فصل ۳ دوازدهم

شباهت بین فرزندان و والدین، گویای آن است که ویژگی های والدین به نحوی به فرزندان منتقل می شود. همچنین می دانیم که **در** تولیدمثل **جنسی ارتباط بین نسل ها را کامه ها (گامت ها) برقرار می کنند** و **ویژگی های هریک از والدین** توسط **دستورالعمل هایی که در دِنای** موجود در **کامه ها** قرار دارد، به نسل بعد منتقل می شود.

پیش از کشف قوانین وراثت، تصور بر آن بود که صفات فرزندان، آمیخته ای از صفات والدین و حدً واسطی از آنهاست . مثلا اگر یکی از والدین بلند قد و دیگری کوتاه قد باشد، فرزند آنان قدی متوسط خواهد داشت. اما مشاهدات متعدد نشان داد که این تصور درست نیست.

دانشمندی به نام گریگور مندل در اواخر قرن نوزدهم، زمانی که هنوز ساختار و عمل دنا و ژن ها معلوم نبود، توانست **قوانین بنیادی وراثت** را کشف کند. به کمک این قوانین، می شد صفات فرزندان را پیش بینی کرد. با توجه به شناخت شما از ساختار و عمل دنا، در این فصل با مفاهیم پایه وراثت به زبان امروزی آشنا می شویم.

گفتار یک مفاهیم پایه

هر یک از ما ویژگی هایی داریم که ما را با آنها می شناسند. بعضی از این ویژگی ها را از والدین خود دریافت کرده ایم؛ مثل رنگ چشم، رنگ مو یا گروه خونی. ویژگی هایی را هم می شناسیم که ارثی نیستند؛ مثل تغییر تیره شدن رنگ پوست که به علت قرارگرفتن در معرض آفتاب ایجاد شده است .در علم ژن شناسی، ویژگی های ارثی جانداران را صفت می نامند (شکل ۱) .

وراثت: به انتقال صفات از والدین به فرزندان وراثت می گویند.

صفات جانداران از نظر وراثت ۳ گروه اند.

۱- بسیاری از صفات وراثتی اند و از والدین به فرزندان به ارث می رسند .(مثل گروه خونی)
۲- برخی از صفات اکتسابی اند مثل ناگیرایی نسبت به برخی بیماری ها که در اثر تزریق واکسن و یا ابتلا به بیماری حاصل می شوند.
۳- برخی از صفات تحت تاثیر محیط و وراثت قرار می گیرند مثل طول قد و اندازه ی وزن.

ژن شناسی(ژنتیک): شاخه ای از زیست شناسی است که به **چگونگی وراثت صفات از نسلی به نسل دیگر می پردازد.**

هر یک از صفاتی که نام بردیم به شکل های مختلفی دیده می شوند. مثال رنگ مشکی، قهوه ای، سبز یا آبی باشد. یا حالت مو ممکن است به شکل صاف، موج دار یا فر دیده شود.

به انواع مختلف یک صفت، شکل های آن صفت می گویند .

از نظر چگونگی انتقال صفات از والدین به فرزندان:

۱- صفات مستقل از جنس یا وابسته به جنس
۲- صفات ۲ آللی یا چند آللی اند
۳- رابطه ی بین آلل های صفات: غالب کامل یا غالب ناقص یا هم توان است.
۴- صفات نسبت به یکدیگر پیوسته اند یا مستقل اند.

ژن : عامل انتقال و بروز صفت است.

هر صفت دارای شکل های مختلف است به شکل های مختلف یک صفت که در جاندار بروز می کند فنوتیپ می گویند، برای مثال:صفت گروه خونی در انسان دارای ۴ نوع فنوتیپ است.

گروه خونی A - گروه خونیB – گروه خونی AB – گروه خونی O .

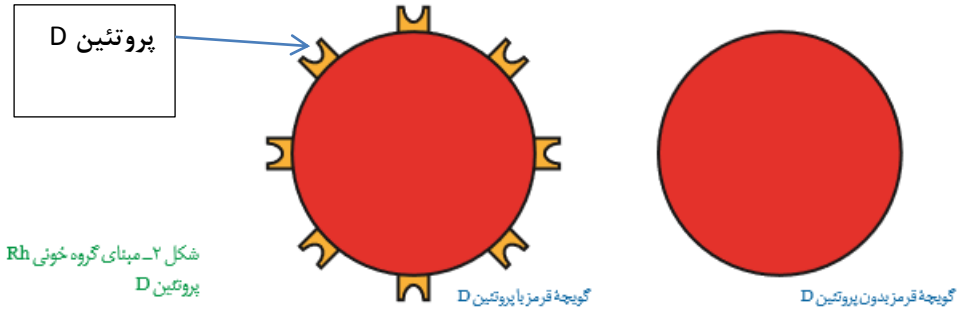
صفت گروه خونی RH در انسان دارای ۲ نوع گروه فنوتیپ است. $\begin{cases} RH^+ \text{فنوتیپ} \\ RH^- \text{فنوتیپ} \end{cases}$

آلل: ژن های **کنترل کننده ی** یک صفت که **برروی کروموزم های همتا** قرار دارند و **جایگاه یکسانی** را اشغال می کنند نسبت به یکدیگر آلل هستند ، مثال ژن های گروه خونی Rh^+ و Rh^- آلل هستند آلل ها را با حروف لاتین نشان می دهند.

آلل گروه خونی Rh^+ :D آلل گروه خونی Rh^- : d

گروه های خونی:آیا شما گروه خونی خود را می دانید؟ آیا می دانید منظور از گروههای خونی A^+ چیست؟ وقتی می گویند گروه خونی مثال A^+ است در واقع «دو» گروه خونی را برای او مشخص کرده اند. یکی گروه گروه خونی شخصی خونی معروف به ABO و دیگری گروه خونی ای به نام Rh.در ادامه این دو گروه خونی را بررسی می کنیم Rh . ساده تر است و با آن آغاز می کنیم .

گروه خونی Rh : گروه خونی Rh بر اساس **بودن یا نبودن پروتئینی است** که در غشای گویچه های قرمز جای دارد و **پروتئین D** نامیده می شود. اگر این پروتئین وجود داشته باشد، گروه خونی Rh مثبت است و اگر وجود نداشته باشد گروه خونی Rh منفی خواهد شد (شکل ۲).

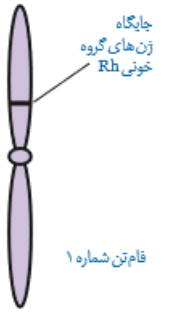


شکل ۲ـ مبنای گروه خونی Rh
پروتئین D

بود و نبود پروتئین D به نوعی ژن بستگی دارد. دو ژن در ارتباط با این پروتئین، در میان مردم دیده می شود. **ژنی که می تواند پروتئین D را بسازد و ژنی که نمی تواند پروتئین D را بسازد.** این دو ژن را به ترتیب D و d می نامیم.

Dو d جای مشخصی در فام تن دارند . هر دو، جای یکسانی از فام تن شماره ۱ را به خود اختصاص داده اند.

توجه داشته باشید که هر فام تن شماره ۱ در این جایگاه ژن D یا d را دارد و نه هر دو را. به این جایگاه از فام تن شماره ۱ ،جایگاه ژنهای Rh می گویند (شکل ۳) .

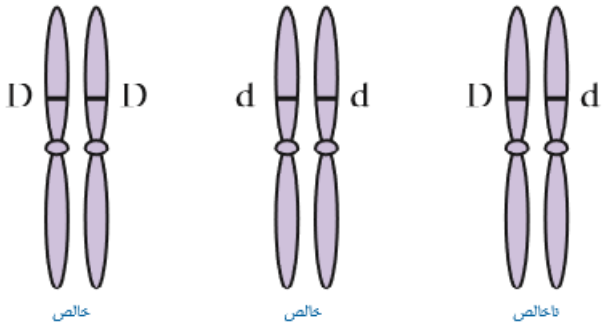


شکل ۳ـ جایگاه ژن های Rh

به D و d که شکل های مختلف صفت Rh را تعیین می کنند و هر دو جایگاه ژنی یکسانی دارند؛ دگره (الل) می گویند. از آنجا که هر یک از ما دو فام تن ۱ داریم، پس دو دگره هم برای Rh داریم.

بنابراین ممکن است هر دو فام تن شماره ۱ ، D یا هر دو d را داشته باشند. در این صورت می گویند فرد

برای این صفت خالص است. اما اگر یک فام تن D و دیگری d را داشته باشد می گویند فرد برای این صفت، ناخالص است (شکل ۴).



