)  $\frac{1}{8}$
  - ۲)  $\frac{3}{4}$
  - ۳)  $\frac{3}{8}$
  - ۴)  $\frac{1}{4}$

گفتیم که اگر پدر و مادر بیمار، دختری سالم داشته باشند، یعنی الگوی آن شجره نامه فقط می‌تواند اتوزوم غالب باشد. در این حالت

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}b + \frac{3}{4}B$$

پدر و مادر هر دو هتروزایگوس و دارای یک آلل بیماری هستند. آلل بیماری را با حرف بزرگ B نمایش می‌دهیم:

$$\text{احتمال تولد پسر بیمار} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$



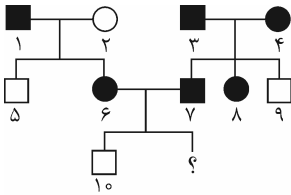
در شجره نامه‌ی مقابل ژنوتیپ چند نفر مشخص است؟

- تست
- ۱) ۱۰
  - ۲) ۹
  - ۳) ۸
  - ۴) ۷



**پاسخ**  
اول الگوی شجره‌نامه را تعیین می‌کنیم. می‌بینید که پدر و مادر بیمار (۶ و ۷) پسری سالم (۱۰) دارند. تا اینجا یعنی الگوی شجره‌نامه می‌تواند اتوزوم یا وابسته به X غالب باشد. کمی دقت می‌کنید و می‌بینید که ۳ مردی بیمار است که دخترش (۸) سالم است. این یعنی الگوی این شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد و فقط اتوزوم غالب است. در الگوی اتوزوم غالب، افراد سالم همگی bb هستند و یک نوع ژنوتیپ دارند. اما افراد بیمار می‌توانند Bb یا BB باشند. افراد ۲، ۳، ۶ و ۷ فقط می‌توانند Bb باشند، چرا که همه‌ی آنها بچه‌ی سالم و bb دارند که یکی از bها پیش را حتماً از آنها گرفته است. فرد ۹ می‌تواند BB یا Bb باشد، چرا که پدر و مادرش هر دو Bb هستند. پس فقط ژنوتیپ فرد ۹ مشخص نیست.

**تست**  
در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو اگر از ازدواج ۶ و ۷، احتمال تولد پسر سالم  $\frac{1}{4}$  باشد، چه قدر احتمال دارد فرد ۹ دختر بیمار باشد؟



$\frac{1}{8}$  (۲)

(۱) صفر

$\frac{1}{2}$  (۴)

$\frac{1}{4}$  (۳)

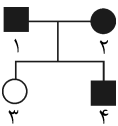
**پاسخ**  
پدر و مادر بیمار (۳ و ۴) پسر سالم (۹) دارند، این یعنی الگوی بیماری می‌تواند وابسته به X یا اتوزوم غالب باشد. وقتی مردهای بیمار را هم بررسی می‌کنید، می‌بینید که دختران آنها بیمار هستند و این یعنی قانون نقیض هم کاری از پیش نمی‌برد! هر دو حالت اتوزوم و وابسته به X غالب را برای ۶ و ۷ امتحان می‌کنیم.

حالت اتوزوم :  $Bb \times Bb \rightarrow \frac{3}{4}B + \frac{1}{4}b$

حالت وابسته به X :  $X^B Y \times X^B X \rightarrow \frac{1}{4}X^B Y + \frac{1}{4}XY + \frac{1}{4}X^B X^B + \frac{1}{4}X^B X$

می‌بینید که احتمال پسر سالم در حالت اتوزوم می‌شود  $(b) \times (\text{پسر}) = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ ، یعنی  $\frac{1}{8}$ . اما در حالت وابسته به X این احتمال،  $\frac{1}{4}$  است. پس الگوی این شجره‌نامه فقط می‌تواند وابسته به X غالب باشد. در حالت وابسته به X غالب احتمال تولد دختر بیمار می‌شود  $\frac{1}{4}$ ، چرا که همه‌ی دخترها که می‌شوند نیمی از زاده‌ها، بیمار هستند.

