



کند و کاو

نظام جلیان  
دبیر زیست‌شناسی خرمشهر

# دیواره‌ی سلولی یوباکتری‌ها و آرکی‌باکتری‌ها

دانش‌آموزان جای دارد، باید توجه کافی داشت.

● دانش‌آموزان به یک بنیاد ژرف دانش که در چهارچوبی مفهومی در دسترس باشد، نیاز دارند.

● دانش‌آموزان برای آن که بتوانند به خوبی از عهده‌ی یادگیری مستقل برآیند، باید مهارت‌های فراشناختی خود را تقویت کنند.

## نسل چهارم: آموزش با همکاری میان معلمان

کتاب‌های درسی نسل چهارم هنوز روانه‌ی بازار نشده‌اند، اما پژوهش‌هایی که در حال انجام‌اند، محتوای آن‌ها را تا حدودی می‌نمایانند. شواهد نشان می‌دهند، هنگامی که معلمان اعضای انجمن‌های معتبر و حرفه‌ای باشند (که در آن‌ها همه‌ی اعضا در برابر موفقیت همه‌ی دانش‌آموزان معلمان عضو مسؤلیت دارند) آموزش بهتر انجام می‌شود. هنگامی که معلمان در زمینه‌ی مسایل آموزشی خاص، مثلاً در زمینه‌ی الگوهای برای مطالعه‌ی دروس یا پروتکل‌هایی، مثلاً برای آزمون عملکرد دانش‌آموز متمرکز می‌شوند و با هم همکاری می‌کنند، آموزش بهتر انجام می‌شود، عملکرد دانش‌آموزان بهبود می‌یابد و اقلیم مدرسه ارتقا می‌یابد. نسل چهارم مواد آموزشی نه تنها عناصر مهم مواد آموزشی نسل‌های قبلی را در خود دارند، بلکه پشتیبانی دقیقی برای تبادل تجربه و کار گروهی میان معلمان در ارتباط با مواد درسی و آموزش ضمن خدمت‌اند. پشتیبانی‌های برای گسترش آموزش ضمن خدمت به منظور دستیابی به دانش عمیق‌تر از ماده‌ی درسی، فنون تدریس و روزآمد شدن با پژوهش‌های نوین آموزشی برای افزایش کیفیت مواد آموزشی نسل چهارم ضروری است. **سردبیر**

زیرنویس

۱. کتاب امروز، بهار ۱۳۵۳، ص ۱۰.

علوم خود زدند. در آن هنگام این اندیشه گسترش یافت که علم را باید آن‌طور که دانشمندان انجام می‌دهند، یعنی به روش کاوشگرانه به دانش‌آموزان آموخت. به عبارت دیگر آموزش علم تنها انتقال مفاهیم و محصولات کار دانشمندان نیست، بلکه روش علم‌ورزی را نیز باید به دانش‌آموزان آموخت. آموزش از طریق کاربرد مشاهده، آزمایش‌های آزادانه و باز و کاربرد فناوری‌های رایج به روشی هوشمندانه و توجه کافی به چرخه‌ی یادگیری در این نسل از کتاب‌های درسی مورد توجه قرار گرفتند. تئوری یادگیری مورد استفاده در این نسل از کتاب‌های درسی، ساخت‌گرایی است. مطابق با تئوری ساخت‌گرایی دانش‌آموزان بر پایه‌ی تجربه‌های پیشین خود، تجربه‌های نوین کسب می‌کنند و علم می‌آموزند. اما چون آموزش ساخت‌گرایی به وقت بیش‌تر نیاز دارد، سرفصل‌های کتاب نسل دوم نسبت به نسل اول خلاصه‌تر شدند و کاهش یافتند.

چون کتاب‌های درسی نسل دوم نیاز به سبک آموزشی نوین و متفاوت داشتند، و دانش‌آموز محور بودند، آموزش معلمان یکی از مهم‌ترین کارها پس از تألیف بود.

