پاسخ‌هایی تحلیلی به پرسش‌های المپیاد زیست‌شناسی

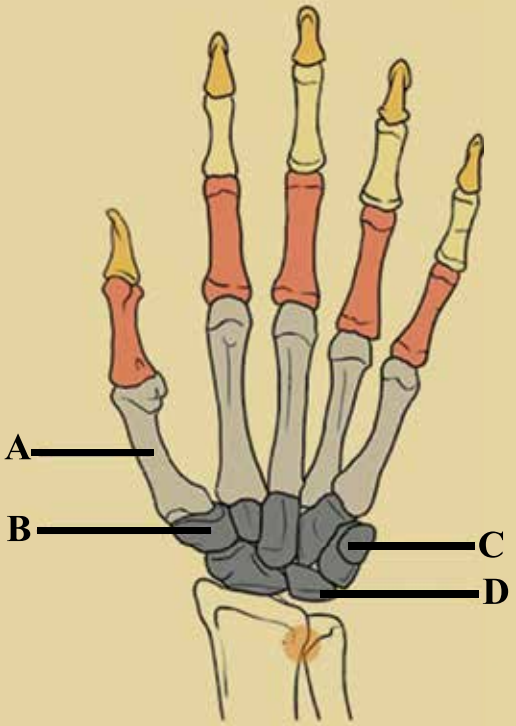
امیرحسین زارع مهذبیه
دارندهٔ مدال طلای المپیاد زیست‌شناسی کشوری ۱۳۹۶
دانشجوی دانشگاه علوم پزشکی تهران

اشاره
بیش از بیست سال است که همه‌ساله چندین ده‌هزار نفر از دانش‌آموزان ما در المپیاد زیست‌شناسی کشور شرکت می‌کنند و معلمان زیست‌شناسی ما خواه ناخواه با پرسش‌های این دانش‌آموزان رو به رو هستند. نظر به اینکه پرسش‌های المپیادی بیشتر از نوع تحلیلی، درهم‌تنیده و نسبتاً عمیق هستند، پاسخ دادن به این پرسش‌ها خود نیاز به کاربرد روش‌های تحلیلی دارد. آنچه در پی می‌آید، نمونه‌هایی از پرسش‌های نخستین مرحلهٔ المپیاد زیست‌شناسی کشور در سال گذشته، همراه با پاسخ‌های تحلیلی آن‌هاست.

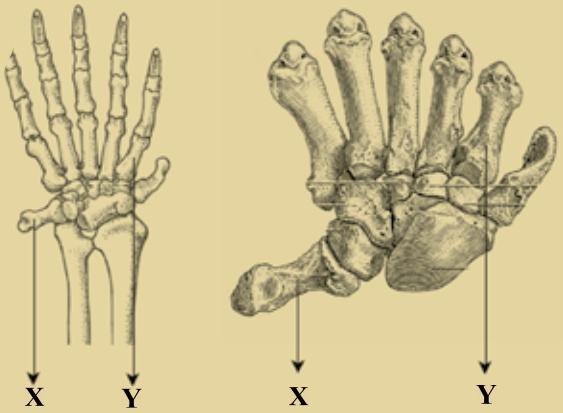
پرسش ۱

پانداها با وجود طبقه‌بندی در راستهٔ گوشت‌خوارسانان، پانزده ساعت را در روز به جویدن ساقه‌های بامبو می‌گذرانند. زیستگاه طبیعی این جانوران محدود به جنگل‌های مرتفع غرب چین است. مانند دیگر موجودات زنده، ساختار بدن در طی تکامل با عملکردش تطابق یافته است. پانداها شاخه‌های بامبو را می‌شکنند، آن را از بین شست و انگشتان دیگر خود عبور می‌دهند تا برگ‌ها را جدا و ساقه را مصرف کنند. این سطح از مهارت در دست‌ورزی، در جانوری که اجدادش شکارچی بوده‌اند، شگفت‌انگیز به نظر می‌رسد. همچنین، شست به عنوان یکی از انگشتان که در مقابل سطح کف دست قرار گرفته، از ویژگی‌های برجسته و عوامل موفقیت نخستی‌ها به شمار می‌رود و در دیگر پستانداران دیده نمی‌شود.