**تست**  
در شجره‌نامه‌ی روبه‌رو چه قدر احتمال دارد فرد ۴ هموزیگوس باشد؟



$\frac{1}{4}$  (۴)

$\frac{2}{3}$  (۳)

$\frac{1}{3}$  (۲)

$\frac{1}{4}$  (۱)

چون پدر و مادر بیمار، دختر سالم دارند، الگوی این شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم غالب باشد و ۱ و ۲ هر دو هتروزیگوس هستند.

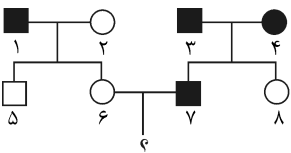
$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}BB + \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{4}bb$

بیمار بودن

احتمال هموزیگوس بودن فرد بیمار :  $\frac{\frac{1}{4}BB}{\frac{1}{4}BB + \frac{1}{2}Bb} = \frac{1}{3}$

در واقع شما مطمئن هستید که فرد ۴ یا Bb است یا BB و حالا می‌خواهید احتمال BB بودن فردی که فنوتیپ B (بیمار) را دارد، حساب کنید. این یک احتمال شرطی است.

**تست**  
چه قدر احتمال دارد فرد ۹ پسری بیمار شود؟



$\frac{2}{3}$  (۲)

$\frac{1}{3}$  (۱)

$\frac{1}{4}$  (۴)

$\frac{1}{2}$  (۳)



از ازدواج پدر و مادر بیمار (۳×۴) دختر سالم به دنیا آمده است. این یعنی الگوی شجره نامه فقط می تواند اتوزوم غالب باشد. در این حالت فرد ۶، bb و فرد ۷، Bb یا BB است. باید احتمال Bb بودن ۷ را حساب کنیم. (۳ و ۴ هر دو Bb هستند چرا که ۸، bb است):

$$Bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{4}BB + \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{4}bb$$

$$\frac{\text{احتمال Bb بودن فرد B}}{\text{احتمال B بودن}} = \frac{\frac{1}{2}Bb}{\frac{3}{4}B} = \frac{2}{3}$$

$$6 \times 7: bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{2}bb + \dots$$

احتمال Bb بودن ۷،  $\frac{2}{3}$  است و احتمال این که ۷ در حالی که Bb است از ازدواج با ۶، بچه ی سالم بدهد می شود  $\frac{1}{4}$ . پس کلاً احتمال این که از ازدواج ۶ و ۷ بچه ی سالم به دنیا بیاید می شود:

$$\frac{2}{3}(Bb) \times \frac{1}{4}(bb) = \frac{1}{6}$$

$$1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$$

$$\frac{5}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{5}{36}$$

تا این جا با شجره نامه های کلاسیک برخورد کردیم که سر و ته آن ها معلوم بود و با نکته ها و اطلاعات مسئله و کمی هم آنالیز، می فهمیدیم چند چند هستند. اما این جا هنوز پایان ماجرا نیست. امکان دارد شجره نامه هایی بدهند که غیر کلاسیک باشند و چند الگو در آن ها صادق باشد یا نوعی متفاوت از طراحی سؤال را نشان دهند ... در این شجره نامه ها نقش آنالیز پرننگ تر از قبل می شود.

**برای شجره نامه ی روبه رو احتمال تولد پسر بیمار، در کدام الگو با بقیه متفاوت است؟**

(۱) اتوزوم مغلوب  
(۲) اتوزوم غالب  
(۳) وابسته به X غالب  
(۴) وابسته به X مغلوب

می بینید که این شجره نامه نه از طریق نکته حل می شود و نه در صورت سؤال اطلاعات خاصی هست. فقط باید آن را در هر ۴ الگو آنالیز کنید و جواب ها را با هم مقایسه کنید. شجره نامه های کنکور سراسری دارد به این سمت پیش می رود.

$$1 \times 2: Aa \times aa \rightarrow \frac{1}{2}aa + \dots \Rightarrow \text{احتمال پسر بیمار} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