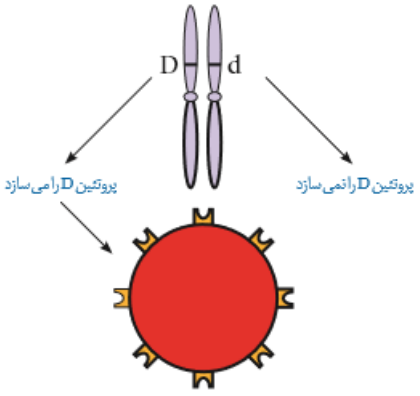
شکل ۴ـ ژن نمودهای خالص و ناخالص

گروه خونی فردی که DD است، مثبت و گروه خونی فرد dd ، منفی است. اما گروه خونی فردی که Dd است؛ چگونه می شود؟ **برای پاسخ به این سؤال باید رابطه بین این دو دگره را دانست** مشاهدات نشان می دهند که **افراد ناخالص، گروه خونی مثبت را خواهند داشت.**

ژن نمود	رخ نمود
DD	گروه خونی +
Dd	گروه خونی+
dd	گروه خونی -

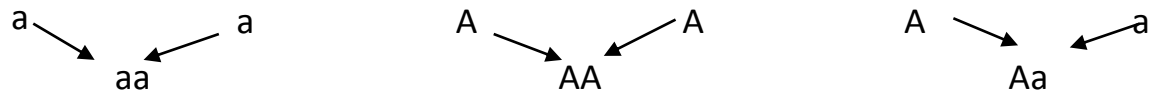
جدول ۱ـ انواع ژن نمود و رخ نمود گروه خونی Rh

بنابراین اگر دو دگره Dو d کنار هم قرار بگیرند، این آلل D است که بروز می کند. در چنین حالتی گفته می شود که دگره D بارز و دگره d نهفته است و **بین دگره ها رابطه بارز و نهفتگی برقرار است.** طبق قرارداد، دگره بارز را با حرف بزرگ و دگره نهفته را با حرف کوچک آن نشان می دهیم



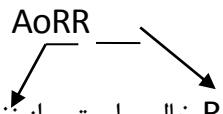
.

قوانین وراثت به زبان امروزی :۱- هر جاندار دیپلوئیدی : برای هر صفت ۲ عدد آلل دارد. که یکی را از والد پدری و آلل دیگر را از والد مادری دریافت می کند.



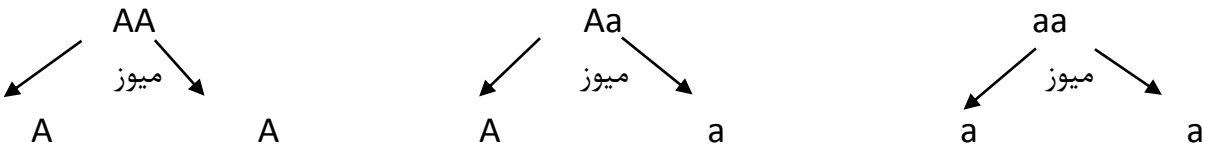
۲- هر جاندار دیپلوئیدی برای هر صفت ۲ عدد آلل دارد که ممکن است مشابه یا متفاوت باشد .

اگر الل های مربوط به یک صفت در جاندار مشابه باشند جاندار از نظر آن صفت خالص یا هموزیگوس است.(AA وaa) واگر آلل های مربوط به یک صفت در جاندار متفاوت باشند جاندار از نظر آن صفت ناخالص یا هتروزیگوس است. (Aa)

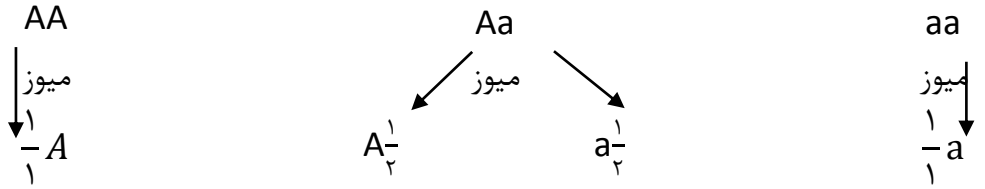


از نظر صفت RH خالص است از نظر گروه خونی ناخالص

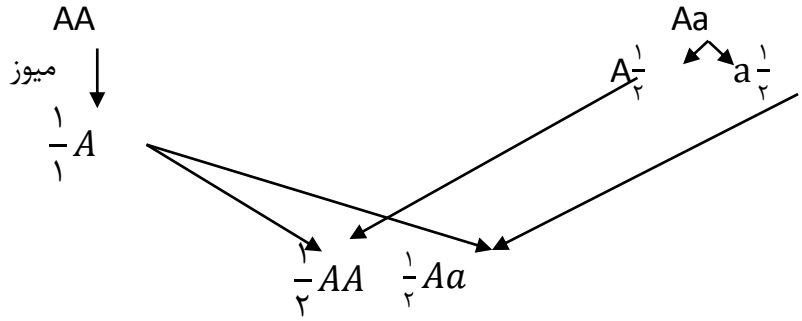
۳- آلل های مربوط به هر صفت به هنگام تقسیم میوز از هم جدا می شوند و هر کدام وارد یک گامت می شوند.



در نتیجه اگر جاندار خالص باشد یک نوع گامت و اگر ناخالص باشد دو نوع گامت تولید می کند.



۴- آلل ها به هنگام لقاح و تشکیل سلول تخم به هم می رسند و ژنوتیپ فرزندان را ایجاد می کنند.



ژنوتیپ: به نوع الل های موجود در جاندار ژنوتیپ می گویند.

AA: ژنوتیپ ارغوانی خالص Aa : ژنوتیپ ارغوانی ناخالص aa: ژنوتیپ سفید

نوع دیگری از رابطه گروه بین دگره ها را در صفت گروه خونی ABO می توانیم ببینیم .

گروه خونیABO : در گروه خونی ABO خون به چهار گروه A ، B، ABو O گروه بندی می شود .**این گروه بندی بر مبنای بودن یا نبودن دو نوع کربوهیدرات به نامهایA و B در غشای گویچه های قرمز است**(شکل ۶).

	گروه خونی A	گروه خونی B	گروه خونی AB	گروه خونی O
گویچه قرمز				
نوع کربوهیدرات گویچه قرمز	A	B	A و B	هیچ کدام

شکل ۶ ـ مبنای گروه خونی ABO

برای گروه خونی ABO چه دگره هایی وجود دارد؟ **اضافه شدن کربوهیدراتهای A و B به غشای گلبول قرمز، یک واکنش آنزیمی است. دو نوع آنزیم وجود دارد. یکی آنزیم A ،که کربوهیدرات A را به غشا اضافه می کند و دیگری آنزیم B ،که کربوهیدرات B را اضافه می کند. اگر هیچ یک از این دو آنزیم وجود نداشته باشند، آنگاه هیچ کربوهیدراتی اضافه نخواهد شد.** بنابراین برای این صفت، سه دگره وجود دارد. **دگرهای که آنزیم A را می سازد، دگره ای که آنزیم B را می سازد و دگره ای که هیچ آنزیمی نمی سازد**

جایگاه ژنهای گروه خونی ABO در فام تن شماره۹ است . برای سادگی، **این سه دگره را به ترتیب A ، Bو O می نامیم.** در اینجا تشخیص رخ نمود برای ژن نمودهای خالص AA ، BBیا OO آسان است: گروه خونی به ترتیب A ، Bیا O می شود. اما، رخ نمود ژن نمودهای ناخالص چیست؟ رابطه بارز و نهفتگی بین دگره ها چگونه است؟

ژن نمودهای ناخالص برای این دگره ها عبارتاند از AO ، BOو.AB آیا می توانید حدس بزنید. گروه خونی فردی که AO است چیست؟ دگره A آنزیم A را می سازد اما دگره O هیچ آنزیمی نمی سازد. پس گروه خونی این فرد A خواهد شد. به همین علت گفته می شود A نسبت به O بارز است. همین استدلال را میتوان برای ژن نمود BO به کار برد. دگره B هم نسبت به دگره O بارز است. **در ژن نمود AB هر دو آنزیم ساخته می شوند و به همین علت گلبول قرمز هر دو کربوهیدرات A و B را خواهد داشت. در اینجا رابطه بین دو دگره A و B ،دیگر از نوع بارز و نهفتگی نیست. چنین رابطهای را همتوانی می نامیم و می گوییم دگره های A و Bنسبت به هم همتوان هستند**

ژن شناسان دگره های A ، Bو O را به ترتیب I^A و I^B و i نشان می دهند. این نوع نام گذاری به روشن نشان می دهد که دگره های I^A و I^B نسبت به هم ، هم توان اما نسبت به i بارزند .

گروه های خونی در انسان نوعی صفت مستقل از جنس و چندآللی است:

صفت گروه خونی در انسان توسط ۳ نوع آلل A,B,O به ارث می رسند.

آلل های Aو B بر O غالب اند و نسبت به یکدیگر هم توان اند.

انواع ژنوتیپ های گروه خونی

- AA، AO → ژنوتیپ گروه خونی A
- BB، BO → ژنوتیپ گروه خونی B
- AB → ژنوتیپ گروه خونیAB
- OO → ژنوتیپ گروه خونیO

برای گروه خونی ۶ نوع ژنوتیپ و ۴ نوع فنوتیپ داریم.

آنتی ژن(کربوهیدرات)های گروه خونی بر روی غشاء گلبول قرمزاند.

آنتی کرهای گروه خونی در پلاسمای خون محلول اند.

