

## تغییر در جمعیت‌ها



بعد از کشف آنتی‌بیوتیک در نیمه قرن گذشته، آدمی به یکی از کارآمدترین ابزارهای دفاعی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا مجهز شد و توانست در نبرد با آن‌ها پیروز شود. با این وجود، مدتی است که از گوشه و کنار دنیا خبر می‌رسد باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها مقاوم شده‌اند. گرچه دانشمندان با طراحی داروهای جدید، برتری انسان را در این نبرد همچنان حفظ کرده‌اند اما در عین حال، روند مقاوم شدن باکتری‌ها آدمی را سخت نگران کرده است. مقاوم شدن باکتری‌ها نسبت به داروها، یکی از مثال‌هایی است که نشان می‌دهد «موجودات زنده می‌توانند در گذر زمان تغییر کنند». این تغییر چگونه رخ می‌دهد؟

## تغییر در گذر زمان



به انسان‌های اطراف خود نگاه کنید. همه انسان‌ها ویژگی‌های مشترکی دارند که باعث می‌شود آنان را در گروهی به نام «انسان‌ها» قرار دهیم. در عین حال، در میان انسان‌ها «تفاوت‌های فردی» نیز وجود دارد که باعث شناخت آن‌ها از یکدیگر می‌شود. تفاوت‌های فردی منحصر به انسان نیست. در میان افراد گونه‌های دیگر هم تفاوت‌های فردی مشاهده می‌شود.

تفاوت‌های فردی چگونه می‌تواند در پایداری گونه مؤثر باشد؟ این سوال را با ذکر مثالی پاسخ می‌دهیم. فرض کنید در گونه‌ای از جانوران، افراد تحمل متفاوتی نسبت به سرما دارند؛ یعنی بعضی‌ها می‌توانند سرما را تحمل کنند. اگر سرمای شدیدی رخ دهد، آنان که سرما را تحمل می‌کنند شانس بیشتری برای زنده ماندن دارند. بنابراین، این افراد، بیش‌تر از دیگران تولید مثل می‌کنند و در نتیجه صفت تحمل سرما، بیش از گذشته، به نسل بعد منتقل می‌شود. اگر سرما همچنان ادامه یابد، باز هم آن‌ها که سرما را تحمل می‌کنند شانس بیشتری برای تولید مثل و انتقال صفت به نسل‌های بعد را خواهند داشت. بنابراین بعد از مدتی با

صفات شایسته‌تر در محیط ← بقا بیشتر ← زاد و ولد بیشتر ← فرزندان نسبت به افراد دارای این صفات بیشتر ← انتقال صفت مطلوب به نسل‌های بعد (صفات مطلوب و سازگار)

• باکتریوساید: کشتن مستقیم باکتری

• باکتریواستاتیک: توقف رشد و تکثیر باکتری

• اثر آنتی بیوتیک بر باکتری ها ↓

۱. توقف رشد دیواره سلولی

۲. توقف تولید و سنتز پروتئین

۳. توقف رشد عتشی سلولی

۴. توقف سنتز DNA و RNA

۵. توقف تولید اسید فولیک (اسید فولیک یک ساختمانی اصلی برای متابولیسم سلول باکتری به شمار می آید)

• باکتری ها به چند روش متنوع بین اثر می شوند:

۱. جلوگیری از رسیدن آنتی بیوتیک به هدف (تغییراتی در دیواره و عتشی باکتری برای عدم ورود آنتی بیوتیک)

۲. تغییر هدف آنتی بیوتیک (تغییر در اهداف آنتی بیوتیک در سلول باکتری)

۳. از بین بردن آنتی بیوتیک (برخی از باکتری ها با آنزیم هایی دارند به نام بتا لاکتاماز که می توانند آن را

کاملاً از بین می برد)

○ ایجاد مقاومت در باکتری لزوماً یک عامل بیرونی ندارد و باکتری به صورت ذاتی این دفاع

را از خود بروز می دهد. اما در مواردی که حالا دانشمندان را نگران کرده، یک عامل بیرونی

تأثیر گذار است.

• باکتری ها با گرفتن یک کپ از ژن که کد کننده آنزیم های مخرب برای آنتی بیوتیک، نقشه شماتیک ساخت اسلحه شان

را پیدا می کنند. این ژن ممکن است حتی از باکتری دیگری با گونه ای کاملاً متفاوت وارد

باکتری اول شود. چند طریق برای انجام این عمل وجود دارد:

۱. حل فراپذیر، مشابه با عمل جنس باکتریایی، میکروبی به هم وصل شده و DNA خود را وارد هم می کنند

۲. انتقال پلازمید به باکتری دیگر

۳. انتقال ترانسپوزون (تکه های کوچک DNA از یک باکتری به DNA باکتری دیگر منتقل می شوند)

۴. با جذب DNA از یک باکتری مرده و تخریب شده

• اگر یک باکتری، حل این انتقال را در یافت کند که مقاومت را به او بیاورد، آنتی بیوتیک در برابر آن بی اثر

اگر باکتری فرصت رشد پیدا کند و تکثیر یابد، گونه ای جدیدی که هیچ ضعفی در برابر آنتی بیوتیک ندارد

جمعیتی روبه رو خواهیم شد که در آن، تعداد افرادی که سرما را تحمل می کنند مقایسه با جمعیت اول،

بیش تر است و این، یعنی تغییر در جمعیت. **صفات مطلوب سازگارتر** و **فرزوانی** یا **باز** به تغییر جمعیت در پاسخ به محیط رخ می دهد. **انتخاب طبیعی حفظ می شوند**

مثال ساده ای که در بالا عنوان شد، نشان می دهد که برای تغییر، شرایطی لازم است. یکی از این شرایط، **سازگارتر بودن برض افراد**

وجود تفاوت های فردی است. وقتی که تفاوت فردی هست، این سوال پیش می آید که کدام تفاوت ها بهترند.