فرد ۱ را AA فرض نکردیم، چون پدر و مادر، پسری بیمار (۳) دارند.

$$1 \times 2: XY \times X^h X^h \rightarrow \frac{1}{2}X^h Y + \dots$$

$$1 \times 2: bb \times Bb \rightarrow \frac{1}{2}Bb + \dots \Rightarrow \text{احتمال پسر بیمار} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

فرد ۲ را BB فرض نکردیم، چون دختر سالم دارد.

$$1 \times 2: XY \times X^B X \rightarrow \frac{1}{4}X^B Y + \dots$$

می بینید که احتمال پسر بیمار فقط در الگوی وابسته به X مغلوب  $\frac{1}{4}$  است و در ۳ الگوی دیگر  $\frac{1}{2}$ .

**اگر الگوی شجره نامه ی مقابل ..... باشد، تعداد افراد هتروزایگوس در آن از بقیه ی الگوها کم تر است.**

(۱) اتوزوم مغلوب  
(۲) اتوزوم غالب  
(۳) وابسته به X مغلوب  
(۴) وابسته به X غالب

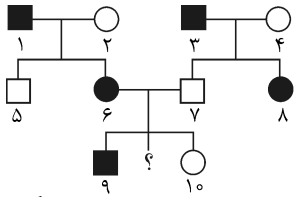
می بینید که قوانین و نکته های محدود کننده ی غالب مغلوبی و نکته های نقیض در این شجره نامه کار کردی ندارند و این یعنی هر ۴ الگو در آن صادق است و چاره ای جز چک کردن تک تک الگوها نداریم. افراد هتروزایگوس در الگوهای مغلوب جزو افراد سالم هستند و در الگوهای غالب جزو افراد بیمار.





در الگوی اتوزوم مغلوب افراد ۲، ۴، ۵، ۷ و ۱۰، هر ۵ نفر هتروزیگوس هستند. چرا؟ چون یا بچه‌هایی بیمار دارند و یا پدر و مادری بیمار که حتماً به آن‌ها آلل بیماری را می‌دهد. در الگوی وابسته به X مغلوب مردها نمی‌توانند هتروزیگوس باشند، چون فقط یک کروموزوم X دارند. در این الگو زن‌های ۲، ۴ و ۱۰ هتروزیگوس هستند چون فرد ۲ و ۴ دختر بیمار دارند و فرد ۱۰ مادر بیمار. در الگوی اتوزوم غالب افراد ۱، ۳، ۶، ۸ و ۹ همگی هتروزیگوس هستند، چرا که همه‌ی آن‌ها یا یکی از والدینشان سالم است و یا حداقل یک بچه‌ی سالم دارند. در الگوی وابسته به X غالب مردها نمی‌توانند هتروزیگوس باشند چرا که فقط یک کروموزوم X دارند. در این الگو فقط زن‌های ۶ و ۸ هتروزیگوس هستند چرا که مادر هر دوی آن‌ها سالم است. پس در حالت وابسته به X غالب تعداد افراد ناقل از بقیه‌ی الگوها کم‌تر است (۲ فرد هتروزیگوس).

کدام یک نادرست است؟



اگر الگوی شجره‌نامه‌ی روبه‌رو را ..... فرض کنیم، احتمال این‌که فرد ؟ ..... باشد، ..... است.

(۲) اتوزوم مغلوب - بیمار -  $\frac{1}{4}$

(۱) وابسته به X مغلوب - دختر سالم -  $\frac{1}{4}$

(۴) وابسته به X غالب - پسر سالم -  $\frac{1}{4}$

(۳) اتوزوم غالب - دختر بیمار -  $\frac{1}{4}$

اصلاً از این جور سؤال‌ها نترسید! ترس از این سؤال‌ها یعنی شما هنوز از آنالیز کردن شجره‌نامه می‌ترسید و این یعنی شما اصلاً به



صرف‌های من گوش نمی‌کنید و این یعنی من فوراً از دست شما می‌کشم!

۴ الگو را در مورد ۶ و ۷ تست می‌کنیم.