«استیون جی. گولد»، زیست‌شناس تکاملی، خاستگاه شست پاندا را شاهدی در تأیید نظریهٔ تعادل نقطه‌ای قلمداد کرد که براساس آن تغییرات تکاملی برخلاف دیدگاه رایج داروینیسم، نه تدریجی، بلکه



به ناگاه رخ می‌دهند. در تصاویر زیر ساختار دست و کف دست پاندا را مشاهده می‌کنید. ساختارهای X و Y در هر دو تصویر مشخص شده‌اند.



با توجه به آناتومی استخوان‌های کف دست انسان، ساختارهای X و Y در دست پاندا معادل کدام‌یک از ساختارهای مشخص شده هستند؟

گزینه	Y	X
(۱	C	A
(۲	C	B
(۳	D	A
(۴	A	C
(۱	B	C

تحلیل پرسش ۱

پاندا، این جانور دوست‌داشتنی، هرچند در نگاه اول با تصور ما از خرس‌ها متفاوت باشد، در راستهٔ گوشت‌خوارسانان و خانوادهٔ خرس‌ها طبقه‌بندی می‌شود و به عنوان قدیم‌ترین عضو زندهٔ این خانواده قبل ازخویشاوندان نزدیک (خرس قهوه‌ای، خرس قطبی و دیگران) از نیای مشترک مشتق شده است.

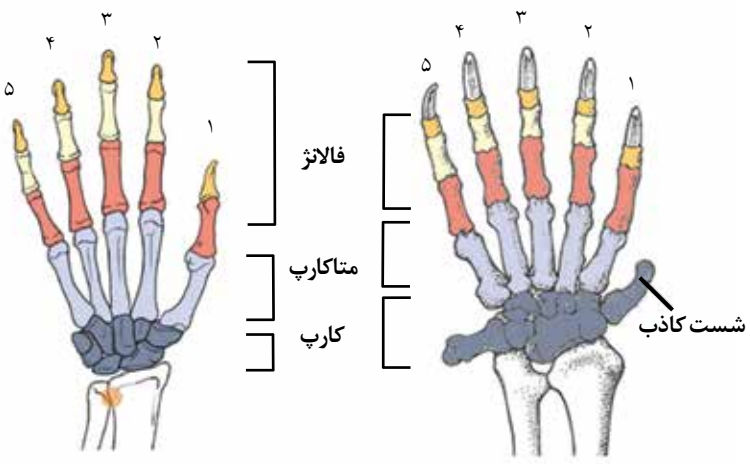
استیون جی. گولد، دیرین شناس و زیست‌شناس تکاملی آمریکایی، کتاب مشهور خود «شست پاندا: تأملی دیگر در تاریخ طبیعی» را با تجربهٔ نخستین برخوردش با پاندا در باغ وحش واشنگتن، چنین آغاز کرده است: «پانداها برخلاف خویشاوندان گوشت‌خوار، تقریباً تمام زمان بیداری خود را به خوردن گیاه بامبو می‌گذرانند. آن‌ها شاخه‌های بامبو را می‌شکنند و با کشیدن آن از بین زائدهایی که شبیه به شست است و دیگر انگشتان یک دست، برگ‌ها را جدا می‌کنند و به جویدن ساقه مشغول می‌شوند. این نکته شگفت‌انگیز به نظر می‌آید؛ چرا که می‌دانستم تخصصی شدن یکی از پنج انگشت اندام حرکتی پیشین و تبدیل آن به انگشت شست از مهم‌ترین ویژگی‌ها و عوامل موفقیت نخستیان به شمار می‌آید و در پستانداران دیگر وجود ندارد. پس انگشتان پاندا را شمردم و عجیب‌تر آن بود که به جز شست مورد سؤال، پنج انگشت دیگر وجود داشت. آیا شست به عنوان انگشت ششم به صورت مستقل در پاندا ایجاد شده بود؟»

«گولد» در ادامه به کتابی از «د. دوایت دیویس» مراجعه کرده که به گفتهٔ خودش شاید عالی‌ترین اثر آناتومی مقایسه‌ای تکاملی در عصر مدرن باشد. همهٔ صفحات این کتاب از بررسی‌های دقیق

ریخت‌شناختی و طراحی‌های جزئی از آناتومی پاندا پر شده است و در میان این اطلاعات پاسخ ما را نیز در بر دارد.