گروه خونی آللA	آنتی ژن(کربوهیدرات) A	آنتی کرB
گروه خون B	آنتی ژن(کربوهیدرات) B	آنتی کرA
گروه خونی AB	آنتی ژن(کربوهیدرات) A آنتی ژن(کربوهیدرات) B	....
گروه خونیO	....	آنتی کرA آنتی کرB

برای صفت اتوزومی و n اللی

n = انواع آلل های یک صفت

$\frac{n(n+1)}{2}$ = انواع ژنوتیپ ها

تعداد رابطه ی غالب و مغلوب های آلل ها - انواع ژنوتیپ ها = انواع فنوتیپ ها

n = انواع ژنوتیپ های خالص

$\frac{n(n-1)}{2}$ = انواع ژنوتیپ های ناخالص

در مورد صفت گروه خونی: A,B,O ۳= انواع آلل ها

$\frac{3\times4}{2}$=۶ = انواع ژنوتیپ ها

۶-۲=۴= انواع فنوتیپ ها A,B,O

انواع ژنوتیپ ها: AA BB OO / AB BO / AO

۳+۲+۱=۶

رابطه ی بین آلل های صفت:

۱- رابطه ی بارز و نهفتگی: در افراد ناخالص برای آن صفت ، فتوتیپ یکی از آلل ها نشان داده شود.

فنوتیپ بارز: فتوتیپی است که در افراد ناخالص بروز می کند .

فنوتیپ نهفته: فتوتیپی است که در افراد ناخالص بروز نمی کند.

برای فنوتیپ بازر حرف لاتین بزرگ : A و برای فنوتیپ نهفته حرف لاتین کوچک : a را انتخاب می کنیم.

۳ نوع ژنوتیپ در جاندار وجود دارد.

AA	Aa	aa
ژنوتیپ های (۳نوع):		
↓	↓	↓
فنوتیپ های (۲نوع): بارز	بارز	نهفته

۲- رابطه ی هم توان: در افراد ناخالص، فنوتیپ های هر دو حالت خالص با هم بروز می کند.

اسب موی سفید × اسب موی قرمز

↓

اسب های با موهای قرمز و سفید حاصل شده است (ابرش)

برای فنوتیپ هایی که در افرد خالص بروز می کند آلل های با حروف لاتین بزرگ و متفاوت انتخاب می کنیم.

آلل فنوتیپ افراد خالص اول:A آلل فنوتیپ افراد خالص دوم: B

BB	AB	AA	ژنوتیپ(۳نوع) :
↓	↓	↓	
فنوتیپ آلل B	فنوتیپ آللA و آللB	فنوتیپ آلل A :فنوتیپ (۲نوع)	

۳ - بارزیت ناقص رابطه دیگری بین دگره ای: تا اینجا با دو نوع رابطه دگره ها آشنا شدیم یکی بارز و نهفتگی و دیگری همتوانی. رابطه دیگری نیز بین دگره ها برقرار است و آن موقعی است که **صفت در حالت ناخالص، به صورت حد واسط حالت های خالص مشاهده می شود.** این بار مثالی از گیاهان بیاوریم. رنگ گل میمونی مثال خوبی است (شکل ۷). دو دگره برای رنگ گل میمونی وجود دارد که یکی قرمز و دیگری سفید است. این دو را به ترتیب با R و W نشان می دهیم. در حالت RR رنگ گل قرمز و در حالت WWرنگ گل سفید است. رنگ گل RW چگونه است؟ این گل، صورتی است. رنگ صورتی، حالت حدواسط قرمز و سفید است. در این حالت گفته می شود که رابطه بارزیت ناقص برقرار است.

گل میمونی سفید × گل میمونی قرمز

↓

گل میمونی ارغوانی

برای فنوتیپ هایی که در افراد خالص بروز می کند آلل انتخاب می کنیم آلل ها را با حروف لاتین بزرگ و متفاوت انتخاب می کنیم.

آلل فتوتیپ افراد خالص اول: A آلل فتوتیپ افراد خالص دوم: B

۳ نوع ژنوتپ در جاندار وجود دارد:

BB	AB	AA :ژنوتیپ ها (۳نوع)
↓	↓	↓
فنوتیپ آلل B	فنوتیپ حدواسط	فنوتیپ آلل A :فنوتیپ ها(۳نوع)

برای حل مسائل وراثت یک صفت ۲ آللی واتوزومی روش زیر عمل می کنیم.

۱) رابطه ی بین آلل های صفت را مشخص می کنیم.۲) انتخاب آلل براساس رابطه ی بین آلل ها انجام می دهیم.

۳) فتوتیپ والدین را می نویسیم. ۴) ژنوتیپ والدین را می نویسیم.

۵)گامت والدین را می نویسیم.

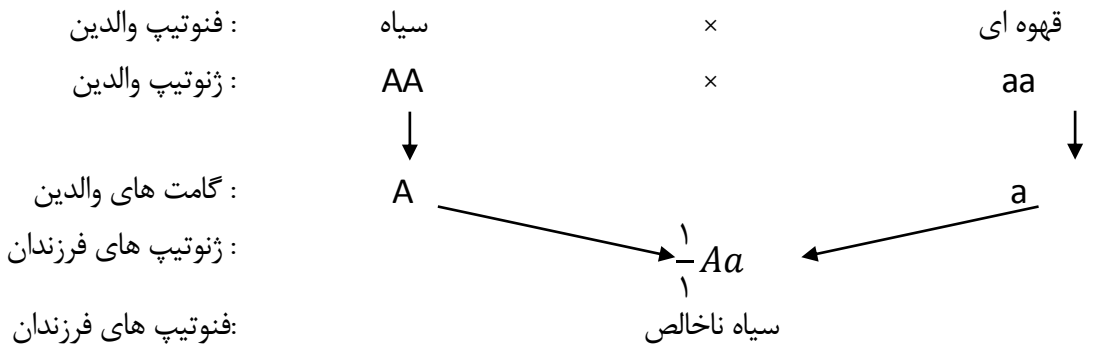
۶)ژنوتیپ های فرزندان را از لقاح تصادفی گامت های والدین به دست می آوریم و احتمالات آن ها را مشخص می کنیم.

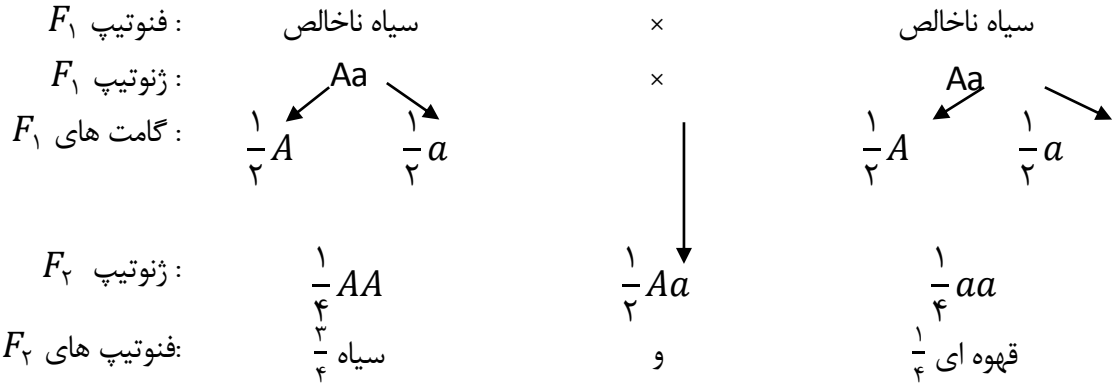
۷) فتوتیپ های فرزندان و احتمالات آن ها را می نویسیم

مثال: از آمیزش موش سیاه با موش قهوه ای همه فرزندان در نسل اول سیاه خواهند بود : از آمیزش فرزندان با یکدیگر احتمال ژنوتیپ و فتوتیپ های افراد نسل دوم را بنویسید.

رابطه ی آلل های صفت بارز و نهفتگی :

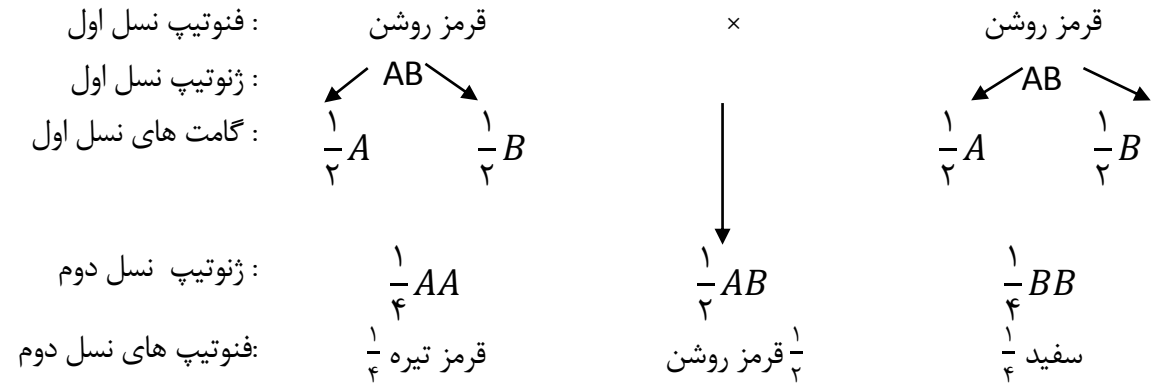
آلل فتوتیپ رنگ سیاه:A آلل فتوتیپ رنگ قهوه ای: a





مثال از آمیزش گاو قرمز تیره با گاو سفید، گوساله های قرمز روشن حاصل شده است: از آمیزش این گوساله ها با یکدیگر نسبت های ژنوتیپی و فنوتیپی فرزندان را به دست آورید. رابطه ی آلل های صفت بارزیت ناقص