در مثال ما، آن ها که سرما را تحمل می کردند، در مقایسه با بقیه، شانس بهتری برای زنده ماندن داشتند. با **مخلوب یا نامطلوب بودن یک صفت به محیط بستگی دارد. پس همیشه نیست و تحت تأثیر تغییر شرایط محیطی، تغییر می کند.** کمی دقت متوجه می شویم که این «بهتر» بودن یک صفت همیشگی نیست بلکه شرایط محیط تعیین

کننده صفات بهتر است. اگر هوا به جای سرد شدن گرم می شد، آن گاه افراد دیگری شانس زنده ماندن

داشتند. بنابراین زیست شناسان از واژه «صفت بهتر» استفاده نمی کنند بلکه به جای آن می گویند «صفت

**صفت سازگارتر با محیط»**. به روشنی دیده می شود که این، «محیط» است که تعیین می کند کدام صفات به نسل **صفت سازگارتر با محیط موجود**

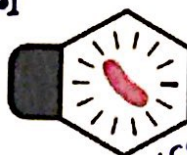
بعد منتقل شوند. این فرایند را که در آن افراد سازگارتر با محیط انتخاب می شوند، **انتخاب طبیعی**

می نامند. **یعنی طبیعت افراد سازگار را بر میگزیند و حفظ می کند.**

انتخاب طبیعی می تواند علت مقاوم شدن باکتری های را به آنتی بیوتیک ها نیز توضیح دهد (شکل ۵)

۱. تعدادی از میکروب ها، مقاوم به دارو هستند

### • چگونه مقاومت آنتی بیوتیکی اتفاق می افتد؟



### How Antibiotic Resistance Happens

4.

تعدادی از باکتری ها، و نیز اگر مقاومت دارویی را از باکتری دیگر می گیرند و موجب مشکلات بیشتری می شوند

3. باکتری های مقاوم به دارو، اجازه رشد و تکثیر می یابند.

3. The drug-resistant bacteria are now allowed to grow and take over.

4. Some bacteria give their drug-resistance to other bacteria, causing more problems.

1. Lots of germs. A few are drug resistant.

2. Antibiotics kill bacteria causing the illness, as well as good bacteria protecting the body from infection.



• همیشه لغت مقاوم

• شدن باکتری ها به آنتی بیوتیک به نوعی صفتی پیوسته است و تحت اثر انتخاب طبیعی جهت دار قرار گرفته. یعنی در ابتدای تولید آنتی بیوتیک، اکثر باکتری ها غیر مقاوم بودند و تعداد کمی از باکتری ها مقاوم با گذشت زمان مقاوم ها، چون سازگار بودند فرایند را می یافتند. شکل ۵. چگونگی مقاوم شدن باکتری ها به آنتی بیوتیک

• **مقاومت آنتی بیوتیکی:** توانایی باکتری برای مقاومت در مقابل اثرات داروهای آنتی بیوتیک است.

• **مقاومت ضد میکروبی (Antimicrobial resistance):** مقاومت یک میکروارگانیسم (باکتری، قارچ، ویروس، انگل) در برابر داروهای

• تکامل گونه های مقاوم یک پدیده طبیعی است و زمانی رخ می دهد که میکروارگانیسم به اشتباه تکثیر شود و یا صفت مقاوم بین چند میکروارگانیسم رد و بدل شود.

است.

• شکل گیری مقاومت باکتریایی به خوبی توسط نظریه "بقای اصلح" چارلز داروین قابل توضیح  
• باکتری‌هایی که مقاوم‌تر شده اند، دوا را می‌خورند، رشد می‌کنند و نسل بعدی باکتری‌ها را شکل می‌دهند  
• باکتری‌هایی که ضعیف مانده اند، از بین می‌روند. حالا ما می‌مانیم و باکتری‌هایی که کاملاً مسلح شده اند.

### • چگونه باکتری مقاوم به آنتی بیوتیک ایجاد شد؟

۱. ابتدا مقدار زیادی باکتری حساس و تعداد خیلی کم از باکتریهای مقاوم وجود داشت.
۲. آنتی بیوتیک باکتری‌های پاتوژن مسبب بیماری و همچنین باکتری‌های مفید که باعث محافظت در برابر عفونت می‌شوند را می‌کشد.
۳. با حذف این باکتری‌ها، باکتری‌های مقاوم به آنتی بیوتیک ظاهر می‌شوند و غالب می‌گردند.
۴. بعضی از این باکتری‌ها ویژگی مقاومت به آنتی بیوتیک را منتقل می‌کنند.