$6 \times 7: X^h X^h \times XY \rightarrow \frac{1}{4} X^h X + \dots$

۶ اتوزوم مغلوب

$6 \times 7: aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4} aa + \dots$

دقت کنید ۷ را AA فرض نمی‌کنیم چون پدرش بیمار است و حتماً یک a به او داده است.

۷ اتوزوم غالب

$6 \times 7: Bb \times bb \rightarrow \frac{1}{4} Bb + \dots \Rightarrow$  احتمال دختر بیمار  $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$

۷ وابسته به X غالب

$6 \times 7: X^B X \times XY \rightarrow \frac{1}{4} XY + \dots$

احتمال پسر سالم در الگوی وابسته به X غالب  $\frac{1}{4}$  است، نه  $\frac{1}{16}$ .

## جمع‌بندی شجره‌نامه‌های فتوتیپی



اولین کار در هر شجره‌نامه‌ی فتوتیپی این است که الگوی آن را تعیین کنیم. در هر شجره‌نامه یک، دو، سه یا چهار الگو صادق است. در واقع سؤال‌های شجره‌نامه دو نوع هستند:

اول آن‌هایی که با تعیین انواع الگوهای که در آن صادق هستند، جواب سؤال به دست می‌آید.

دوم آن‌هایی که بعد از به دست آوردن الگو یا الگوهای صادق در آن، باید کار دیگری بکنیم و بعد به جواب برسیم. به

هر حال سخت‌ترین کار و گیج‌کننده‌ترین کار در شجره‌نامه این است که الگویش را بیابیم. هر چند تا

این‌جا ما کمی شما را ترسانده‌ایم!



و کار را بهتان سخت جلوه داده‌ایم تا تن به کار دهید و آنالیز کردن را مسلط شوید، اما در این جمع‌بندی به روش کوتاه تشخیص انواع الگوها می‌پردازیم. با این تفاوت که این روش نسبت به روش‌های موجود در بازار، روشی قطعی و بدون استثناست. هر شجره‌نامه‌ای در هر شرایطی، با جفت قانون پدر و مادر و جفت قانون نقیض، تکلیف الگو یا الگوهای معلوم می‌شود. پس برای تعیین الگو یا الگوهای شجره‌نامه ۲ جفت قانون داریم.

**جفت قانون پدر و مادر:** اگر در هر شجره‌نامه‌ای در هر کجا، پدر و مادری سالم، بچه‌ی بیمار داشتند آن شجره‌نامه فقط می‌تواند مغلوب باشد و نمی‌تواند غالب باشد و اگر در شجره‌نامه‌ای پدر و مادر بیماری، بچه‌ی سالم داشتند الگوی آن شجره‌نامه فقط می‌تواند غالب باشد و نمی‌تواند مغلوب باشد.

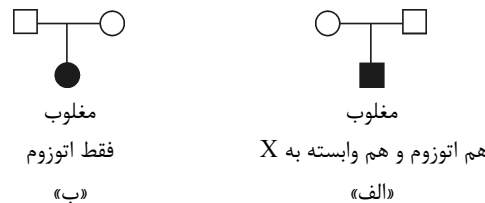


**جفت قانون نقیض:** به مردان بیمار در شجره‌نامه نگاه می‌کنیم. اگر مرد بیماری بود که مادر یا حتی یک دختر سالم داشت، یعنی الگوی آن شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. به زنان بیمار در شجره‌نامه توجه می‌کنیم. اگر زن بیماری بود که پدر یا حتی یک پسر سالم داشت، یعنی الگوی آن شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد.

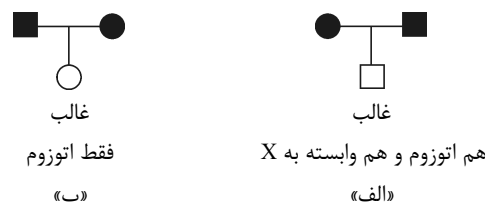


دقت کنید غیر از این ۲ جفت قانون به هیچ چیز دیگری برای تشخیص الگوهای شجره‌نامه احتیاجی نیست. بقیه قانون‌ها فرعی هستند و از این ۲ جفت قانون به دست می‌آیند. یادتان باشد که بیخودی در تله‌ی نکته‌ها نیفتید.

