دانشگاه پیام نور

باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی

ساختار، زیست‌شناسی و بیماری‌های مهم ناشی از آن‌ها

دکتر گیلدا نجفی‌پورحقیقی

«عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم»

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است[1].

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آن‌ها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که »بخوان!« و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشأن خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696

شده‌است: «إقْرَأ وَ رَبُّکَ الْاَکْرَمُ. اَلَّذی عَلَّمَ بِالْقَلَم» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... **نُه**

فصل اول. کلیات **۱**

مقدمه ۱

۱-۱ تاریخچه باکتری‌شناسی ۱

۱-۲ طبقه‌بندی موجودات زنده ۳

۱-۳ درخت فیلوژنی ۶

۱-۳-۱ حوزهٔ باکتری‌ها ۷

۱-۳-۲ حوزهٔ باستانیان ۱۰

۱-۳-۳ حوزهٔ یوکاریا ۱۱

۱-۴ کشف باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی ۱۲

۱-۵ باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی در یک نگاه ۱۳

۱-۶ باکتری‌های مفید ۱۸

فصل دوم. ساختار سلولی باکتری **۲۱**

مقدمه ۲۱

۲-۱ غشاء سلولی ۲۱

۲-۱-۱ وظایف غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها ۲۳

۲-۲ دیواره سلولی ۲۴

۲-۲-۱ ساختار دیواره سلولی ۲۶

۲-۲-۲ دیواره سلولی در باکتری‌های گرم منفی ۲۹

۲-۲-۳ دیواره سلولی در باکتری‌های گرم مثبت ۳۱

۲-۲-۴ ساختارهای اختصاصی در دیواره سلولی ۳۱

۲-۲-۵ تأثیر آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین بر دیواره سلولی ۳۳
۲-۲-۶ باکتری‌های فاقد دیواره سلولی ۳۵
۲-۲-۷ وظایف دیواره سلولی ۴۰
۲-۳ باکتری‌های اسیدفست ۴۱
۲-۴ تاژک ۴۲
۲-۴-۱ ساختار تاژک ۴۳
۲-۴-۲ آرایش تاژک در باکتری‌ها ۴۵
۲-۴-۳ پیلوس و فیمبره ۴۸
۲-۵ گلیکوکالیکس ۴۹
۲-۶ اندوسپور ۵۱
۲-۶-۱ ساختار اندوسپور ۵۳
۲-۷ سیتوپلاسم ۵۶
۲-۷-۱ ریبوزوم ۵۶
۲-۷-۲ گرانول‌ها ۵۹
۲-۷-۳ نوکلئوید ۶۰
۲-۷-۴ پلاسمید ۶۴
۲-۷-۵ سیدروفور ۷۲

فصل سوم. زیست‌شناسی باکتری‌ها ۷۵
مقدمه ۷۵
۳-۱ فازهای زندگی باکتری ۷۵
۳-۲ فعالیت تشکیل هسته یخ ۷۷
۳-۳ واکنش فوق حساسیت ۷۹
۳-۴ روش‌های تأمین تنوع ژنتیکی در باکتری‌ها ۸۰
۳-۴-۱ انتقال ژن افقی ۸۰
۳-۴-۱-۱ هم‌یوغی ۸۱
۳-۴-۱-۲ ترانسفورمیشن یا انتقال بدون‌واسطه ۸۲
۳-۴-۱-۳ ترانسداکشن یا انتقال با واسطه ۸۳
۳-۴-۲ جهش یا موتاسیون ۸۴
۳-۴-۳ عناصر ژنتیکی متحرک ۸۵
۳-۵ مراحل بیماری‌زایی باکتری‌ها ۸۵

فصل چهارم. مشخصات جنس‌های مهم باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی ۸۹
مقدمه ۸۹
۴-۱ جنس Pseudomonas ۸۹
۴-۲ جنس Ralstonia ۹۱

۴-۳ جنس Burkholderia ۹۱
۴-۴ جنس Acidovorax ۹۱
۴-۵ جنس Xanthamonas ۹۲
۴-۶ جنس Xylophyllus ۹۲
۴-۷ جنس Agrobacterium ۹۳
۴-۸ جنس Erwinia ۹۴
۴-۹ جنس Clavibacter ۹۵
۴-۱۰ جنس Arthrobacter ۹۵
۴-۱۱ جنس Curtobacterium ۹۶
۴-۱۲ جنس Rathayibacter ۹۶
۴-۱۳ جنس Rhodococus ۹۶
۴-۱۴ جنس Streptomyces ۹۶
۴-۱۵ جنس Leifsonia ۹۷
۴-۱۶ جنس Liberobacter ۹۷
۴-۱۷ جنس Xylella ۹۸
۴-۱۸ باکتری‌های سخت کشت ۹۸
۴-۱۸-۱ باکتری‌های محدود به آوند چوبی (XLB) ۹۸
۴-۱۸-۲ باکتری‌های محدود به آوند آبکش (PLB) ۹۹