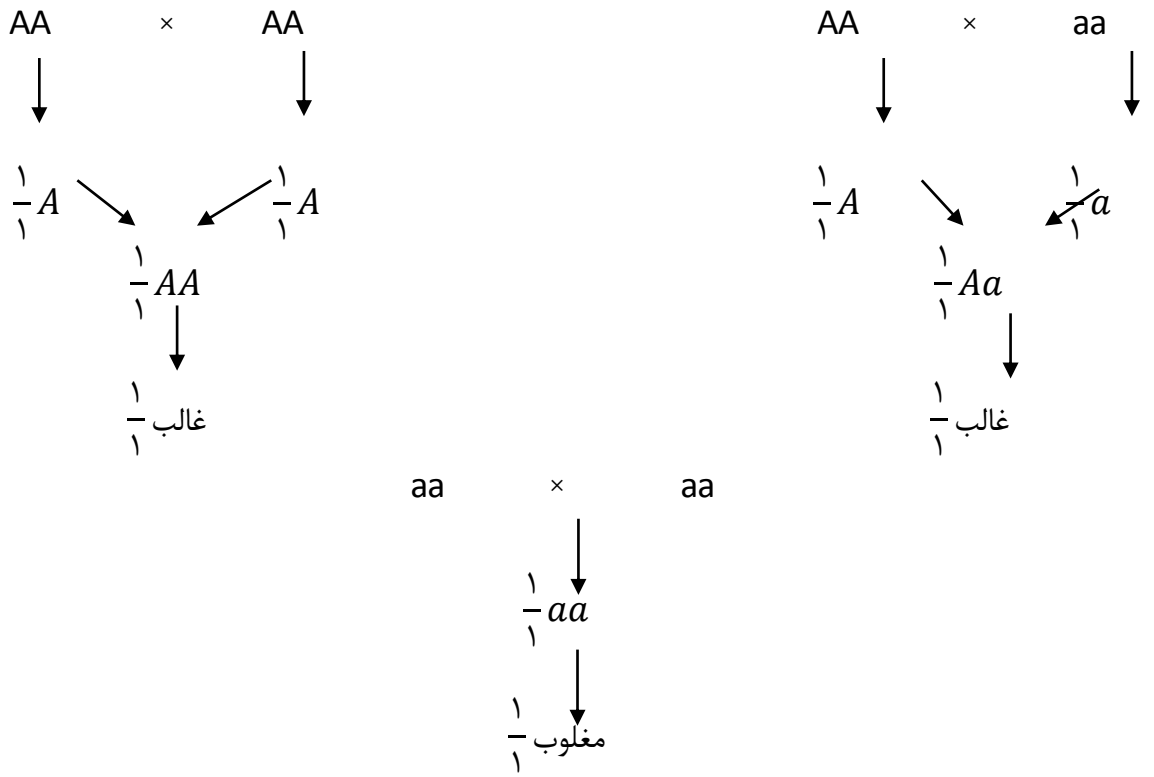
آلل رنگ قرمز تیره:A آلل رنگ سفید:B



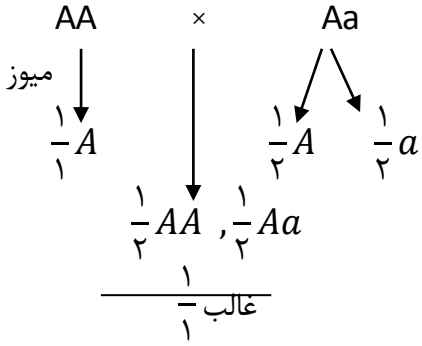
در وراثت صفات ۲ آللی و اتوزومی : ۳ نوع ژنوتیپ وجود دارد ← ۶ حالت آمیزش وجود دارد.

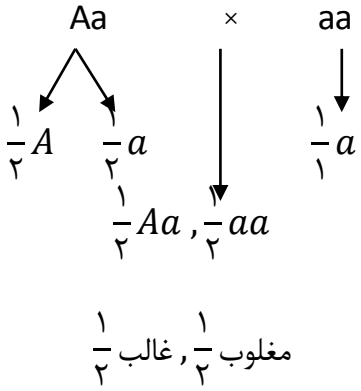
ژنوتیپ ها : AA و Aa و Aa

در۳ حالت آمیزش ها: هر دو والد خالص اند:← در این حالات یک نوع ژنوتیپ در فرزندان حاصل می شود.

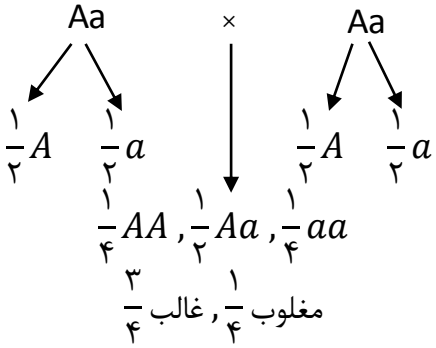


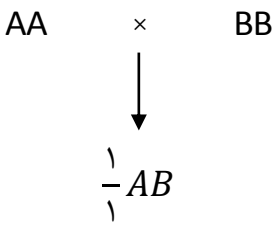
در۲ حالت آمیزش: یکی از والدین خالص و دیگری ناخالص است. در این حالت ۲ نوع ژنوتیپ در فرزندان حاصل می شود.

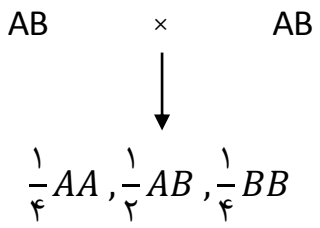


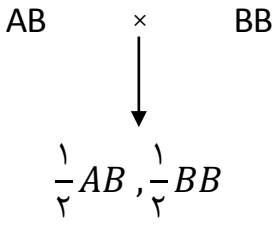


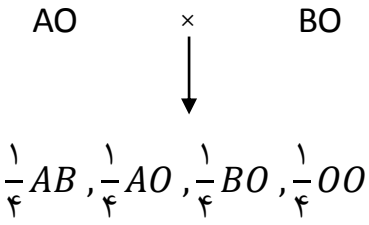
یک حالت آمیزش هر دو والد ناخالص اند. در این حالت معمولاً ۳ نوع ژنوتیپ در فرزندان حاصل می شود.









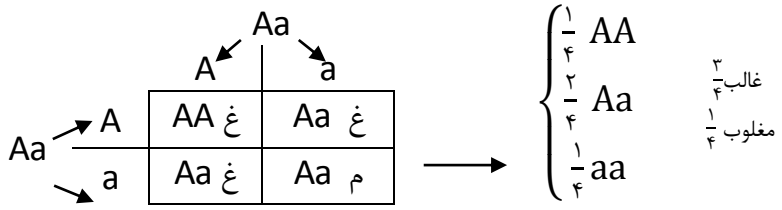


قوانین احتمالات که در ژنتیک کاربرد دارد:

۱- برای به دست آوردن احتمال وقوع یک پیشامدی تصادفی از فرمول زیر استفاده می کنیم.

$$P=\frac{n(A)}{n(s)}$$

$$P=\frac{\text{تعداد حالت خاص}}{\text{کل حالات ممکن}}$$



۲- نتایج حاصل از یک پیشامد تصادفی تاثیری بر نتایج بعدی همان پیشامد نخواهد داشت.

مثال: از آمیزش موش سیاه با موش قهوه ای ۵ فرزند سیاه و یک فرزند قهوه ای به دنیا آمده است احتمال اینکه فرزند بعدی سیاه باشد چقدر است؟ $\frac{۱}{۲}$

۳- برای به دست آوردن احتمال وقوع چند پیشامد تصادفی و مستقل به طور همزمان ابتدا احتمال وقوع هر کدام را به طور مستقل به دست می آوریم سپس در هم ضرب می کنیم .

مثال : از آمیزش دو موش سیاه ناخالص بایکدیگر احتمال تولد فرزند نر سیاه چقدراست؟

سیاه ناخالص × سیاه نا خالص

Aa × Aa

$$\frac{۱}{۴}AA\ ,\frac{۱}{۲}Aa\ ,\frac{۱}{۴}aa$$

$\frac{۳}{۴}$ سیاه

احتمال تولد فرزند نر سیاه $\frac{۳}{۴}\times\frac{۱}{۲}=\frac{۳}{۸}$

اگر یک پشامد تصادفی به چندین حالت اتفاق بیافتد ابتدا احتمال هر حالت را به دست می آوریم سپس با هم جمع می کنیم.

صفاتی که اتوزومی اند و ۲ آللی اند و رابطه ی بین آلل های آن ها حالت غالب کامل دارند.

در موش و خرگوش (صفت رنگ بدن): غالب :سیاه / نهفته : قهوه

در مگس سرکه ← رنگ خاکستری : غالب
رنگ سیاه: مغلوب

در انسان:

۱- وضعیت لاله گوش: آزاد: غالب / پیوسته : مغلوب

۲- وجود گودی روی چانه : A
نبود گودی روی چانه :a

۳- وجود مو بر روی بند میانی انگشتان : A
نبود مو بر روی بند میانی انگشتان : a

۴- توانایی لوله کردن زبان : A
عدم توانایی لوله کردن زبان : a

۵- رنگ چشم قهوه ای : A
رنگ چشم آبی : a

صفاتی که اتوزوی و ۲ آللی هستند و رابطه ی آلل ها ی آنها غالب ناقص است.