وقتی از تفاوت‌های فردی سخن می‌گوییم در واقع در حال بررسی جمعیتی از افراد هستیم نه یک فرد. **با انتخاب افراد سازگار در نهایت منجر به تغییر فراوانی‌ها می‌شود. فراوانی‌های مطلوب را در جمعیت افزایش می‌دهد.**

انتخاب طبیعی روی جمعیت اثر می‌کند و آن چه که تغییر می‌کند «جمعیت» است نه «فرد». جمعیت، به **افراد متعلق به یک گونه در یک زمان در یک مکان** می‌کنند. افرادی گفته می‌شود که به یک گونه تعلق دارند و در یک محل زندگی می‌کنند.

## خزانه ژنی

قبل از کشف اصول ژنتیک، زیست‌شناسان جمعیت را بر اساس صفات ظاهری توصیف می‌کردند. مثل رنگ بدن در یک جانور یا ضخامت پوستک در برگ یک گیاه. با شناخت ژن‌ها، اکنون زیست‌شناسان معیار دیگری

را هم برای توصیف یک جمعیت در اختیار دارند و آن، بر اساس ژن‌های موجود در یک جمعیت است.

زیست‌شناسان فراوانی نسبی ال‌ها را در جمعیت دنبال می‌کنند. اگر فراوانی نسبی ال‌ها در نسل‌های بعدی هم حفظ شود، آن گاه می‌گویند جمعیت در حال تعادل است. اما اگر فراوانی‌های الی تغییر کند، آن گاه

جمعیت از تعادل خارج می‌شود و به سوی تغییر پیش می‌رود. مجموع فراوانی نسبی همه ال‌های موجود

در یک جمعیت را خزانه ژنی آن جمعیت می‌نامند.

**خزانه ژنی ژن : مجموع همه ال‌های هم‌ژنهای مربوط به سلولهای زایشی افراد یک جمعیت**

## عوامل تغییر دهنده فراوانی‌های الی

عوامل زیر باعث تغییر فراوانی‌های الی می‌شوند.

- جهش : تغییر در نوع ال‌ها - انتخاب طبیعی بر اساس محیط تعیین می‌کند که ال تغییر یافته
- رانش الی : تغییر فراوانی الی بر اساس رویدادهای تصادفی - در جمعیت‌های کوچک‌تر
- شارش ژن : مهاجرت منجر به شارش ال‌ها از یک جمعیت به جمعیت دیگر می‌شود. ایجاد تنوع در جمعیت مقصد
- انتخاب طبیعی : سازگارها را حفظ، ناسازگارها را حذف می‌کند. کاهش تنوع
- آمیزش‌های غیر تصادفی : درون آمیزی - کاهش هتروزایگوس - کاهش تنوع
- آمیزش بین‌گروهی - کاهش هتروزایگوس - کاهش تنوع
- ناهمبستگی - افزایش هتروزایگوس - افزایش تنوع

جهش p 0012

یک باکتری را در نظر بگیرید که هر ۲۰ دقیقه تقسیم می‌شود. اگر هیچ جهشی رخ ندهد، همه زاده‌ها مشابه باکتری اولی خواهند بود. بدون جهش، هیچ نوع گوناگونی در میان افراد یک جمعیت دیده نخواهد شد. اما جهش، میان افراد، گوناگونی ایجاد می‌کند. بسیاری از جهش‌ها تأثیری فوری بر فنوتیپ ندارند و بنابراین ممکن است تشخیص داده نشوند. وقتی در ژنی جهش ایجاد می‌شود، ال جدیدی از آن ژن حاصل

می‌شود که ممکن است در شرایطی سازگارتر از ال یا ال‌های قبلی عمل کند. **آنتی‌باکتریال محیط آن ال حاصل مطلوب و سازگار است یا خیر**

محیط است یا نامطلوب. با زمان و تفرز با جهش‌های جدید

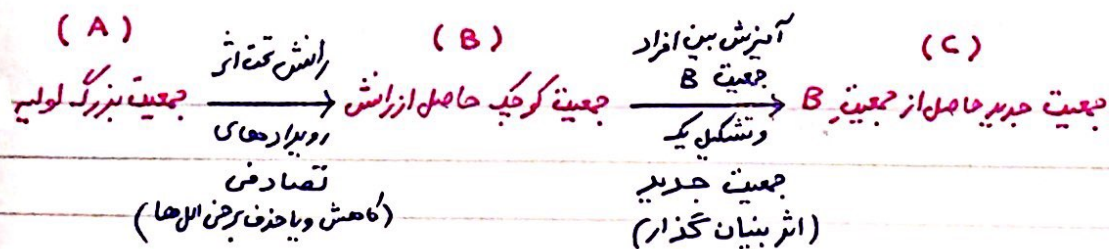
## رانش الی (genetic drift) ← «جمعیت چیا های آفریقایی نمبر به کاهش تنوع در جمعیت و

ایجاد شباهت فراوان شد.  
تا جایی که امروزه  
بین آنها می توان پیوند  
پوست برقرار کرد.