فصل پنجم. بیماری‌های باکتریایی گیاهان ۱۰۱
مقدمه ۱۰۱
۵-۱ آتشک درختان دانه‌دار ۱۰۱
۵-۲ شانکر باکتریایی درختان میوه هسته‌دار ۱۰۷
۵-۳ لکه زاویه‌ای پنبه ۱۱۲
۵-۴ شانکر باکتریایی مرکبات ۱۱۶
۵-۵ شانکر باکتریایی گوجه‌فرنگی ۱۲۲
۵-۶ لکه برگی زاویه‌ای خیار ۱۲۶
۵-۷ پوسیدگی حلقوی باکتریایی سیب‌زمینی ۱۲۹
۵-۸ پژمردگی باکتریایی سیب‌زمینی ۱۳۴
۵-۹ اسکب سیب‌زمینی ۱۴۱
۵-۱۰ بیماری گال طوقه ۱۴۵

منابع ۱۵۵

این کتاب را تقدیم می‌کنم به روان پاک برادر عزیزم جوان ناکام دکتر علی‌محمد نجفی‌پور حقیقی که عمر کوتاهش اجازه نداد از دانش فراوانش بهره جویم.

پیشگفتار

علم باکتری‌شناسی گیاهی، شاخه‌ای مهم از گیاه‌پزشکی است که به مطالعه باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی، تعامل آن‌ها با میزبان و راه‌های مدیریت این عوامل بیماری‌زا می‌پردازد.

کتاب باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی برای استفاده پژوهشگران و دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی گیاه‌پزشکی و میکروبیولوژی، به رشته تحریر درآمده است. در این کتاب تلاش شده تا با بیانی ساده و استفاده از تصاویر مختلف، دانشجویان با ویژگی‌های پروکاریوت‌ها و به‌ویژه باکتری‌ها آشنایی یابند.

این کتاب که چکیده‌ای از سال‌ها تدریس و تحقیق نگارنده، در زمینه باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی است، مشتمل بر پنج فصل است؛ در فصل اول کلیات مختصری از تاریخچه شناسایی باکتری‌ها و روش‌های مطالعه و دسته‌بندی آن‌ها گنجانده شده‌است. در فصل دوم و سوم به ترتیب ساختارهای سلولی باکتری و زیست‌شناسی آن‌ها شرح داده شده‌است. در فصل چهارم به بررسی مشخصات جنس‌های مهم باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی پرداخته شده‌است. در این فصل، آخرین تغییرات نام‌گذاری جنس‌ها و گونه‌های باکتریایی تا زمان نگارش کتاب، لحاظ شده است. نهایتاً در فصل پنجم تعدادی از مهم‌ترین بیماری‌های باکتریایی در دنیا و ایران معرفی شده و راهکارهایی برای پیشگیری و درمان آن‌ها ارائه شده‌است.

امید است این اثر گامی مؤثر در ارتقای دانش باکتری‌شناسی گیاهی و کمک به حل چالش‌های مرتبط با بیماری‌های باکتریایی در گیاهان باشد.

هرچند دقت فراوانی صورت گرفته تا کتاب عاری از اشکال باشد، با این همه ممکن است نقایصی در آن مشاهده شود؛ بنابراین از صاحب‌نظران، اساتید و دانشجویان عزیزی که این اثر را مطالعه می‌کنند، تقاضا می‌شود پیشنهادها و انتقادات سازندهٔ خود را به آدرس gildanajafipour@gmail.com ارسال فرمایند تا در چاپ‌های بعدی این اثر، لحاظ گردد.

دکتر گیلدا نجفی‌پور حقیقی
عضو هیئت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم
شیراز، پائیز ۱۴۰۴

فصل اول

کلیات

مقدمه

باکتری‌شناسی گیاهی به‌عنوان شاخه‌ای مهم از بیماری‌شناسی گیاهی تلقی شده و نقشی اساسی در درک تعاملات پیچیده بین میکروارگانیزم‌ها و گیاهان ایفا می‌کند. این دانش نه تنها به شناسایی و کنترل باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی می‌پردازد، بلکه کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی پایدار، کنترل بیولوژیک و بیوتکنولوژی دارد.

فصل حاضر به‌عنوان پایه‌ای برای ورود به دنیای باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی است. در ابتدا مروری مختصر بر تاریخچه باکتری‌شناسی خواهیم داشت؛ از مشاهدات اولیه باکتری‌ها تا کشفیات مهم پاستور و کخ و اصول کخ. سپس به طبقه‌بندی و فیلوژنی موجودات زنده و جایگاه باکتری‌ها در سلسله مراتب حیات، براساس سیستم‌های رایج طبقه‌بندی، پرداخته می‌شود. در نهایت نیز اشاره‌ای مختصر، به باکتری‌های مفید در دنیای اطراف ما، خواهد شد.