۱- رنگ گلبرگ های گیاه گل میمونی :

قرمز	RR
صورتی	RW
سفید	WW

آلل قرمز:R

آلل سفید: W

۲- حالت موی انسان:

فرفری مجعد	AA
موج دار	AB
صاف	BB

آلل حالت فر:

آلل حالت صاف: B

۳-رنگ بدن گاو:

قرمز تیره	RR
قرمز روشن	RW
سفید	WW

آلل قرمز تیره:R　　آلل سفید:W

صفاتی که اتوزومی و ۲ آللی اند و رابطه ی آلل های آن ها حالت هم توان است.

۱-رنگ بدن اسب:
- قرمز: RR
- قرمز و سفید: RW
- سفید: WW

صفتRH در انسان توسط ۲ نوع آلل d,D ارث می رسد آلل D مربوط به RH^+ و آلل d مربوط به RH^- است و آلل R بر r غالب اند.

انواع ژنوتیپ ها(۳نوع)
- DD ⟶ RH^+
- Dd ⟶ RH^+
- dd ⟶ RH^-

بررسی وراثت ۲ صفت مستقل از جنس و ۲ آللی که رابطه ی آلل های آنها حالت غالب کامل دارند مثل رنگ دانه و شکل دانه در گیاه نخود فرنگی به طور همزمان .

رنگ دانه :
- آلل رنگ زرد :A
- آلل رنگ سبز: a

شکل دانه:
- آلل صاف: B
- آلل چروکیده:b

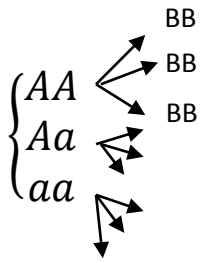
۳ ژ : AA , Aa , aa
۲ ف : زرد　　سبز

۳ ژ : BB , Bb , bb
۲ ف : صاف　　چروکیده

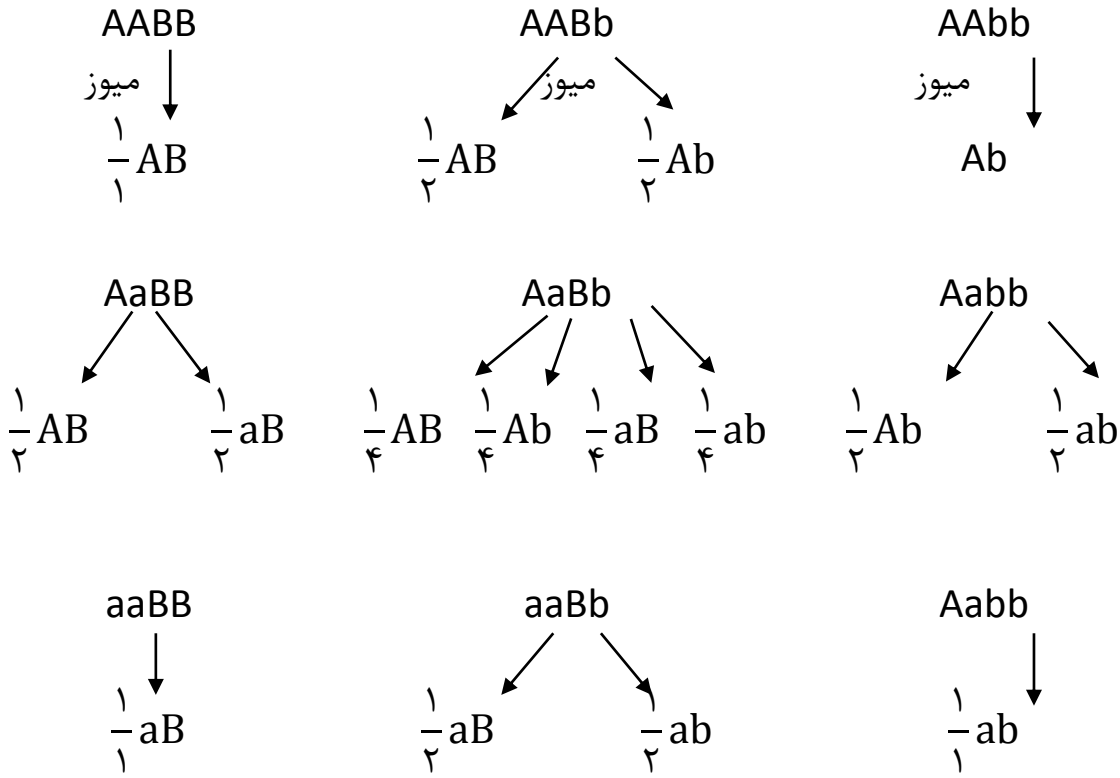
انواع فنوتیپ های شکل دانه و رنگ دانه = ۲ × ۲ = ۴ ⟵ { صاف و زرد ؛ صاف و سبز ؛ چروکیده و زرد ؛ چروکیده و سبز }

انواع ژنوتیپ های شکل دانه و رنگ دانه = ۳×۳=۹

AA BB	Aa BB	Aa BB
AA Bb	Aa Bb	Aa Bb
AA bb	Aa bb	Aa bb



نوشتن انواع گامت ها:

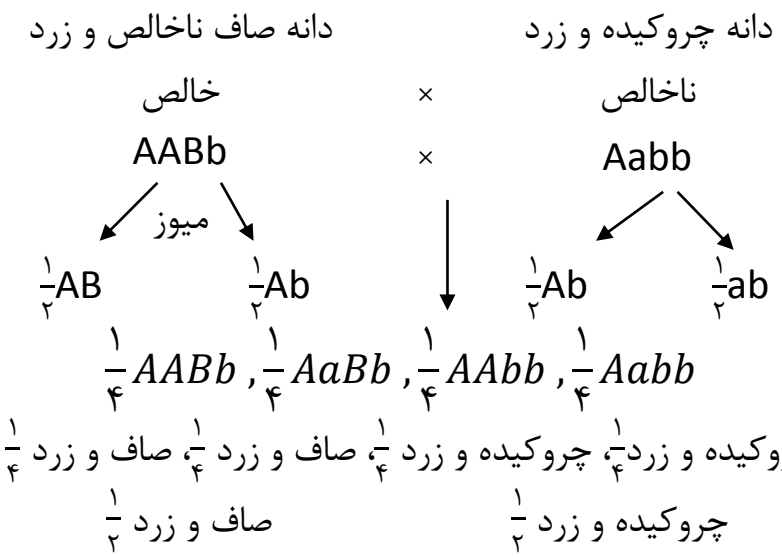


آمیزش ها:آلل زرد :A

آلل صاف : B

آلل سبز :a

آلل چروکیده : b



روش تستی

صاف ناخالص و زرد ناخالص × صاف ناخالص و زرد ناخالص

AaBb × AaBb

ابتدا وراثت هر صفت را بطور مستقل بررسی می کنیم و احتمال ژنوتیپ و فنوتیپ های فرزندان برای هر صفت بدست می آوریم و سپس در هم ضرب کنیم.

Aa ×Aa ⟶ ¼AA , ½Aa , ¼aa

¾ زرد , ¼ سبز

Bb ×Bb ⟶ ¼BB , ½Bb , ¼bb

¾ صاف , ¼ چروکیده

احتمال صاف و زرد = ¾ (صاف) × ¾ (زرد) = ۹/۱۶

احتمال AaBB = ½ (Aa) × ¼ (BB) = ⅛ AaBB

AaBB ⟶ ½ × ½ = ¼

برای مشخص کردن رابطه ی بین آلل های یک صفت به روش زیر عمل می کنیم:

۱- تولید والدین خالص برای هر یک از فنوتیپ ها.

۲- آمیزش دو والد خالص که فنوتیپ های متفاوت دارد.

۳- فرزندان آن ها ۱۰۰٪ نا خالص اند و یکی از حالت ها زیر را نشان می دهند:

الف- اگر فنوتیپ یکی از والدین را نشان دادند رابطه ی آلل ها حالت غالب کامل دارد.

ب- اگر فنوتیپی حد واسط را نشان دادند رابطه ی آلل ها حالت غالب ناقص است.

ج- اگر فنوتیپی هر دو والد را با هم نشان دادند رابطه ی آلل ها حالت هم توان است.