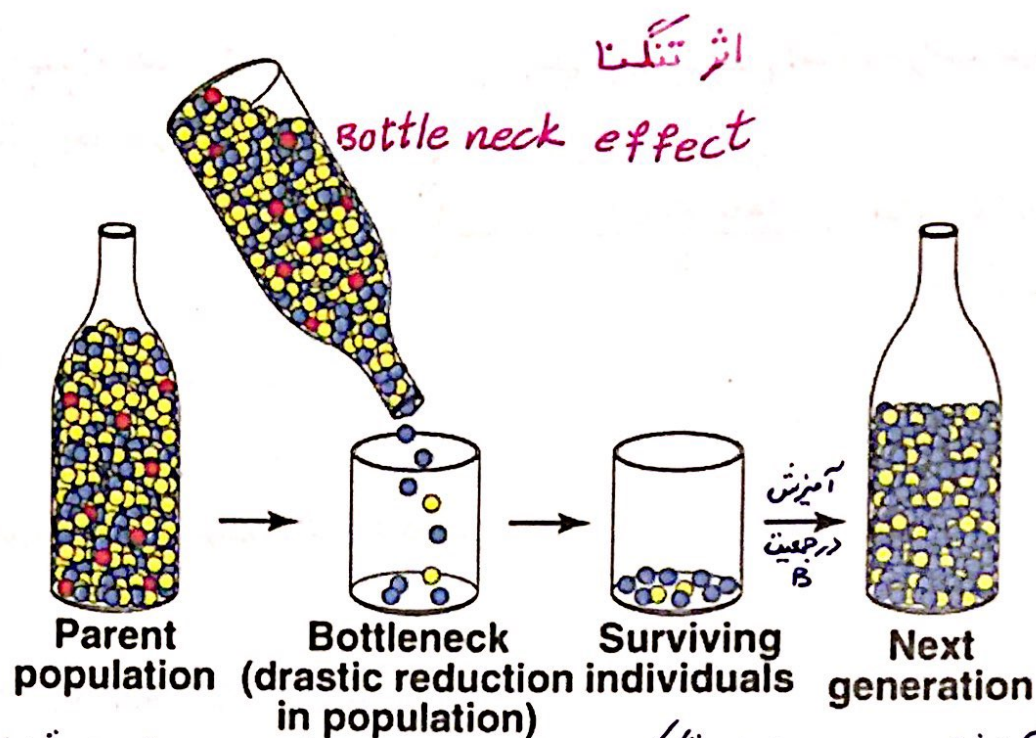
در هر جمعیتی، بعضی از افراد ممکن است فرزندان بیش تری نسبت به بقیه داشته باشند یا این که اصلاً فرزندی نداشته باشند. بنابراین ژن هایی که به نسل بعد می رسند لزوماً ژن های سازگارتر نیستند بلکه ژن های خوش شانس ترند! به مثال دیگری توجه کنید. فرض کنید گله از ۱۰۰ گوسفند در حال عبور از ارتفاعات اند. حین عبور، دو بره به پایین سقوط می کنند. این دو بره، پیش از رسیدن به سن تولید مثل مرده اند و شانس انتقال ژن های خود را به نسل بعد نداشته اند. به فرایندی که باعث تغییر فراوانی الی (بر اثر رویدادهای تصادفی) می شود، رانش ژن می گویند. رانش ژن گرچه فرایندهای الی را تغییر می دهد اما برخلاف انتخاب طبیعی به سازش نمی انجامد.

هرچه اندازه یک جمعیت کوچک تر باشد، رانش ژن اثر بیش تری دارد. به همین علت، برای آن که جمعیتی در تعادل باشد، باید اندازه بزرگی داشته باشد. منظور از اندازه جمعیت، تعداد افراد آن است.

گاهی تعداد افرادی که بر اثر چنین رویدادهایی حذف می شوند زیاد است و تعداد بازماندگان کم اند. در حوادثی نظیر سیل، زلزله، آتش سوزی و نظایر آن، تعداد آن هایی که می میرند ممکن است بیش از آن هایی باشند که زنده می مانند. بنابراین فقط بخشی از الی های جمعیت بزرگ اولیه به جمعیت کوچک باقی مانده خواهد رسید و جمعیت آینده از همین الی های برجای مانده تشکیل خواهند شد (شکل ۶).



I  
0006



A: جمعیت اولیه - تنوع فراوانی الیها زیاد  
B: جمعیت کوچک - فقره های تصادفی  
C: از آمیزش افراد B - منطبق با تنوع فراوانی الیها زیاد  
شکل ۶. کاهش شدید در اندازه جمعیت باعث تغییر فراوانی های الی می شود.

شارش ژن یک طرفه - مهاجرت از جمعیت A به جمعیت B - ایجاد تنوع ژن در جمعیت B

شارش ژن - شارش ژن دو طرفه - مهاجرت در هر دو جهت A ← B و B ← A پس از گذشت زمانی طولانی خزانه ژن در جمعیت هموژن  
یعنی تفاوت های ژن بین دو جمعیت A و B کاهش می یابد و نسبتاً یکسان می شوند.

p  
0014

وقتی افرادی از یک جمعیت به جمعیت دیگری مهاجرت می کنند، در واقع تعدادی از الی های جمعیت مبدا

را به جمعیت مقصد وارد می کنند. به این پدیده، "شارش ژن" می گویند. اگر جریان ژن به طور پیوسته

ادامه یابد، سرانجام خزانه ژنی دو جمعیت به هم شبیه می شوند.