استخوان‌های دست در سه ردیف طبقه بندی می‌شوند. استخوان‌های کارپ، مچ دست را تشکیل می‌دهند. استخوان‌های متاکارپ کف دست را می‌سازند و فالانژها استخوان‌های بند انگشتان هستند. انگشت شست برخلاف چهار انگشت دیگر که سه بند انگشت دارد، از دو بند انگشت تشکیل شده است.

«شست» پاندا از لحاظ زیستی اساساً انگشت نیست، بلکه از استخوان کوچکی به نام سزموئید (کنجدی) رادیال به وجود آمده است که به‌طور معمول در ناحیهٔ مچ وجود دارد. این استخوان در پاندا به مقدار زیادی بزرگ شده است؛ تا جایی که اندازهٔ آن کم و بیش با انگشتان دیگر برابر شده و به عنوان شست کاذب عمل می‌کند. استخوان پیزیفورم، یکی دیگر از استخوان‌های مچ که در سمت مقابل انگشت شست قرار دارد، نیز در پاندا رشد کرده است. در این پرسش، ساختار X و Y در پاندا به ترتیب استخوان متاکارپ انگشت اول یا شست حقیقی و استخوان پیزیفورم است که معادل است با ساختارهای A و C در دست انسان.

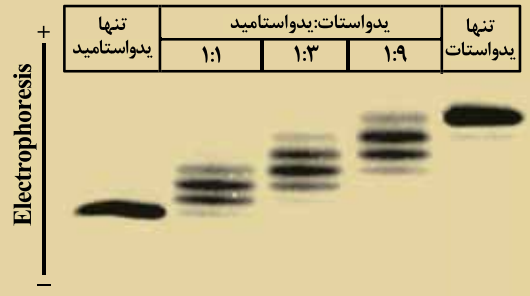


داستان شست پاندا نکتهٔ آموزنده‌ای در مورد تکامل در بر دارد. ایجاد ساختارهای جدید تنها راه پیش روی جانداران برای رسیدن به عملکردهای نوین نیست؛ بلکه ایجاد تغییر در ساختارهایی که از قبل و با کارکرد دیگری وجود داشته‌اند می‌تواند تغییرات تکاملی چه بسا شگرفی در بر داشته باشد.

دیگر اینکه، می‌توان دو علت برای وجود تشابه بین گونه‌های مختلف جانداران متصور شد. اگر ساختاری در نیای مشترک دو گونه وجود داشته باشد و در دودمان‌های منتهی به این دو گونه دستخوش تغییراتی شود، به‌این صفات مشابه هومولوگ (هم‌ساخت) گفته می‌شود. در مقابل، اگر دو ساختار با منشأ متفاوت، در پاسخ به فشارهای انتخابی یکسان، ساختار و عملکرد مشابهی به خود بگیرند، این صفاتِ مشابه ناشی از تکامل همگرا، آنالوگ خوانده می‌شوند.

پرسش ۲

یکی از راه‌های شناسایی تعداد ریشهٔ آمینواسید سیستئین (Cys) در پلی پپتیدها، بررسی واکنش آن‌ها با موادی است که می‌توانند موجب تغییر گروه‌های عاملی تیولی (SH) شوند. طی واکنش یدواستات با گروه تیول، یک گروه اسید با بار منفی حاصل می‌شود، در حالی که استفاده از یدواستامید گروه خنثی ایجاد می‌کند. بررسی تعداد ریشه‌های آمینواسید Cys از طریق ایجاد رقابت بین یدواستات و یدواستامید امکان‌پذیر است. به این منظور، پروتئین را با اورهٔ ۸ مولار دناتوره و سپس با اضافه کردن نسبت‌های مختلفی از این دو ماده الکتروفورز می‌کنیم (شکل). با توجه به شکل، تعداد گروه تیول یک پروتئین تک زیر واحدی کدام یک از گزینه‌های زیر است؟