**نسل سوم: مواد شناختی پژوهش محور**  
حدود ده سال است که نوعی دیگر از کتاب‌های درسی برای آموزش ریاضیات در آمریکا رواج دارد. یعنی نسل سوم کتاب‌های درسی علوم که البته هنوز در مرحله‌ی جنینی به سر می‌برند. کتاب‌های این نسل نیز مانند کتاب‌های درسی نسل دوم بر مبنای تئوری ساخت‌گرایی تألیف شده‌اند. تنها تفاوت این کتاب‌ها با کتاب‌های نسل دوم، آن است که هنگام تألیف آن‌ها یافته‌های پژوهشی جدید در مورد یادگیری نیز مد نظر قرار می‌گیرند. این یافته‌ها را می‌توان به‌طور خاص چنین معرفی کرد:

● بر اندیشه‌هایی که پیش از آموزش در ذهن

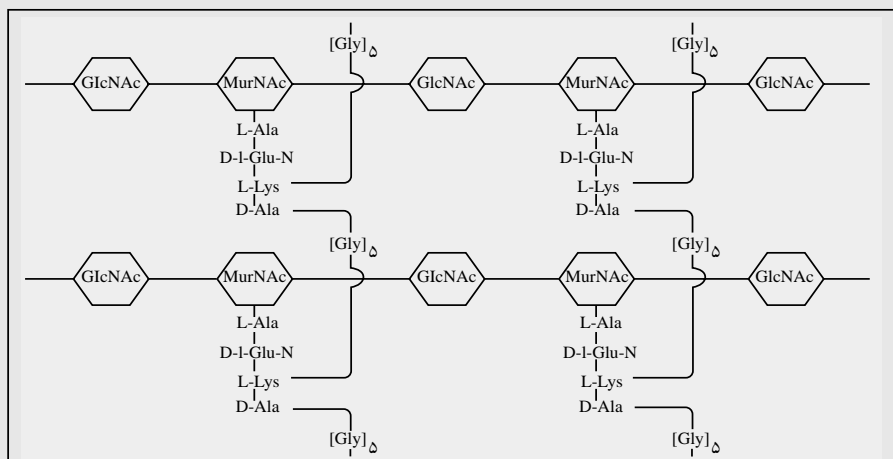
فشار اسمزی بالای (بین ۵ تا ۲۰ اتمسفر) درون باکتری‌ها به علت تراکم زیاد مواد، ایجاد می‌شود. از طرفی باکتری‌ها اغلب در شرایط محیطی متغیری که گاهی هیپوتونیک است، قرار می‌گیرند؛ بنابراین باید دیواره‌ی سلولی سختی داشته باشند تا از پارگی غشای آن‌ها جلوگیری کند. در تعریف، لایه‌هایی که بین غشای سیتوپلاسمی و کپسول قرار دارند در مجموع به عنوان دیواره‌ی سلولی شناخته می‌شوند. ساختمان و ترکیب شیمیایی این دیواره در یوباکتری‌ها و آرکی‌باکتری کاملاً متفاوت است و یکی از تفاوت‌های این دو گروه پروکاریوت را تشکیل می‌دهد. در این مقاله ابتدا ساختار دیواره‌ی سلولی یوباکتری‌ها و سپس دیواره‌ی آرکی‌باکتری‌ها را شرح می‌دهیم.

### دیواره‌ی سلولی یوباکتری‌ها

یوباکتری‌ها را براساس ساختار دیواره‌ی سلولی به دو گروه گرم مثبت و گرم منفی تقسیم می‌کنند. دیواره‌ی سلولی در گرم مثبت‌ها ضخامت بیش تری دارد و عمدتاً از پپتیدوگلیکان (مورئین) و اسیدهای تی کوئیک<sup>۱</sup> تشکیل شده است. این دیواره بدون لیپید است یا مقدار اندکی لیپید دارد. اما دیواره‌ی گرم منفی‌ها پیچیده‌تر و از پپتیدوگلیکان، غشای خارجی و لیپوپروتئین تشکیل شده است. با توجه به این که پپتیدوگلیکان عامل اصلی و مسئول استحکام دیواره در هر دو گروه است، ابتدا ساختار آن را شرح می‌دهیم.