انتخاب طبیعی - برگزیدن افراد سازگارتر و کاهش افراد ناسازگار  
افزایش الی مطلوب و کاهش الی نامطلوب

p  
0015

انتخاب طبیعی فراوانی الیها را در خزانه ژنی تغییر می دهد. انتخاب طبیعی همواره افراد سازگارتر با محیط

را برمیگزیند و از فراوانی دیگر افراد می کاهد. به این ترتیب خزانه ژنی نسل آینده دستخوش تغییر می شود.

انتخاب طبیعی در نهایت باعث «سازش» جانداران با محیط می شود.

حفظ گوناگونی در جمعیتها

p  
0016

• عوامل حفظ گوناگون در جمعیت ها :

دلیل به برای نوترکیب است. (ترکیب جدید الماس)

۱. حالات مختلف استقرار تترارها در متاباز I

مغز به تنوع گامت من شود

$$\frac{\text{انواع گامت ها}}{2} = \frac{2^n}{2} = 2^{n-1}$$

در متاباز I

۲. لقاح تصادفی گامت ها

۳. گزینش لور و نوترکیب سیم ایجار تنوع گامت

۴. انتخاب عنوان کننده بهترین افراد ناخالص

انتخاب وابسته به فراوانی

۵. جهش ها

۶. انتخاب گسلنده

۷. خطاهای میوزی

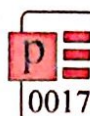
گاه تعداد تترار

گاه تعداد صفات هتروزیگوس

۲ = انواع گامت ها

دانستیم که نتیجه انتخاب طبیعی، سازگاری بیشتر جمعیت با محیط است. انتظار داریم انتخاب طبیعی با انتخاب بعضی نسبت به بعضی دیگر، تفاوت‌های فردی را کاهش دهد. اما سازوکارهایی هست که در عین وجود انتخاب طبیعی تفاوت‌های فردی و در نتیجه گوناگونی را حفظ می‌کند؟ در ادامه، این سازوکارهایی را بررسی می‌کنیم.

### گوناگونی اللی در گامت‌ها



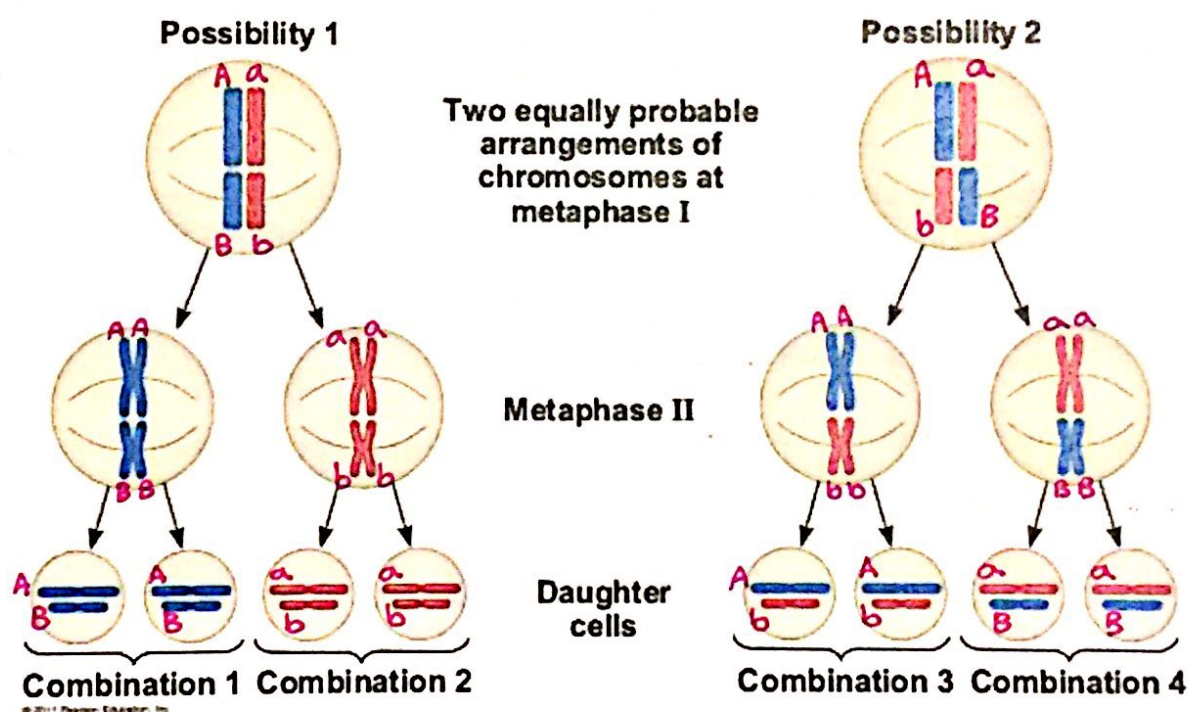
در تولید مثل جنسی، هر والد نیمی از کروموزوم‌های خود را از طریق گامت‌هایی که می‌سازد، به نسل بعد

منتقل می‌کند. این که هر گامت کدام یک از کروموزوم‌ها را دریافت می‌کند به آرایش تتراده‌ها در میوز I بستگی دارد. در مرحله متافاز میوز I، کروموزوم‌ها با آرایش‌های مختلفی ممکن است در سطح میانی سلول

قرار گیرند، که به ایجاد گامت‌های مختلف می‌انجامد. در شکل ۷ نحوه توزیع کروموزوم‌ها طی میوز نشان

داده شده است.