**جفت قانون فرعی:** اگر پدر و مادری سالم، پسری بیمار داشتند (و دختر بیمار نداشتند)، هر دو الگوی اتوزوم و وابسته به X مغلوب صادق است. اما اگر پدر و مادر سالم، دختری بیمار داشتند (و حتی اگر پسر بیمار داشته باشند)، فقط الگوی اتوزوم مغلوب صادق است و الگوی وابسته به X مغلوب صادق نیست.



حالا دقت کنید. می‌بینید که قانون فرعی از ترکیب قانون پدر و مادر و نقیض به‌دست آمده است. در حالت «ب» دختر بیمار، پدری سالم دارد. پس بر اساس قانون نقیض و بدون دانستن قانون فرعی، باید می‌فهمیدید که الگوی وابسته به X مغلوب در این شجره‌نامه صادق نیست. اما اگر پدر و مادری بیمار، پسری سالم داشتند (و دختر سالم نداشتند) هر دو الگوی اتوزوم و وابسته به X غالب در آن شجره‌نامه صادق است. اما اگر پدر و مادری بیمار، دختری سالم داشتند (و حتی اگر پسر سالم داشته باشند) الگوی آن شجره‌نامه فقط می‌تواند اتوزوم غالب باشد و وابسته به X غالب در آن صادق نیست.





می بینید که در این جا هم قانون فرعی از ترکیب قانون پدر و مادر و نقیض به وجود آمده است. چرا که در حالت «ب» می بینید که مردی بیمار دختری سالم دارد. پس شجره نامه ی «ب» نمی تواند وابسته به X غالب باشد.  
اگر در شجره نامه ای ...

☑ فقط یکی از قوانین پدر و مادر حاکم باشد ← ۲ الگو در آن صادق است ← مرحله ی بعد!

☑ فقط یکی از قوانین نقیض صادق باشد ← یک الگو در آن صادق نیست ← ۳ الگوی دیگر در آن صادق است. ← مرحله ی بعد!

☑ فقط دو تا قانون نقیض صادق باشد ← ۲ الگو صادق است ← مرحله ی بعد!

☑ فقط یکی از قوانین پدر و مادر و یک قانون نقیض صادق باشد ← یک الگو صادق است ← مرحله ی بعد!

☑ هیچ یک از جفت قانون ها صادق نباشد ← هر ۴ الگو صادق است ← مرحله ی بعد!

۲ تا این جا به صورت کلی الگوی شجره نامه را تشخیص داده ایم. خیلی وقت ها (در ۶۰ تا ۷۰ درصد مواقع) جواب سؤال تا این جا به دست می آید و گرنه ۲ تا چیز یادتون باشه. یکی این که شاید در صورت سؤال شرطی هست که از الگوهایی که به آن رسیده اید، تعدادی را حذف می کند. دوم این که شاید جواب سؤال شما در هر چند الگو یکسان باشد. در این صورت باید آنالیز کردن الگوهای مختلف را چک کنید.  
۳ با آن چه که از ۱ و ۲ به دست آورده اید باید به جواب رسیده باشید. اگر نه، از این اطلاعات برای آنالیز استفاده کنید. وقتی الگوها را می دانید آنالیز کردن آسان تر است.