### ساختار پپتیدوگلیکان

پپتیدوگلیکان به طور کلی از سه بخش تشکیل شده است (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار پپتیدوگلیکان دیواره‌ی استافیلوکوکوس اورئوس

۱- ستون فقرات یا اسکلت پپتیدوگلیکان از مولکول‌های N-استیل گلوکز آمین (GlcNAc) و N-استیل مورامیک اسید

(MurNAc)، به صورت یک درمیان تشکیل شده است. این مولکول‌ها با پیوند (۴ → ۱)β به هم متصل شده‌اند. آنزیم لیزوزیم با شکستن این پیوند سبب تخریب دیواره‌ی سلولی یوباکتری‌های گرم مثبت می‌شود.

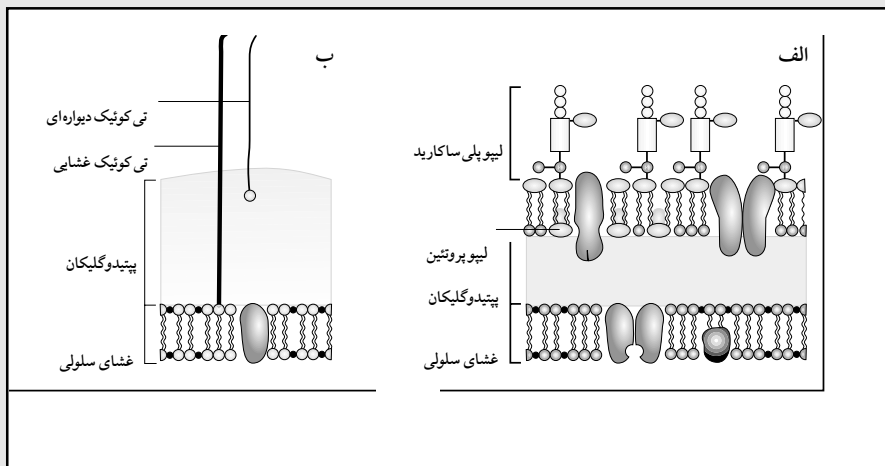
۲- زنجیره‌های جانبی تتراپتیدی. این زنجیره چهار آمینو اسید دارد و ترتیب توالی آن در میان گونه‌های مختلف یوباکتری‌ها، متفاوت است؛ البته برخی ویژگی‌های مشترک مهم دارند. در بسیاری از این زنجیره‌ها L-آلانین در محل اول، D-گلوتامات یا جانشین آن در محل دوم و D-آلانین در محل چهارم قرار دارد. آمینو اسید سوم متنوع‌ترین آمینو اسید است و ممکن است به جای آن آمینو اسیدهایی مثل L-دی آمینو پایمیلیک اسید، L-لیزین، L-اورنیتین یا L-هوموسرین قرار گیرد. این زنجیره‌ی تتراپتیدی از طریق L-آلانین موقعیت اول با پیوند پتیدی به N-استیل مورامیک اسید ستون فقرات پپتیدوگلیکان متصل شده است. یادآوری می‌شود که در ساختار پروتئین‌های سلول، فقط آمینو اسیدهای نوع L بکار رفته است؛ اما در این زنجیره‌ی تتراپتیدی، آمینو اسیدهای نوع D نیز وجود دارد. این آمینو اسیدها دیواره‌ی سلولی را نسبت به برخی پروتازها مقاوم می‌سازند.

۳- پل تقاطعی. این پل‌ها تتراپتیدهای متصل به دو رشته‌ی پلی ساکارییدی مجاور را به هم وصل می‌کنند. حداقل چهار نوع پل تقاطعی وجود دارد. در همه‌ی آن‌ها D-آلانین انتهایی یک زنجیره، همواره در پیوند تقاطعی نقش دارد. نوع اول پل تقاطعی در بیش تر باکتری‌های گرم منفی و تعدادی از گرم مثبت‌ها دیده می‌شود و آن یک ارتباط مستقیم پتیدی است که بین گروه کربوکسیل D-آلانین انتهایی از یک زنجیره با گروه آمین آزاد آمینو اسید موقعیت سوم زنجیره‌ی دیگر (به نام

مز-دی آمینو پایمیلیک اسید) برقرار می‌شود. این نوع پل تقاطعی در لاکتوباسیلوس و کلاستریدیوم وجود دارد. پل ارتباطی نوع دوم ممکن است یک L-آمینو اسید کربوکسیل دار یا گلیسین دار یا هر دوی آن‌ها باشد. یک نمونه‌ی آن در استافیلوکوکوس اورئوس دیده می‌شود (شکل ۱). این پل تقاطعی پنج مولکول گلیسین