Figure 13.10-3

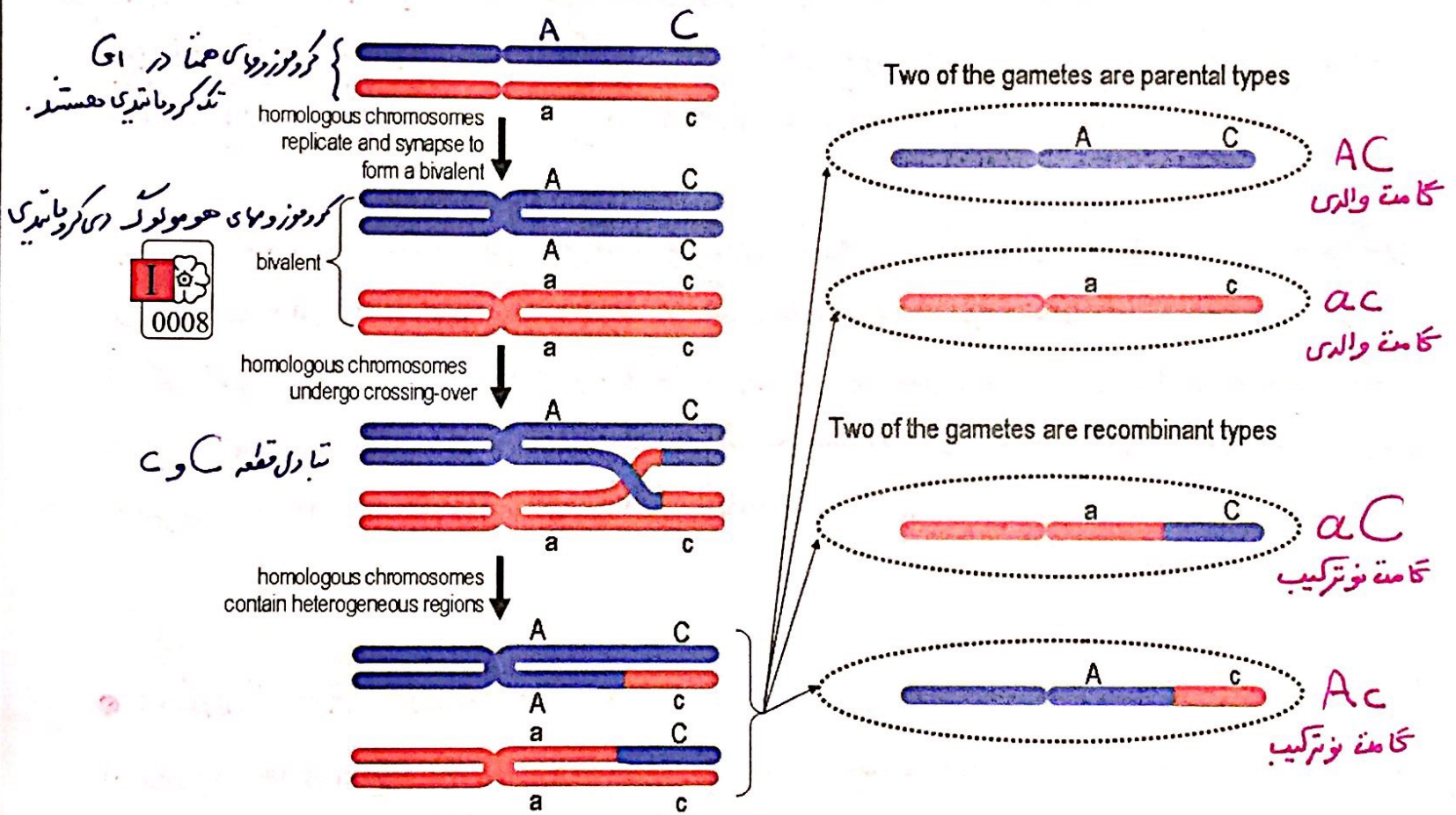


نتیجه‌ی این نوع حالت استقرار تتراد، تولید  
دو نوع گامت AB و ab خواهد بود

نتیجه‌ی این نوع حالت استقرار تتراد، تولید  
دو نوع گامت Ab و aB خواهد بود

• هر حالت استقرار تتراد در متافاز I، منجر به تولید دو نوع گامت شده است. پس انواع حالات استقرار تتراد برابر است با نصف انواع گامت‌ها.