۱) ۳ گروه تیول
۲) ۵ گروه تیول
۳) ۶ گروه تیول
۴) ۷ گروه تیول
۵) ۸ گروه تیول

تحلیل پرسش ۲

الکتروفورز از شناخته‌شده‌ترین روش‌های آزمایشگاهی برای بررسی درشت مولکول (ماکرومولکول)های زیستی است. انواع مختلف الکتروفورز و تحلیل نتایج آن به دفعات در آزمون المپیادهای زیست‌شناسی مورد پرسش واقع شده است.

در این فرایند که برای جداسازی اسیدهای نوکلئیک یا پروتئین‌ها استفاده می‌شود، نمونهٔ مورد بررسی در یک میدان الکتریکی قرار می‌گیرد. اثر این میدان الکتریکی روی قطعات موجود در نمونه، به علت ویژگی‌های مختلف آنان یکسان نیست. بدین ترتیب هر کدام از قطعات به میزان متفاوتی در این میدان حرکت می‌کند و جداسازی اجزای نمونه صورت می‌گیرد.

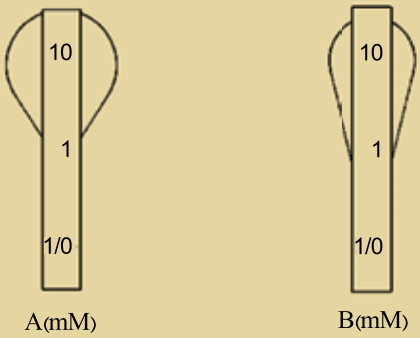
با استفاده از انواع مختلف الکتروفورز می‌توان نمونه را نسبت به ویژگی‌هایی هم‌چون اندازه، بار الکتریکی و شکل فضایی مولکول‌ها تفکیک کرد.

در این پرسش، آزمایشی به هدف شمردن ریشه‌های آمینواسید سیستئین یک پروتئین طراحی شده است که هر سیستئین حاوی یک گروه شیمیایی تیول (SH) است.

بدین منظور، پروتئین با نسبت‌های متفاوتی از یدواستات و

یدواستامید تیمار شده است. با استفاده از یدواستامید به تنهایی، همهٔ گروه‌های تیول بار الکتریکی خود را از دست خواهند داد. با افزایش مقدار یدواستات و ایجاد بار منفی در هر گروه تیول، پروتئین اندکی به قطب مثبت میدان الکتریکی نزدیک‌تر می‌شود و به عنوان لکه‌ای متمایز روی ژل الکتروفورز مشاهده می‌شود.

در این شکل هفت لکهٔ متمایز روی ژل الکتروفورز وجود دارد. در پایین‌ترین لکه، همهٔ گروه‌های تیول بدون بار الکتریکی هستند. هر یک از لکه‌های دیگر نشان دهندهٔ یک بار منفی در پروتئین است. بنابراین، شش گروه تیول در این پروتئین وجود دارد.