دارد که D-آلانین انتهایی از یک زنجیره را به L-لیزین واقع در محل سوم زنجیره‌ی تتراپتیدی رشته‌ی مجاور، متصل می‌کند. پل ارتباطی نوع سوم، یک زنجیره‌ی پتیدی است که ترکیب مشابهی با

می دهد، دو بخش دیگر نیز دارد. این دو عبارت اند از: غشای خارجی و لیپوپروتئین. لیپوپروتئین، غشای خارجی را به پپتیدوگلیکان وصل می کند. غشای خارجی دو لایه دارد. لایه داخلی از فسفولیپید ساخته شده است، اما در لایه خارجی مقدار فسفولیپید بسیار کم است و به جای آن لیپوپلی ساکارید وجود دارد. بنابراین برخلاف غشاهای بیولوژیک، غشای خارجی باکتری ها نامتقارن است. این غشا همانند یک سد نفوذناپذیر عمل و از ورود مولکول های هیدروفوب جلوگیری، و مثلاً باکتری های روده ای را در برابر نمک های صفراوی محافظت می کند. بخش لیپوپروتئین که غشای خارجی را به پپتیدوگلیکان وصل می کند، ۵۷ آمینو اسید دارد. بخش پروتئینی آن با پیوند پپتیدی به دی آمینو پایمیلیک اسید از تتراپتید زنجیره ای جانبی پپتیدوگلیکان متصل می شود. بخش لیپیدی آن به صورت غیر کووالان در غشای خارجی قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه ی دیواره ی یوباکتری های گرم منفی (الف) و گرم مثبت (ب)

### دیواره ی سلولی آرکی باکتری ها

آرکی باکتری ها گرم مثبت یا گرم منفی هستند. این تقسیم بندی فقط از جنبه ی واکنش گرم و نه نوع ساختار دیواره ی سلولی است. اکثر آرکی باکتری ها به جای دیواره ی سلولی، یک لایه ی پروتئینی یا گلیکوپروتئینی دارند. دیواره ی سلولی در بعضی از آن ها و بیش تر در گروه های متانوژنیک تکامل بیش تری دارد و برخی پلیمرها که در ادامه به آن ها اشاره می کنیم در ساختار آن ها دیده می شود.

### آرکی باکتری های گرم مثبت

چندین نوع دیواره ی سلولی در این آرکی باکتری ها شناسایی شده است. دیواره ی سلولی در گروهی مثل متانوتروموس<sup>۲</sup> و متانوپیروس<sup>۳</sup> از پلیمری شبیه به پپتیدوگلیکان به نام پپتیدوگلیکان کاذب یا سودومورین تشکیل شده است. بخش کربوهیدراتی سودومورین به جای N-استیل مورامیک اسید و پیوند (۴ → ۱)β که در پپتیدوگلیکان

تتراپتید دارد. پل تقاطعی نوع چهارم، بین D-آلانین انتهایی با گلوتامات واقع در محل دوم رشته ی مجاور ایجاد می شود. در این حالت D-لیزین و یا D-اورنیتین، دو زنجیره ی تتراپتیدی را به هم وصل می کند.

تاکنون بیش از ۱۰۰ نوع مختلف پپتیدوگلیکان شناسایی شده است. بزرگ ترین اختلاف بین آن ها، در پل تقاطعی است. با وجود این می توان گفت که در ساختمان این پپتیدوگلیکان ها ساختارهای مشابهی وجود دارد، یعنی گلوکز آمین و مورامیک اسید، اسکلت را می سازند، و مولکول های مورامیک اسید به آمینو اسیدها متصل می شوند.