نوترکیبی  
کراسینگ اور: تبادل قطعات کروموزومی بین کروماتیدهای غیرخواهری کروموزوم‌های هم‌تراز در پروفاز I در میوز I، هنگام جفت شدن کروموزوم‌های هم‌تراز و ایجاد تتراد، قطعه‌ای از یک کروموزوم با قطعه متناظر خود در کروموزوم هم‌تراز مبادله می‌شود. این پدیده را کراسینگ اور می‌گویند. اگر قطعات مبادله شده حاوی ال‌های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از ال‌ها در هر کروماتید به وجود می‌آید. بنابراین کروموزوم‌های هم‌تراز قبل و بعد از کراسینگ اور ترکیب الی متفاوتی خواهند داشت و می‌گویند نوترکیبی رخ داده است. از میان گامت‌ها، آن‌هایی که کروموزوم‌های توترکیب را دریافت می‌کنند، گامت نوترکیب نامیده می‌شوند (شکل ۸).  
بقیه گامت‌های والدی نامیده می‌شوند.



AC  
ac

شکل ۸. نوترکیبی بر اثر کراسینگ اور  
• برای یافتن انواع گامت قبل از CO، گامت‌ها را به صورت و محزج نگاه کنیم. اگر مشابه بودند یک نوع گامت و اگر متفاوت بودند دو نوع گامت حاصل خواهند شد.

• انواع گامت‌ها قبل از CO: ۲ نوع  
• بعد از CO: ۴ نوع

• انواع گامت‌های نوترکیب: ۲ = ۴ - ۲

قبل از CO → ۲ نوع گامت: AC و ac

بعد از CO → ۲ = ۴ : AC و ac  
Ac و aC

گامت‌های والدی: AC و ac  
گامت‌های نوترکیب: aC و Ac

n = تعداد صفات هتروزیگوس  
در مثال فوق دو صفت هتروزیگوس  
داشتیم → Aa و Cc

در کم خون داسی شکل: قرارگیری آمینواسید والین به جای گلو تا اسید در موقعیت 6 زنجیره بتا منجر به کاهش حالیت هموگلوبین می شود.

کم فونین داسی شکل:

|                                                                              |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| (بیمار)                                                                      | (سالم) |
| در سطح جاندار: رابطه غالب و مغلوب (وجود یا عدم وجود کم فونین داسی در فنوتیپ) |        |
| در سطح سلولی: رابطه غالب ناقص (با توجه به شکل گلوبول قرمز)                   |        |
| در سطح مولکولی: رابطه هم توانی (به هموگلوبین توجه می شود)                    |        |

انگل مالاریا به دو دلیل می تواند در یک گلوبول قرمز داسی شکل زنده بماند:

اولاً بدن گلوبول های قرمز داسی شده را برای حذف به طحال می فرستد و تا جایی که ممکن است آن ها تخریب می کند. اگر یک انگل در سلول باشد، تخریب خواهد شد.

دوماً به علت اینکه غشای سلولی طیوای قرمز داسی شده به خاطر شکل غیر عادی شان لشرده شده و غشای سلولی متخلخل می شود، سلول داسی شده مواد مغذی مثل پتاسیم را که انگل مالاریا برای زنده ماندن به آن نیاز دارد، به بیرون ترانش می کند، در نتیجه انگل می میرد و چون انگل مالاریا می تواند در سلول های داسی شده زنده بماند، پس افراد دارای  $HbA HbS$  به مالاریا مقاومند.

اختلالات  $Hb$  انسان:

۱. وابستگی های ساختاری زنجیره گلوبین نظیر بیماری داسی شکل (تغییر اسید در موقعیت 6 زنجیره بتا)

۲. اختلالات سنتز زنجیره گلوبین نظیر تالاسمی ها

تالاسمی آلفا کاهش تولید زنجیره های آلفا-گلوبین

تالاسمی بتا کاهش تولید زنجیره های بتا-گلوبین

عدم تولید زنجیره های بتا-گلوبین

- در افراد سالم دارای هموگلوبین نرمال و اندازه ی RBC (گلوبول قرمز) نرمال است.
- " " ناقص (مینور) - هموگلوبین کم است - اندازه ی RBC کوچکتر از حد طبیعی است.
- " " بیمار (ماژور) - مقدار هموگلوبین بسیار کم است - اندازه ی RBC بسیار کوچک است.

وجود هتروزیگوت‌ها  
انتخاب طبیعی بر فنوتیپ اثر می‌کند. صفتی که در فنوتیپ مطلوب و سازگار بروز کند حفظ و صفتی که نامطلوب بروز کند حذف می‌شود.

فقط ال‌هایی که فنوتیپ متفاوت ایجاد می‌کنند، تحت تاثیر انتخاب طبیعی قرار می‌گیرند. در جانداران حفظ در ال غالب و مغلوب (در فرد هتروزیگوس) دیپلوئید هتروزیگوت‌ها در واقع نگهدارنده برای ال‌های مغلوب هستند. اگر هتروزیگوت‌ها نبودند، ال‌های در رابطه با صفات مغلوب، در فرد هتروزیگوس، ال مغلوب در پناه ال غالب پنهان می‌شود، در فنوتیپ بروز نمی‌کند و مغلوب از خزانه ژنی حذف می‌شوند. مثلاً ال تالاسمی در افراد هتروزیگوت می‌تواند باقی بماند حال اگر در امان می‌ماند.