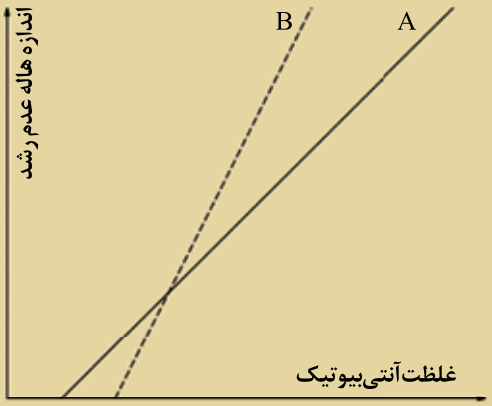
پرسش ۳

بررسی حساسیت باکتری‌های مختلف به آنتی‌بیوتیک‌ها از مهم‌ترین اقدامات در روند درمان بیماری‌های عفونی است. به این منظور، از تست‌های مختلفی استفاده می‌شود که همگی بر پایهٔ رشد یا عدم رشد باکتری در مجاورت آنتی‌بیوتیک، طراحی شده‌اند. در یکی از این روش‌ها، از نوارهای ویژه‌ای استفاده می‌شود که در طول خود طیفی از غلظت‌های آنتی‌بیوتیک دارد. مزیت این روش این است که میزان حساسیت باکتری را به صورت کمّی مورد سنجش قرار می‌دهد. در تصویر مقابل مثالی از این تست را مشاهده می‌کنید. باکتری در مجاورت با آنتی‌بیوتیک رشد نمی‌کند و به صورت‌هاله‌ای در اطراف نوار آنتی‌بیوتیک قابل مشاهده است.

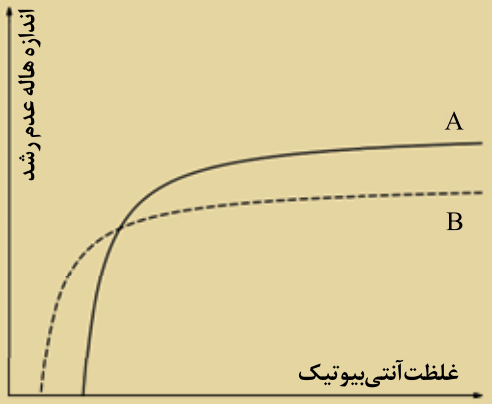
به‌طور تصادفی در آزمایشگاه دو آنتی‌بیوتیک جدید کشف کرده‌ایم. برای بررسی اثر آن‌ها، دو نوار با شیب غلظت لگاریتمی تهیه کرده‌ایم و روی کشت باکتری نمونه قرار داده‌ایم. نتیجه را در شکل پایین مشاهده‌می‌کنید.

کدام یک از نمودارهای روبه‌رو اثر غلظت آنتی‌بیوتیک‌های A و B را بر اندازهٔ هالهٔ عدم رشد در مجاورت آن غلظت به‌صورت کیفی نشان می‌دهد؟ در تمامی نمودارها هر دو محور با مقیاس خطی رسم شده‌اند.

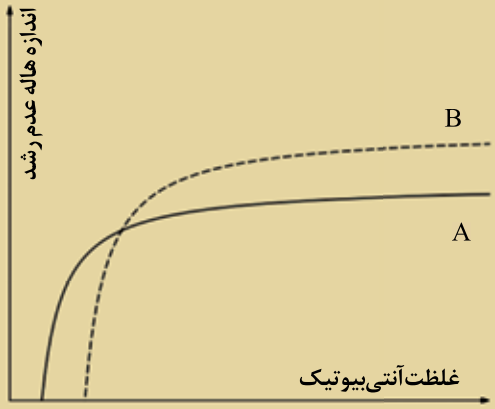
۱)

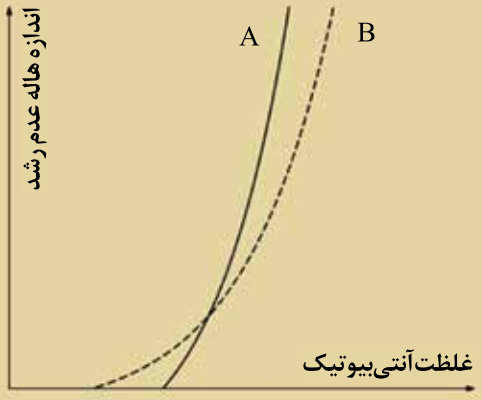


۲)

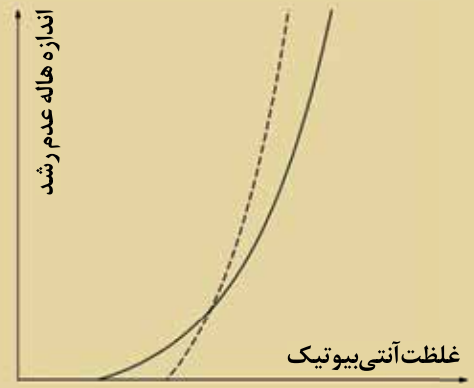


۳)