### دیواره ی سلولی یوباکتری های گرم مثبت

بیش از ۲۰ لایه ی پپتیدوگلیکانی در یوباکتری های گرم مثبت

وجود دارد که ۵۰ درصد وزن دیواره را تشکیل می دهد. این لایه بین ۲۰ تا ۸۰ نانومتر ضخامت دارد. علاوه بر پپتیدوگلیکان در این باکتری ها، مقادیر زیادی تی کوئیک اسید و تی کورونیک اسید وجود دارد که ممکن است تا ۵۰ درصد وزن خشک دیواره را تشکیل دهد. تی کوئیک اسید پلیمرهایی از ریبتول فسفات یا گلیسرول فسفات است که با پیوند فسفودی استر به هم متصل

شده اند. طول زنجیره ها معمولاً بین ۳۰ تا ۳۵ واحد مونومری است. دو نوع تی کوئیک اسید وجود دارد: نوع دیواره ای از طریق گروه فسفات ریبتول یا گلیسرول به مورامیک اسید پپتیدوگلیکان دیواره، اتصال برقرار می کند. نوع غشایی یا لیپو کوئیک اسید با پیوند کووالان به گلیکولیپیدهای غشا متصل است. تی کورونیک اسیدها، پلیمرهایی مشابه تی کوئیک اسید هستند، اما واحدهای تکراری آن ها به جای فسفریک اسید، اسیدهای قندی مثل N-استیل مانوزورونیک یا D-گلوکزورونیک اسید است. هنگامی که منابع فسفات سلول محدود باشد، این اسیدها به جای تی کوئیک اسیدها ساخته می شوند.

### دیواره ی سلولی یوباکتری های گرم منفی

دیواره ی یوباکتری های گرم منفی ها پیچیده تر است و علاوه بر یک یا دو لایه ی پپتیدوگلیکانی که ۵ تا ۱۰ درصد وزن دیواره را تشکیل

یوباکتری‌ها وجود دارد، به ترتیب N-استیل تالوز آمینو اورونیک اسید و پیوند (3 → 1)β دارد. بنابراین آنزیم لیزوزیم بر دیواره ی آرکی باکتری‌ها تأثیری ندارد.

در بخش پپتیدی سودومورثین، به ترتیب در موقعیت اول تا چهارم، L-آمینو اسیدهای گلوتامات، آلانین، لیزین و گلوتامات وجود دارد. ممکن است در برخی گونه‌ها، در موقعیت پنجم، آلانین نیز وجود داشته باشد؛ اما وجود گلوتامات در موقعیت چهارم و آلانین در موقعیت پنجم، عمومیت ندارد. ناگفته نماند که در توالی آمینو اسیدی این بخش پپتیدی، تنوع وجود دارد. این بخش پپتیدی از طریق گلوتامات موقعیت اول خود به N-استیل تالوز آمینو اورونیک اسید متصل شده است. پل تقاطعی بین گلوتامات موقعیت چهارم یک زنجیره با لیزین موقعیت دوم زنجیره ی دیگر، برقرار می‌شود. نکته ی جالب این است که در بخش پپتیدی سودومورثین فقط اسید آمینه‌های نوع L وجود دارد، در حالی که در ساختمان پپتیدوگلیکان یوباکتری‌ها آمینو اسیدهای نوع D نیز دیده می‌شود.

دیواره ی سلولی در گروه دیگری مثل متانوسارسینا<sup>۴</sup> از پلی ساکاریدی به نام متانوکندروئیتین ساخته شده است. این پلی ساکارید بسیار شبیه به کندروئیتین بافت پیوندی جانوران است، با این تفاوت که متانوکندروئیتین سولفات نشده است. قند اصلی در متانوکندروئیتین، گالاکتوز آمین، گلوکورونیک اسید، گلوکز و مقدار کمی مانوز است که مقدار قابل ملاحظه ای استات به آن‌ها افزوده شده است. سولفات و فسفات در این مواد وجود ندارد. ضخامت دیواره در بیش تر آرکی باکتری‌های دارای متانوکندروئیتین، به ۲۰۰ نانومتر می‌رسد. دیواره ی سلولی در آرکی باکتری‌های گرم مثبت مثل هالوکوکوس<sup>۵</sup> از یک پلیمر هتروپلی ساکاریدی پیچیده متشکل از گلوکز آمین، گالاکتوز آمین، گلوکز آمینو اورونیک اسید، گلوکز، استات، گالاکتورونیک اسید، سولفات و گلیسین است.