هتروزیگوتی وجود نداشت ممکن بود به علت بیماری‌زایی شدید در هوموزیگوت‌ها پس از مدتی حذف شود.

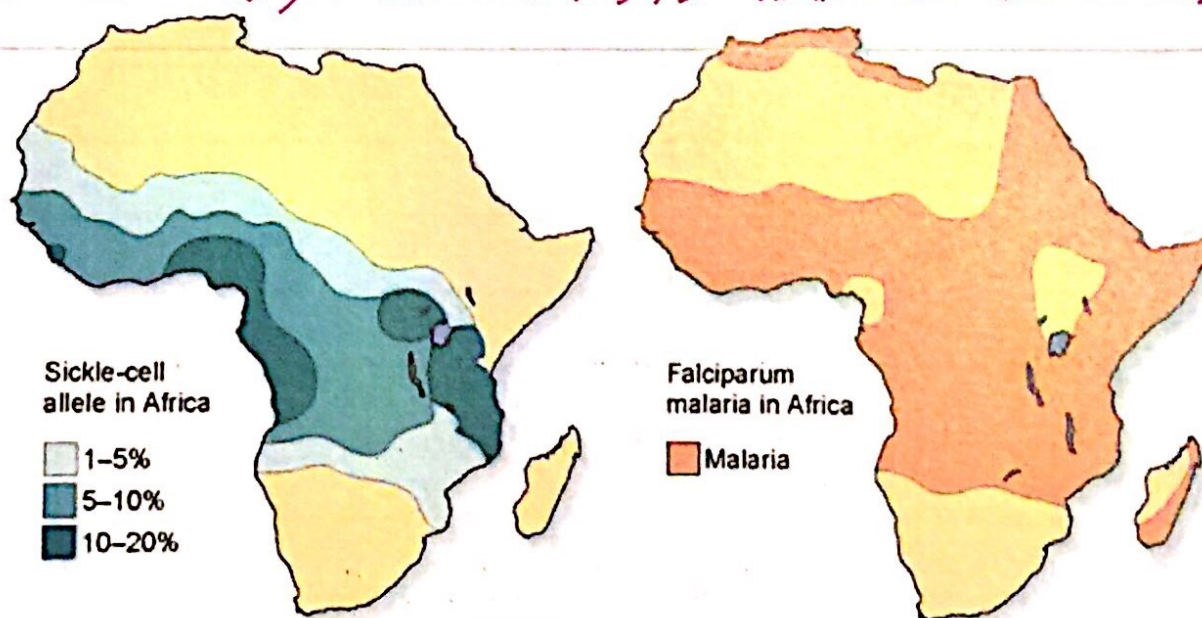
|       |      |             |             |
|-------|------|-------------|-------------|
| سالم  | خالص | $Hb^A Hb^A$ | ← هموزیگوس  |
| سالم  | ناقل | $Hb^A Hb^S$ | ← هتروزیگوس |
| بیمار |      | $Hb^S Hb^S$ | ← هموزیگوس  |

$Hb^A$  ال سالم  
 $Hb^S$  ال آلودگی داسی شکل

اهمیت هتروزیگوت‌ها را در حفظ گوناگونی می‌توان به وسیله بیماری کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل نیز نشان داد. افراد مبتلا به بیماری گلبول‌های قرمز داسی شکل ژنوتیپ  $HbS HbS$  دارند و در سنین پایین معمولاً می‌میرند. ژنوتیپ هتروزیگوت‌ها  $HbA HbS$  است و وضع بهتری دارند. گلبول‌های قرمز آن‌ها فقط هنگامی داسی شکل می‌شوند که مقدار اکسیژن محیط کم باشد.

ژنتیک‌دانان با مطالعه توزیع این بیماری در جهان دریافته‌اند که فراوانی ال  $HbS$  در مناطقی که مالاریا شایع است بسیار بیش‌تر از سایر مناطق است (شکل ۹). بیماری مالاریا به وسیله نوعی انگل تک سلولی که تکثیر می‌شود در گلبول‌های قرمز، ایجاد می‌شود. بنابراین، افرادی که گلبول سالم دارند، که  $HbA HbA$  هستند، در خطر ابتلا به مالاریا قرار دارند.

ال نامطلوب  $HbS$  در مناطق مالاریا خیز، مطلوب و سازگار کننده عمل می‌کند. (افراد  $Hb^A Hb^S$  مالاریا نمی‌گیرند)



شکل ۹. توزیع بیماری کم‌خونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی در جهان

این انگل نمی‌تواند در افراد HbAHbS ایجاد بیماری کند چون وقتی این گلبول‌ها را آلوده می‌کند، شکل آن‌ها داسی‌شکل می‌شود و انگل می‌میرد. پس افراد HbAHbS در برابر مالاریا مقاوم‌اند. بنابراین، وجود ال HbS در این منطقه باعث بقای جمعیت می‌شود. این مثال، مثال خوبی است که نشان می‌دهد شرایط محیط، تعیین‌کننده صفتی است که حفظ می‌شود.