(۴)



(۵)

تحلیل سؤال ۳

کشف تصادفی اثر مهاری کپک **پنی‌سیلیوم** روی رشد باکتری **استافیلوک** از سوی **الکساندر فلمینگ** در سال ۱۹۲۸ شاید مشهورترین داستان علم زیست‌شناسی در فرهنگ عامه باشد. چرا که آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان مهم‌ترین عوامل ضدباکتریایی، به طور گسترده‌ای در مقابله با عفونت‌های باکتریایی استفاده می‌شوند و توسعهٔ آنتی‌بیوتیک‌های جدید در قرن بیستم علم پزشکی را دگرگون کرد.

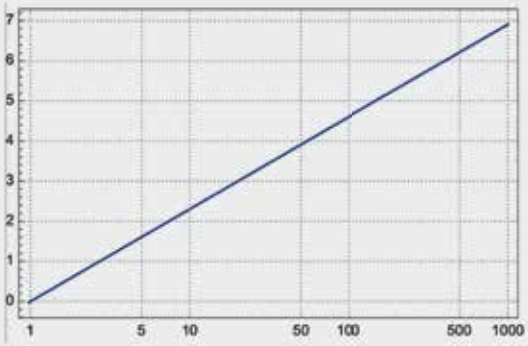
آنتی‌بیوتیک‌ها از مسیرهای گوناگونی چرخهٔ زندگی باکتری را مختل می‌کنند، از رشد آن‌ها جلوگیری می‌کنند یا آن‌ها را از بین می‌برند. یک گروه از این داروها، تولید و پایداری دیوارهٔ سلولی باکتریایی را مختل می‌کنند که از آن می‌توان به **پنی‌سیلین‌ها** و **سفالوسپورین‌ها** اشاره کرد. گروه دیگری همچون **آمینوگلیکوزیدها** و **تتراسیکلین‌ها** با اثر گذاشتن روی ریبوزوم‌های باکتری که تفاوت‌هایی اساسی با ریبوزوم‌های یوکاریوتی انسان دارند، ساخت پروتئین‌ها را مهار می‌کند و گروهی دیگر شامل مترانیدازول روند همانندسازی DNA باکتری را به هم می‌زند.

باکتری‌ها نیز مانند دیگر موجودات زنده، دستخوش فرایندهای تکاملی هستند. در مواجههٔ طولانی مدت با یک نوع آنتی‌بیوتیک، سویه‌هایی پدیدار می‌شوند و گسترش می‌یابند که نسبت به آن درجاتی از مقاومت از خود بروز دهند. اندازهٔ جمعیتِ کلان و نرخ بالای تغییرات ژنتیکی در باکتری‌ها، باعث می‌شود این تغییرات تکاملی در مقیاس‌های زمانی کوتاه و با سرعت خیره‌کننده‌ای رخ دهد. مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها و کاهش اثربخشی آنان، از بزرگ‌ترین تهدیدهای حال حاضر به سلامت عمومی است که از عوامل آن می‌توان مصرف خودسرانه و تجویز غیرضروری آنتی‌بیوتیک‌ها را برشمرد.

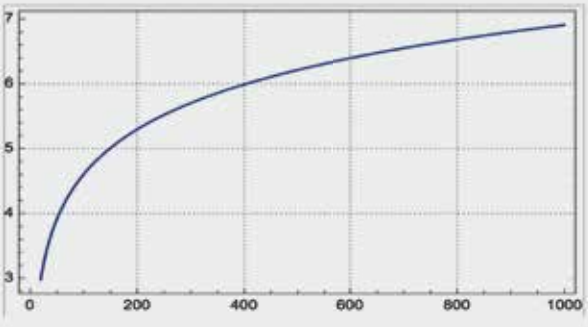
از آنجا که گونه‌ها و سویه‌های مختلف، پاسخ‌های متفاوتی به هر آنتی‌بیوتیک می‌دهند، برای کشف نمایهٔ اثر آنتی‌بیوتیک‌ها و تصمیم‌گیری در مورد روند درمان، می‌توان باکتری را در حضور هر کدام کشت داد و رشد آن را در مجاورت با این عوامل مشاهده کرد که روشی کم هزینه و در عین حال قابل اطمینان است.