## آرکی باکتری‌های گرم منفی

آرکی باکتری‌های گرم منفی برخلاف یوباکتری‌های گرم منفی غشای خارجی و لیپو پلی ساکاریدهای پیچیده ندارند. دیواره ی سلولی این گروه از پروتئین یا گلیکوپروتئین ساخته شده است. ضخامت این دیواره بین ۲۰ تا ۴۰ نانومتر است. دیواره ی سلولی در متانوکوکوس<sup>۶</sup> فقط یک لایه ی سطحی در خارج غشای سیتوپلاسمی است. این دیواره از چندین نوع پروتئین ویژه ی غیر گلیکوزیله ساخته شده است. واحدهای این لایه ی پروتئینی آمینو اسیدهای آب گریز دارد که در ثبات لایه ی سطحی نقش دارد. در متانوسپرلیوم<sup>۷</sup> دیواره ی سلولی از یک نوع زیر واحد پروتئینی ساخته شده است که یک غلاف در اطراف باکتری ایجاد می‌کند. دیواره ی سلولی در انواع ویژه ای از

متانوژن‌ها، هالوفیل‌های افراطی و آرکی باکتری‌های گوگردی، گلیکوپروتئینی است. کربوهیدرات‌های این دیواره گلوکز، گلوکز آمین، گالاکتوز، مانوز و ریروز است. سه نوع گلیکوپروتئین در دیواره ی هالوباکتریوم<sup>۸</sup> وجود دارد. در این دیواره آمینو اسیدهای اسیدی (دارای بار منفی) به ویژه اسپارتات به مقدار زیاد وجود دارد. احتمالاً این مواد اسیدی به متعادل کردن بارهای مثبت فراوانی که توسط مقدار زیاد نمک موجود در محیط این باکتری ایجاد می‌شود، کمک می‌کند. بارهای منفی آمینو اسیدهای اسیدی توسط Na<sup>+</sup> خنثی می‌شود. هنگامی که غلظت یون سدیم کاهش یابد، بارهای منفی گلیکوپروتئین‌های دیواره، یک دیگر را دفع می‌کنند و در نتیجه دیواره از هم می‌پاشد. این اتفاق در غلظت نمک کم تر از ۱۵ درصد رخ می‌دهد. این باکتری برای نگهداری دیواره ی خود به ۲۰ تا ۲۵ درصد نمک نیاز دارد.

## باکتری‌های بدون دیواره

دیواره ی سلولی در بیش از ۱۵۰ گونه از یوباکتری‌ها وجود ندارد. مایکوپلاسما پنومونیه از این گروه است. این باکتری‌ها دیواره ندارند، اما در غشای سلولی خود استرول دارند. مولکول‌های استرول در پایداری غشا نقش دارند و انعطاف پذیری کم تری در غشا ایجاد می‌کنند. ترموپلاسما از آرکی باکتری‌های بدون دیواره است. شرایط بهینه برای رشد این آرکی باکتری ترمواسیدوفیل، دمای ۵۵ تا ۵۹ درجه و PH بین ۱ تا ۲ است. این باکتری اگرچه دیواره ندارد، اما برای زنده ماندن در تنش‌های اسمزی، غشای سلولی محکمی با ساختار شیمیایی خاصی دارد. این غشا که لیپیدوگلیکان نامیده می‌شود، مقادیر زیادی دی گلیسرول تتراترا، لیپو پلی ساکارید و گلیکوپروتئین غنی از مانوز دارد. بخش‌های قندی در این غشا به طور مستقیم در خارج از سلول قرار دارند.

زیرنویس

1. Teichoic acid
2. Methanothermobacter
3. Methanopyrus
4. Methanosarcina
5. Halococcus
6. Methano coccus
7. Methano spirillum
8. Halobacterium

منابع

۱. میکروپ شناسی پزشکی جاوژ، ترجمه ی دکتر عبدالحسین ستوده‌نیا، انتشارات ارجمند، چاپ اول.
۲. زیست شناسی سلولی و مولکولی ساختار باکتری، جلد اول (پوشش و زوائد سلولی)، ترجمه و تألیف: دکتر روحا کسری کرمانشاهی و...، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول.
۳. تکامل مولکولی و میکروبی، تألیف اسفندیار شریفی، انتشارات نشر قو، چاپ اول.
4. Prescott Lansing M and et al, **Microbiology**, fifth edition, McGraw – Hill Companies, 2002.
5. <http://trishul.sci.gu.edu.au/courses/ss13bmm/Archaea.pdf>