مثال: اگر از ازدواج یک مرد و زن احتمال تولد فرزند مبتلا به فنیل کتوریا $\frac{۱}{۴}$ و احتمال تولد فرزند مبتلا به هانتیگتون برابر $\frac{۳}{۴}$ باشد:

الف) احتمال تولد فرزند پسر مبتلا به هر دو بیماری $\frac{۱}{۲} \times \frac{۱}{۴} \times \frac{۳}{۴} = \frac{۳}{۳۲}$

ب) احتمال تولد فرزند دختر سالم $\frac{۱}{۲} \times \frac{۳}{۴} \times \frac{۱}{۴} = \frac{۳}{۳۲}$

ج) احتمال تولد فرزند پسری که فقط مبتلا به یک بیماری باشد.

$$\frac{۱}{۲}\left(\frac{۱}{۴} \times \frac{۱}{۴}\right) + \frac{۱}{۲}\left(\frac{۳}{۴} \times \frac{۳}{۴}\right) = \frac{۱۰}{۳۲} = \frac{۵}{۱۶}$$

(فقط ف) (فقط هـ)

د) احتمال تولد فرزند دختری که حداقل یک بیماری را داشته باشد.

$$\frac{۱}{۲}\left(\frac{۱}{۴} \times \frac{۱}{۴}\right) + \frac{۱}{۲}\left(\frac{۳}{۴} \times \frac{۳}{۴}\right) + \frac{۱}{۲}\left(\frac{۱}{۴} \times \frac{۳}{۴}\right) = \frac{۱۳}{۳۲}$$

احتمال تولد فرزند سالم = $\frac{۳}{۴}$ (سالم ف) $\times \frac{۱}{۴}$ (سالم هـ) $= \frac{۳}{۱۶}$

احتمال تولد فرزندی که حداقل یک بیماری را دارد = ۱- $\frac{۳}{۱۶} = \frac{۱۳}{۱۶}$

احتمال تولد فرزند دختری که حداقل یک بیماری را دارد = $\frac{۱}{۲} \times \frac{۳}{۱۶} = \frac{۱۳}{۳۲}$

۱- به دست آوردن احتمال یک ژنوتیپ خاص در فرزندان:

ابتدا احتمال ژنوتیپ خاص را برای هر صفت به دست می آوریم سپس در هم ضرب می کنیم.

$$AaBbDdee \times AaBbDDEe$$

$$\downarrow$$

$$\text{احتمال } \underline{A}a\underline{B}\underline{B}\underline{dd}\underline{E}e \quad \frac{۱}{۲} \quad \frac{۱}{۴} \quad \frac{۱}{۲} \quad \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۳۲}$$

۲- به دست آوردن انواع ژنوتیپ های ممکن در فرزندان:

ابتدا وراثت هر صفت را به طور مستقل بررسی می کنیم و انواع ژنوتیپ های ممکن را در فرزندان برای آن صفت به دست می آوریم و سپس در هم ضرب می کنیم.

$$AaBbDdee \times AaBbddEe$$

$$\downarrow$$

$$۳ \times ۳ \times ۲ \times ۲ = ۳۶ \text{ نوع}$$

۳- به دست آوردن انواع فنوتیپ های ممکن در فرزندان

ابتدا وراثت هر صفت را به طور مستقل بررسی می کنیم و انواع فنوتیپ های ممکن را در فرزندان برای آن صفت به دست می آوریم و در هم ضرب می کنیم.

به رابطه ی بین آلل های صفت توجه شود.

$$AaRWDd \times AaRWDD$$

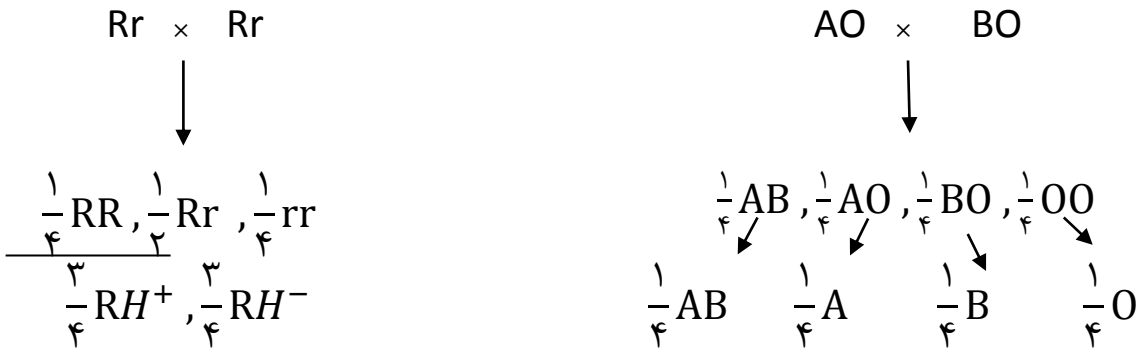
$$\downarrow$$

$$۲ \times ۳ \times ۱ = ۶$$

$$AORr \times BORr$$

$$ژ = ۴ \times ۳ = ۱۲$$

$$ف = ۴ \times ۲ = ۸$$



۴- به دست آوردن احتمال یک فنوتیپ خاص در فرزندان

ابتدا مشخص می کنیم که آن فنوتیپ خاص به چند حالت اتفاق می افتد. سپس احتمال هر حالت را به دست می آوریم و با هم جمع می کنیم.

برای بدست آوردن احتمال هر حالت: ابتدا وراثت هر صفت را بطور مستقل بررسی می کنیم و احتمال فنوتیپ خاص آن صفت را به دست می آوریم و در هم ضرب می کنیم.

AaBbDdEe ×aaBbDDEe

↓

احتمال تولد فرزندی که در ۲ صفت غالب و ۲ صفت مغلوب باشد

غ م غ م $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{32}$

۳ حالت دارد م غ م غ $= \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{32}$

م غ م غ $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{32}$

$\frac{1}{32} + \frac{3}{32} + \frac{3}{32} = \frac{7}{32}$

مثال: از ازدواج مردی با گروه خونی A^+ با زنی با گروه خونی B^+ اولین فرزند پسری با گروه خونی O^- متولد شده است.

الف) احتمال تولد دختری با گروه خونی A^+ چه قدر است؟

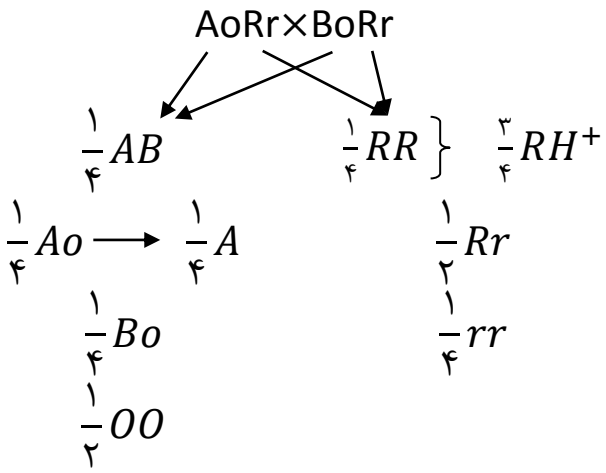
ب) احتمال تولد پسری که ژنوتیپ های یکی از والدین را داشته باشد؟

ج) احتمال تولد دختری که فنوتیپ های هیچکدام از والدین را نداشته باشد؟

$A^+ \times B^+ \Longrightarrow A?\,R? \times B?\,R?$

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

$O^- \qquad\qquad\qquad OOrr$



$$A^+ = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$$

$$A^+ \text{ دختر} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{32}$$

ب)

AoRr یا BoRr

$\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$

پسر با ژنوتیپ های والدین $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

دختر نباشد $(A^+ , B^+) = (\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{3}{4})$

$\frac{3}{16} + \frac{3}{16} = \frac{3}{8}$ نباشد

$1 - \frac{3}{8} = \frac{5}{8}$ باشد $\qquad \frac{1}{2} \times \frac{5}{8} = \frac{5}{16}$

گفتار ۲ انواع صفات

به یاد دارید که فام تن ها به دو دسته غیرجنسی و جنسی تقسیم می شوند. فام تن های جنسی انسان X و Y هستند. صفاتی را که جایگاه ژنی آنها در یکی از فام تن های غیرجنسی قرار داشته باشد صفت مستقل از جنس و صفاتی را که جایگاه ژنی آنها در یکی از دو فام تن جنسی قرار داشته باشد وابسته به جنس می گویند.

وراثت صفات مستقل از جنس

صفات اتوزومی چگونه به ارث می رسند؟ Rh یک صفت مستقل از جنس است. اگر پدرومادری هر دو ژن نمود Dd داشته باشند، چه ژن نمود یا ژن نمودهایی برای فرزندان آنها مورد انتظار است؟

می دانیم هر یک از پدرومادر، از هر جفت فام تن همتا تنها یکی را از طریق کامه ها به نسل بعد منتقل می کنند. در این مثال، هم پدر و هم مادر از نظر Rh دو نوع کامه تولید می کنند: یکی کامه ای که D دارد و دیگری کامه ای که d دارد. ژن نمود فرزندان به این بستگی دارد که کدام کامه ها با یکدیگر لقاح پیدا کنند.

ژن نمود فرزندان را میتوان با روشی به نام مربع پانت به دست آورد. پانت نام دانشمندی است این روش را پیشنهاد کرده است.

در روش مربع پانت، گامت های والدین را به طور جداگانه در سطر و ستون یک جدول می نویسیم و بعد خانه های جدول را با کنار هم قرار دادن کامه های سطر و ستون متناظر هم پر می کنیم (جدول۲).