در روش کیفی، قرص‌هایی با غلظت مشخص آنتی‌بیوتیک، روی محیط کشتِ تلقیح‌شده با باکتری قرار داده می‌شود. اگر آنتی‌بیوتیک روی باکتری اثر داشته باشد، رشد باکتری در همهٔ سطح محیط کشت، به جز ناحیه‌ای دور قرص آنتی‌بیوتیک مشاهده خواهد شد. این ناحیه به عنوان هالهٔ عدم رشد شناخته شده است.

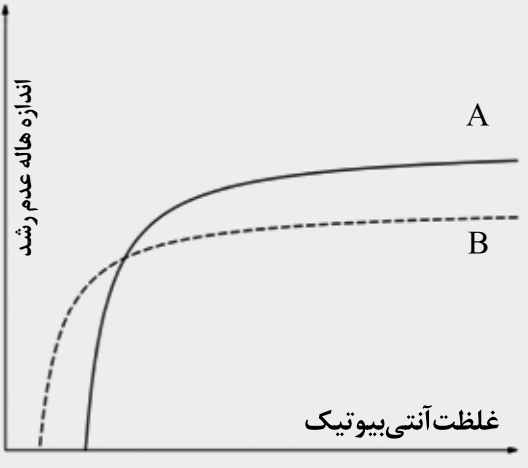
برای بررسی پاسخ باکتری به غلظت‌های متفاوت آنتی‌بیوتیک، از نوارهای خاصی استفاده می‌شود که در طول خود شیب غلظتی از آنتی‌بیوتیک دارند. برخلاف روش قبل، هالهٔ عدم رشد در مجاورت این نوار به شکل یک قطره تشکیل می‌شود. نقطهٔ تقاطع هالهٔ عدم رشد با نوار آنتی‌بیوتیک به عنوان کمترین غلظت آنتی‌بیوتیک که روی باکتری اثر دارد، معیار تشخیصی مهمی است. نتایج کشت باکتری را می‌توان به صورت یک نمودار بازتعریف کرد؛ به طوری که محور افقی، غلظت آنتی‌بیوتیک و محور عمودی، شعاع هالهٔ عدم رشد در غلظت متناظر آنتی‌بیوتیک باشد. در این آزمایش محور افقی در مقیاس لگاریتمی و محور عمودی در مقیاس خطی و اندازهٔ هالهٔ عدم رشد روی این نمودار یک خط صاف است. به عنوان مثال نمودار تابع $y = \log x$ این شرایط را دارد.



برای حل سؤال کافی است ببینیم در صورت تغییر محور افقی و ترسیم آن در مقیاس خطی، شکل نمودار چه تغییری می‌کند. با ترسیم تابع $y = \log x$ در محورهای جدید این نمودار حاصل می‌شود.



نکتهٔ دیگر مقایسهٔ نتایج دو آزمایش است. با اینکه شکل کلی برای هر دو یکسان است، تفاوت‌هایی نیز به چشم می‌خورد. هالهٔ عدم رشد در آزمایش A نسبت به آزمایش B در غلظت بیشتری از آنتی‌بیوتیک شروع به تشکیل کرده و همچنین اندازهٔ هالهٔ عدم رشد در غلیظ‌ترین نقطهٔ نوار در آزمایش A نسبت به آزمایش B بیشتر است. بنابراین، نقطهٔ تقاطع با محور افقی و مقدار نمودار در منتهی‌الیه راست، در نمودار A نسبت به B بیشتر است. در نتیجه، نمودار نهایی باید به این شکل باشد.



پی‌نوشت‌ها

1. primates
2. Carnivora
3. Ursidae
4. The panda's Thumb: more Reflections in Natural History(1980), Stephen Jay Gould.
5. The Giant panda: A morphologi study of Evolutionary mechanisms cal (1964), D. Dwight Davis.