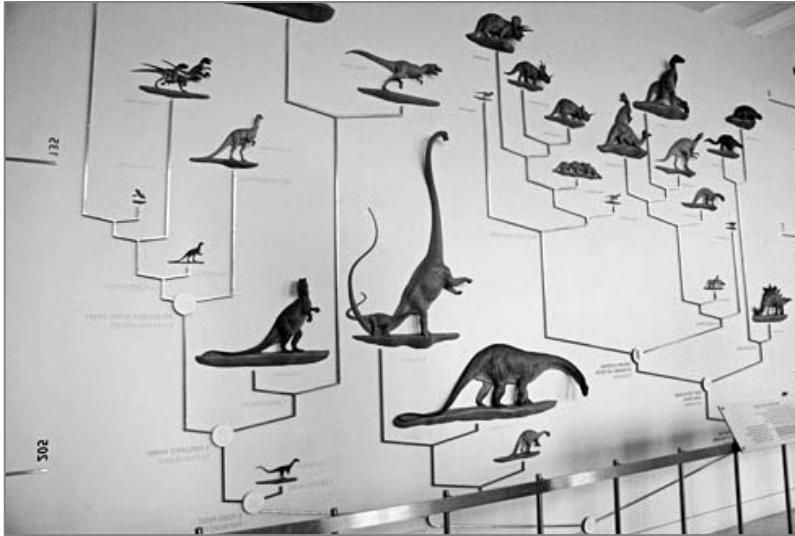


## شجره نامه ها جانوران

آخرین موضوع فصل شجره نامه، شجره نامه هایی در مورد جانوران است. هر چند تا به حال در مورد جانوران شجره نامه ای در کنکور نیامده است، اما من احتمال آمدن شجره نامه از جانوران را در سال های آینده، واقعاً زیاد می دانم!



البته حل این سؤال‌ها خیلی هم سخت نیست، فقط چون تا به حال ندیده‌اید یک‌جوری است. آدم تنش مور مور می‌شود! باید به چند نکته توجه کنید:



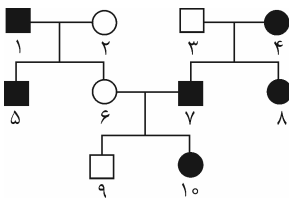
a در همه‌ی شجره‌نامه‌ها □ نر است و ○ ماده. چه انسان، چه پروانه، چه پرنده و چه ملخ. پس در ملخ □، XO و ○، XX است. در پروانه و پرنده □، XX و ○، XY، برخلاف انسان است.

b شجره‌نامه در ملخ با انسان هیچ تفاوتی ندارد. اگر مسئله‌ای در مورد ملخ دادند، چه اتوزومی و چه وابسته به X، آن را کاملاً با قوانین شجره‌نامه‌ی انسان حل کنید.

c در مورد پرنده‌ها و پروانه‌ها، نرها برخلاف انسان XX (ZZ) و ماده‌ها XY (ZW) هستند.

در مورد صفات اتوزومی، پروانه‌ها و پرنده‌ها عین انسان هستند اما در مورد صفات وابسته به X، جای نرها و ماده‌ها (مربع‌ها و دایره‌ها) عوض می‌شود.

پس در مورد پرنده‌ها و پروانه‌ها جفت قانون پدر و مادر همان است که در مورد انسان بود. اگر پدر و مادری سالم، بچه‌های بیمار داشتند، الگو فقط مغلوب است و اگر پدر و مادری بیمار بچه‌های سالم داشتند، الگو فقط غالب است. اما در پرنده‌ها و پروانه‌ها نسبت به انسان جفت قانون نقیض برعکس می‌شود. یعنی اگر نر بیماری ببینید که مادر یا دخترش سالم هستند، الگوی آن بیماری نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد (برخلاف انسان که در این حالت نمی‌توانست وابسته به X غالب باشد)، اگر ماده‌ی بیماری ببینید که پدر یا پسری سالم دارد، الگوی آن بیماری نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد (برخلاف انسان که در این حالت نمی‌توانست وابسته به X مغلوب باشد).



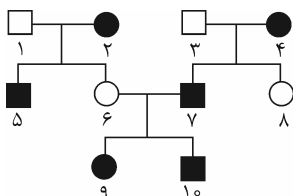
شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد ملخ است. چند الگو در آن صادق است؟

تست

- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

گفتیم که با ملخ مثل انسان برخورد می‌کنیم. هیچ‌کدام از جفت قانون پدر و مادر را نداریم. می‌رویم سراغ مردها! و زن‌های! بیمار، می‌بینیم که زن ۸، پدرش (۳) سالم است، الگوی شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. همین‌طور مرد بیمار ۱، دخترش (۶) سالم است و این یعنی الگوی شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. پس کلاً ۲ الگوی اتوزوم غالب و مغلوب در این شجره‌نامه صادق هستند.