کامه ها	D	d
D	DD	Dd
d	dD	dd

جدول ۲ــ مربع پانت

باید توجه داشت که ژن نمودهای Dd و dD یکسان اند. بنابراین هر فرزندی که متولد می شود می تواند یکی از ژن نمودهای DD ، Dd و dd را داشته باشد

فعّالیت ۱ پدری گروه خونی O و مادری گروه خونی AB دارد. چه ژن نمود و رخ نمودهایی برای فرزندان آنان پیش بینی می کنید؟

صفت وابسته بهX

گاهی ژن صفتی که بررسی می شود در فام تن X قرار دارد. به این صفات، وابسته به می گویند. هموفیلی، یک بیماری وابسته به X و نهفته است یا به عبارتی دیگر، دگره آن روی فام تن X قرار دارد و نهفته است. در این بیماری، فرایند لخته شدن خون دچار اختلال می شود. شایعترین نوع هموفیلی مربوط است به فقدان عامل انعقادی (VIII هشت)

دگره بیماری هموفیلی را h می نامیم و دگره سالم ژن H نامیده می شود(و برای آنکه نشان دهیم وابسته به X است، دگره ها را به صورت بالانویس X می نویسیم) X^h و X^H

صفت وابسته بهX نهفته:دگره بیماری بصورت نهفته و بر روی کروموزوم های جنسی x قرار دارد و کروموزوم y آلل هم ردیفی برای آن ندارد.

دگره سالم : x^A

دگره بیماری : x^a

انواع ژنوتیپ ها در مردان (۲) ⟵ { x^Ay سالم ؛ x^ay بیمار }

انواع ژنوتیپ ها در مردان (۳) ⟵ { x^Ax^A سالم ؛ x^Ax^a (ناقل) سالم ؛ x^ax^a بیمار }

انواع ژنوتیپ ها در کل = ۲+۳=۵

انواع فنوتیپ ها در کل = ۲ ⟵ سالم ؛ بیمار

انواع حالات ازدواج ۶=۳×۲

$x^Ay \times x^ax^a$

$\frac{۱}{۲}x^A$ $\frac{۱}{۲}y$ x^a

$\frac{۱}{۲}x^Ax^a$ ، $\frac{۱}{۲}x^ay$

$\frac{۱}{۲}$ دختر سالم ناقل — $\frac{۱}{۲}$ پسر بیمار

$x^Ay \times x^Ax^A$

$\frac{۱}{۲}x^A$ $\frac{۱}{۲}y$ x^A

$\frac{۱}{۲}x^Ax^A$ ، $\frac{۱}{۲}x^Ay$

$\frac{۱}{۲}$ دختر سالم — $\frac{۱}{۲}$ پسر سالم

$$x^a y \times x^a x^a \quad\quad x^a y \times x^A x^A$$

$$\frac{1}{2}x^a x^a \;,\; \frac{1}{2}x^a y \quad\quad \frac{1}{2}x^A x^a \;,\; \frac{1}{2}x^A y$$

$$x^A y \times x^A x^a$$

$$\frac{1}{2}x^A \;\; \frac{1}{2}y \;\; \frac{1}{2}x^A \;\; \frac{1}{2}x^a$$

$$\frac{1}{4}x^a y \;, \quad \frac{1}{4}x^A y \;, \quad \frac{1}{4}x^A x^a \;, \quad \frac{1}{4}x^A x^A \;,$$

پسر بیمار — پسر سالم — دختر سالم ناقل — دختر سالم

$\frac{3}{4}$ از فرزندان، سالم و $\frac{1}{4}$ از فرزندان، بیمار و $\frac{1}{2}$ از پسران، سالم و $\frac{1}{2}$ از پسران، بیمار و همه ی دختران ،سالم.

$$x^a y \times x^A x^a$$

$$\frac{1}{4}x^A x^a \;, \frac{1}{4}x^a x^a \;, \frac{1}{4}x^A y \;, \frac{1}{4}x^a y$$

$\frac{1}{2}$ از فرزندان، بیمار و $\frac{1}{2}$ از فرزندان، سالم

بیماری های هموفیلی، کوررنگی، تحلیل عضلانی دوشن، زالی، ناشنوایی بصورت وابسته به جنس مغلوب به ارشد می رسند.

در مورد بیماری های وابسته به جنس مغلوب:

تمام دختران یک مرد سالم: سالم اند.

تمام پسران یک زن بیمار: بیمارند.

جدول ۳ انواع ژن نمودها و رخ نمودها را برای هموفیلی نشان می دهد. دقت کنید که در فام تن Y جایگاهی برای دگره های هموفیلی وجود ندارد.

	زن	مرد
سالم	X^HX^H	X^HY
ناقل	X^HX^h	—
هموفیل	X^hX^h	X^hY

جدول ۳ـ انواع ژن نمودها و رخ نمودها برای هموفیلی

منظور از ناقل در جدول ۳ ، فردی است که بیمار نیست اما ژن بیماری را دارد و می تواند به نسل بعد منتقل کند .برای پیش بینی ژن نمودها و رخ نمودهای صفات وابسته به X در نسلهای بعد، میتوان همچنان از مربع پانت استفاده کرد. به مثال زیر توجه کنید .مثال: مردی هموفیل قصد دارد با زنی ازدواج کند که سالم است و ناقل هم نیست. زن می خواهد بداند آیا ممکن است فرزند حاصل از این ازدواج، هموفیل باشد؟

ژن نمود زن سالم $X^H X^H$ و گامت هایی که تولید می کند X^H و X^H است(در واقع برای این صفت فقط یک نوع گامت تولید می کند) . ژن نمود مرد هموفیل X^hY و گامت هایی که تولید می کند Y و X^h است ژن نمودها و رخ نمودهای نسل های بعد را می توان به کمک مربع پانت یافت.

گامت‌ها	X^h	Y
X^H	X^HX^h دختر ناقل	X^HY پسر سالم

جدول ۴ـ ژن نمود و رخ نمود نسل بعد

بنابراین فرزند هموفیل نخواهند داشت.

فعّالیت ۲ مردی سالم قصد دارد با زنی هموفیل ازدواج کند. فع چه ژن نمود و رخ نمودهایی برای فرزندان آنان پیش بینی می کنید؟

صفات پیوسته و گسسته

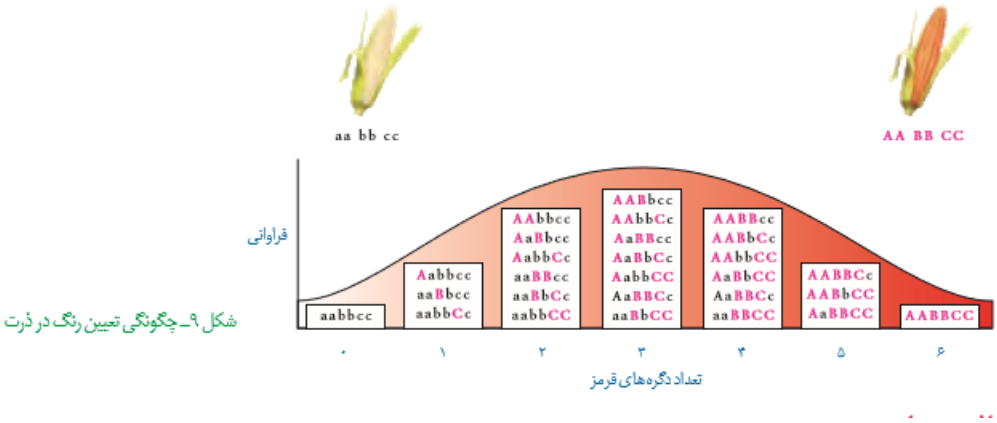
اندازه قد شما چقدر است؟ اگر از همکلاسی های خود اندازه قدشان را بپرسید، اعداد گوناگونی را خواهید شنید. اندازه قد صفتی پیوسته است به این معنی که هر عددی بین یک حداقل و یک حداکثر، ممکن است باشد. آیا می توان گفت که Rh هم چنین است؟ در میان انسان ها، صفت Rh تنها به دو شکل مثبت و منفی دیده می شود؛ بنابراین Rh صفتی گسسته است .

صفات تک جایگاهی و چندجایگاهی: صفاتی که تا اینجا بررسی کردیم، صفاتی هستند که یک جایگاه ژن در فام تن دارند. برای مثال، دگره صفت گروههای خونی ABO یک جایگاه مشخص از فام تن ۹ را به

خود اختصاص داده اند. چنین صفاتی را تک جایگاهی می نامیم .در مقابل، صفاتی هستند که در بروز آنها بیش از یک جایگاه ژن شرکت دارد. رنگ نوعی ذرت مثالی از صفات چندجایگاهی است. رنگ این ذرت طیفی از سفید تا قرمز است (شکل ۸)

شکل ۸ـ رنگ های متفاوت ذرت

صفت رنگ در این نوع ذرت صفتی با سه جایگاه ژنی است که هر کدام دو دگره دارند.برای نشان دادن ژن ها در این سه جایگاه، از حروف بزرگ و کوچک A ، Bو C استفاده می کنیم. برحسب نوع ترکیب دگره ها، رنگهای مختلفی ایجاد می شود. دگره های بارز، رنگ قرمز و دگره های نهفته رنگ سفید را به وجود می آورند. بنابراین رخ نمودهای دو آستانه طیف، یعنی قرمز و سفید به ترتیب ژن نمودهای AABBCCو aabbccرا دارند.



شکل ۹ـ چگونگی تعیین رنگ در ذرت

در رخ نمودهای ناخالص، هرچه تعداد دگره های بارز بیشتر باشد، مقدار رنگ قرمز بیشتر است .چنانکه می بینیم صفات چندجایگاهی رخ نمودهای پیوسته ای دارند. یعنی افراد جمعیت این ذرت، در مجموع طیف پیوسته ای بین سفید و قرمز را به نمایش می گذارند. به همین علت، نمودار توزیع فراوانی این رخ نمودها

شبیه زنگوله است. توجه داشته باشیم که رخ نمود صفات تک جایگاهی، غیرپیوسته است . رنگ گل میمونی یا سفید، یا قرمز یا صورتی (بدون طیف) است .

	همه مغلوب	پنج مغلوب	چهار مغلوب	سه مغلوب	دو مغلوب	یک مغلوب	همه غالب
فراوانی ژن نمود	aabbdd=۱/۶۴	Aabbdd۲/۶۴ aaBbdd۲/۶۴ aabbDd۲/۶۴	AAbbdd۱/۶۴ aaBBdd۱/۶۴ aabbDD۱/۶۴ AaBbdd۴/۶۴ AabbDd۴/۶۴ aaBbDd۴/۶۴	aaBbDD۲/۶۴ aaBBDd۲/۶۴ AabbDD۲/۶۴ AaBBdd۲/۶۴ AABbdd۲/۶۴ AAbbDd۲/۶۴ AaBbDd۸/۶۴	aaBBDD۱/۶۴ AAbbDD۱/۶۴ AABBdd۱/۶۴ AaBbDD۴/۶۴ AaBBDd۴/۶۴ AABbDd۴/۶۴	AaBBDd۱/۶۴ AABbDD۲/۶۴ AABBDd۲/۶۴	AABBDD=۱/۶۴
فراوانی رخ نمودها	۱/۶۴	۶/۶۴	۱۵/۶۴	۲۰/۶۴	۱۵/۶۴	۶/۶۴	۱/۶۴

حالت سه مغلوب یک حالت داره

۲۷= ۳× ۳× ۳ = انواع ژن نمودهای صفت در جمعیت

۷ = ۱- (۲× ۲× ۲) = انواع رخ نمود های صفت در جمعیت

۷ = ۱+ ۲+ ۲+ ۲ = انواع رخ نمود های صفت در جمعیت

صفات چند جایگاهی یا صفات کمی یا صفات پیوسته مثل طول قد، وزن، رنگ چشم، رنگ پوست و رنگ مو ....

۱- این صفات توسط چندین ژن که در چندین جایگاه قرار دارند، به ارث می رسند.
۲- این صفات دارای واحد اندازه گیری اند مثل طول قد و اندازه ی وزن یا گستره ی از فتوتیپ های این صفات در جمعیت وجود دارد. مثل رنگ چشم و رنگ پوست
۳- پراکندگی یا پراکنش این صفات در جمعیت از نمودار توزیع نرمال تبعیت می کند.

مثال صفت کمی زیر توسط ژن های موجود در ۳ جایگاه به ارث می رسد.

اثر محیط: گاهی برای بروز یک رخ نمود تنها وجود ژن کافی نیست. برای مثال در گیاهان، ساخته شدن سبزینه علاوه بر ژن، به نور هم نیاز دارد .محیط انسان، شامل عوامل متعددی است. تغذیه و ورزش عواملی محیطی اند که می توانند بر ظهور رخ نمود اثر بگذارند. به عنوان مثال، قد انسان به تغذیه و ورزش هم بستگی دارد. بنابراین نمی توان تنها از روی ژنها، علت اندازه قد یک نفر را توضیح داد .

مهار بیماری های ژنتیک: گرچه نمی توان بیماری های ژنتیک را در حال حاضر درمان کرد(مگر در موارد معدود) اما گاهی میتوان با تغییر عوامل محیطی، بروز اثر ژنها را مهار کرد. مثال این موضوع، بیماری فنیل کتونوری (PKU) است. در این بیماری آنزیمی که آمینواسید فنیل آلانین را می تواند تجزیه کند وجود ندارد .تجمع فنیل آلانین در بدن به ایجاد ترکیبات خطرناک منجر می شود. در این بیماری، مغز آسیب می بیند .خوشبختانه می توان از بروز این بیماری جلوگیری کرد. اما چگونه؟ علت این بیماری، تغذیه از پروتئین های حاوی فنیل آلانین است. پس با تغذیه نکردن از خوراکی هایی که فنیل آلانین دارند، می توان مانع بروز اثرات این بیماری شد .فنیل کتونوری یک بیماری نهفته است. وقتی نوزاد متولد می شود، علائم آشکاری ندارد. در عین حال، تغذیه نوزاد مبتلا به فنیل کتونوری با شیر مادر (که حاوی فنیل آلانین است) به آسیب یاخته های مغزی او می انجامد. به همین علت، نوزادان را در بدو تولد از نظر ابتلای احتمالی به این بیماری، با انجام آزمایش خون بررسی می کنند. در صورت ابتلا، نوزاد با شیرخشک هایی که فاقد فنیل آلانین است تغذیه می شود و در رژیم غذایی او برای آینده، از رژیم های بدون (یا کم) فنیل آلانین استفاده می شود

وراثت صفات وابسته به جنس در جانوران ابتدا روش تعیین جنسیت جانور را می نویسیم.

انسان ⟵ مرد xy ، زن xx

در مگس سرکه ⟵ نر xy ، ماده xx

در ملخ ⟵ نر xo ، ماده xx

در پرندگان، پروانه (پروانه های شب پرواز)، و بیدها ⟵ نر: xx ، ماده: xy

رابطه ی بین آلل های صفت ۳ حالت دارد.

الف- بارز و نهفته

آلل فنوتیپ افراد بارز : x^{A}

آلل فنوتیپ نهفته : x^{B}

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که یک عدد کروموزم X دارد ⟵ $\begin{cases} x^{A}y \text{ یا } x^{A}O \\ x^{a}y \text{ یا } x^{a}O \end{cases}$

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که دو عدد کروموزم X دارد ⟵ $\begin{cases} x^{A}x^{A} \text{ غالب} \\ x^{A}x^{a} \\ x^{a}x^{a} \text{ مغلوب} \end{cases}$

انواع ژنوتیپ ها در کل جمعیت ۵= ۳+۲

انواع فنوتیپ ها در کل جمعیت ۲ نوع ⟷ غالب / مغلوب

برای مثال: رنگ چشم در مگس سرکه یک صفت وابسته به جنس است و رنگ چشم قرمز نر و رنگ چشم سفید بارز است.

از آمیزش ماده ی چشم قرمز خالص با نر چشم سفید نسبت ژنوتیپ ها و فنوتیپ ها ی نسل دوم را بنویسید.

$x^{A}x^{A}$ ماده چشم قرمز $\frac{۱}{۲}x^{A}x^{a}$

$x^{A}y\times$ نر چشم قرمز $\frac{۱}{۲}x^{A}y$

$\times x^{A}y$

$x^{A}x^{a}$ نر چشم قرمز $\frac{۱}{۴}x^{A}x^{a}$ | $\frac{۱}{۴}x^{A}y$ ماده چشم قرمز $\frac{۱}{۲}$

$x^{A}x^{a}$ | $\frac{۱}{۴}x^{A}y$ نر چشم سفید $\frac{۱}{۴}$

$\frac{۱}{۴}x^{A}x^{A}$

ب- رابطه ی بارزیت ناقص

آلل فنوتیپ افراد خالص اول: x^{A}

آلل فنوتیپ افراد خالص دوم: x^{B}

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که یک عدد کروموزم x دارد ⟶
- فنوتیپ آلل A : $x^{A}y$
- فنوتیپ آلل B : $x^{B}y$

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که دو عدد کروموزم x دارد ⟶
- فنوتیپ آلل A : $x^{A}x^{A}$
- فنوتیپ حد واسط : $x^{A}x^{B}$
- فنوتیپ آلل B : $x^{B}x^{B}$

نکته: برای صفات وابسته به جنس که رابطه ی آلل ها حالت بارزیت ناقص دارند: فنوتیپ حد واسط را فقط در جانوری که XX است می توان مشاهده کرد. پرنده ی نر و ملخ ماده

برای مثال: صفت طول بال در ملخ یک صفت وابسته به جنس است و بال بلند و کوتاه با هم رابطه ی بارز ناقص دارند.

از آمیزش ملخ بال کوتاه با ملخ بال متوسط نسبت های رخ نمود فرزندان را به دست آورید.

$$x^K o \quad \times \quad x^K x^B$$

$\frac{۱}{۴}\ x^B o$	$\frac{۱}{۴}\ x^K o$	$\frac{۱}{۴}\ x^K x^B$	$\frac{۱}{۴}\ x^K x^K$
نر بال بلند	نر بال کوتاه	ماده ی بال متوسط	ماده ی بال کوتاه

الف- رابطه ی هم توان

آلل فنوتیپ افراد خالص اول: x^{A}

آلل فنوتیپ افراد خالص دوم: x^{B}

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که یک عدد کروموزم x دارد ⟵

- فنوتیپ آلل A : $x^{\mathrm{A}}y$
- فنوتیپ آلل B : $x^{B}y$

انواع ژنوتیپ ها در جانوری که دو عدد کروموزم x دارد ⟵

- فنوتیپ آلل A : $x^{\mathrm{A}}x^{\mathrm{A}}$
- فنوتیپ آلل A و آلل B : $x^{\mathrm{A}}x^{\mathrm{B}}$
- فنوتیپ آلل B : $x^{\mathrm{B}}x^{\mathrm{B}}$

در کل جمعیت
- انواع ژنوتیپ ها ۵=۳+۲
- انواع فنوتیپ ها:۳ نوع