پاسخ



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد بیستون بتولاریاست. کدام الگو در این شجره‌نامه صادق نیست؟

تست

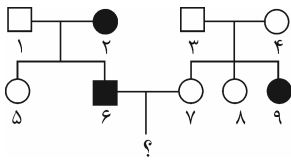
- ۱) اتوزوم مغلوب
- ۲) اتوزوم غالب
- ۳) وابسته به X غالب
- ۴) وابسته به X مغلوب

قانون پدر و مادر که کار نمی‌کند. می‌رویم سراغ ماده‌ها و نرهای بیمار. می‌بینید که همه چیز مرتب است جز این فرد ۱۰ که نری بیمار است، مادر سالم دارد. در این حالت در انسان می‌گفتیم الگوی شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد اما در پرنده‌ها و پروانه‌ها برعکس می‌گوئیم. می‌گوئیم نمی‌تواند وابسته به X مغلوب باشد. چرا که فرد ۱۰،  $X^hX^h$  است و مادرش باید حتماً  $X^hY$  باشد و نمی‌تواند XY باشد.

پاسخ



شجره‌نامه‌ی روبه‌رو در مورد سهره است. اگر از ازدواج ۳ و ۴ احتمال تولد سهره‌ی ماده‌ی بیمار  $\frac{1}{4}$  باشد، از ازدواج ۶ و ۷ چه نسبتی



از ماده‌ها، بیمار می‌شوند؟

- (۱)  $\frac{1}{4}$
- (۲)  $\frac{1}{3}$
- (۳)  $\frac{1}{4}$
- (۴) صفر

۳ و ۴ سالم هستند و دختری بیمار دارند. پس الگو حتماً مغلوب است و غالب نیست. ۹ دختر بیماری‌ست که پدرش سالم است.



گفتیم در پرنده‌ها و پروانه‌ها برعکس است و این نقیض نشان می‌دهد که الگوی این شجره‌نامه نمی‌تواند وابسته به X غالب باشد. اینو که خودمون از روی قانون پدر و مادر زود فهمیدیم! ۶، پسری بیمار است که مادرش بیمار است. پس نقیضی برای وابسته به X مغلوب پیدا نکردیم. می‌رویم سراغ شرط سؤال. هر دو حالت اتوزوم و وابسته به X مغلوب را برای  $3 \times 4$  در نظر می‌گیریم.

$$\text{اتوزوم: } Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}aa + \dots$$

$$X \text{ وابسته به } X^hX \times XY \rightarrow \frac{1}{4}X^hY + \dots$$

دقت کنید که در حالت اتوزوم هر دو باید ناقل باشند، چون ۹ بیمار است. در حالت وابسته به X، ۴ نمی‌تواند آلل بیماری داشته باشد وگرنه بیمار می‌شود.

احتمال ماده‌ی بیمار ( $X^hY$ ) در حالت وابسته به X می‌شود  $\frac{1}{4}$  و در حالت اتوزوم می‌شود  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$  یعنی  $\frac{1}{16}$ . پس الگوی شجره‌نامه وابسته به X مغلوب است.

$$6 \times 7: X^hX^h \times XY \rightarrow \frac{1}{4}X^hY + \frac{1}{4}X^hX$$

می‌بینید که همه‌ی ماده‌ها (یک) بیمار هستند.

این سؤال را در حالتی حل کنید که احتمال نر بیمار در صورت سؤال،  $\frac{1}{8}$  باشد. سؤال سختیه!



از این سوزهی شجره‌نامه‌های جانوری تا دلتان بخواهد می‌شود سؤال‌های جدید و عجیب داد. اما تا همین جا کافی‌ست. چون هنوز تا



اینجا هم در کنکور نیامده است.