۱-۱ تاریخچه باکتری‌شناسی

میکروب‌شناسی در قرن هفدهم با یک اختراع بسیار ساده، توسط تاجر هلندی، انتونی وان لیوون هوک[1]، شروع شد. او یک میکروسکوپ خیلی ساده متشکل از چند عدسی ایجاد کرد و توانست موجوداتی را با این میکروسکوپ ببیند که بعداً آن‌ها را شبه حیوان[2] نامید و به این شکل سنگ بنای علم میکروب‌شناسی گذاشته شد. او نمونه‌ای از آب‌های راکد را

1. Antonie Philips van Leeuwenhoek
2. Animalcules

تهیه نمود و توانست پارامسی‌ها[۱] را در آن مشاهده کند. پس از آن، افراد مختلف با مشاهدات و نظریه‌های خود، به شکل‌گیری و تکامل این علم کمک کردند. از نظریه‌های شاخص این دوران می‌توان به فرضیه تولید خودبه‌خودی[۲] اشاره نمود. اساس این فرضیه را ارسطو[۳] زمانی مطرح نمود که تکه گوشتی را در معرض هوای آزاد قرار داده و پس از مدتی، تعدادی کرم روی آن ظاهر شدند. پس از آن دانشمندان مختلفی در رد یا قبول این فرضیه آزمایش‌هایی انجام دادند. نهایتاً یک شیمیدان فرانسوی، به‌نام لوئی پاستور[۴] با یک نظریه علمی، این فرضیه را به‌طور کامل رد کرد؛ او در یک ظرف با دهانهٔ باریک آبگوشت ریخت و بدون اینکه دستی به آن بزند آن را کنار گذاشت. در کنار این ظرف، ظرف دیگری را درست کرد که دو انحنا داشت (لوله گردن قویی) و داخل آن نیز آبگوشت ریخت. وی مشاهده کرد که ظرف اول آلوده شد اما در ظرف دوم آلودگی مشاهده نشد؛ این امر به این دلیل بود که باکتری‌ها در دو انحنای ظرف گیر افتاده و به آبگوشت نمی‌رسیدند. لوئی پاستور با نظریهٔ علمی خود اثبات کرد که عامل فساد مادهٔ غذایی یک عامل خارجی است که از فضای بیرون وارد شده و عاملی درونی نیست. از جمله دیگر کارهای پاستور می‌توان به تولید واکسن هاری و سیاه‌زخم، تخمیر الکل و تولید واکسن وبای مرغی اشاره کرد. در حقیقت، دوران طلایی میکروب‌شناسی مربوط به لوئی پاستور و رابرت کخ[۵] بود که با رد نظریهٔ تولید خودبه‌خودی آغاز شد. رابرت کخ آلمانی، روی باسیل‌های[۶] سل و سیاه‌زخم کار می‌کرد. امروزه برای ادای احترام به این دانشمند، عامل سل[۷] را به نام باسیل کخ می‌شناسند. تحقیقات وی، منجر به روشن شدن بسیاری از جنبه‌های تاریک علم میکروب‌شناسی شد.

یکی از کارهای اساسی و مهم کخ، ارائهٔ اصول کخ بود که برای اثبات بیماری‌زائی میکروب‌ها پیشنهاد شد. اصول کخ شامل چهار بخش زیر است:

---

۱ پارامسی‌ها، موجوداتی تک‌سلولی هستند که در آب‌های آرام و آبگیرهای راکد زندگی می‌کنند. آن‌ها از پسمانده جلبک‌ها و سایر موجودات ریز تغذیه کرده و خود توسط موجودات کوچک دیگر خورده می‌شوند. پارامسی‌ها به‌وسیله برآمدگی‌های ریز مومانندی که مژک نامیده می‌شود حرکت می‌کنند و به همین دلیل در شاخه مژک‌داران دسته‌بندی می‌شوند.

2. Spantonously Generation
3. Aristoteles
4. Louis Pasteur
5. Robert Koch

۶. باسیل‌ها باکتری‌های میله‌ای شکل هستند که می‌توانند برای انسان مفید یا مضر باشند.

7. *Mycobacterium Tuberculasis*

۱. عامل میکروبی در بافت بیمار وجود داشته باشد.
۲. باید بتوان عامل بیماری را کشت داده و جداسازی کرد.
۳. اگر عامل بیماری‌زای جدا شده به یک میزبان حساس تزریق شود، باید همان بیماری را مشاهده کرد.
۴. و در انتها، مجدداً باید بتوان از محل عفونت همان باکتری را جداسازی و مشاهده نمود.

در بسیاری موارد اصول کخ، صحیح و قابل اجراست، اما امروزه ایرادهایی به آن وارد شده‌است. به‌عنوان مثال در تعدادی از بیماری‌ها، به‌ویژه بیماری‌های انسانی مانند مسمومیت‌ها، میکروب از محل عفونت قابل جداسازی نیست؛ زیرا در این موارد تنها توکسین‌ها و آنزیم‌های باکتری درگیر هستند. علاوه‌براین برخی میکروب‌ها پارازیت اجباری بوده و در آزمایشگاه قابل‌کشت نیستند. با این‌همه اجرای این اصول، برای اثبات بیماری‌زایی بسیاری از میکروب‌ها قابل اجرا بوده و لازم است که به‌منظور اثبات بیماری‌زایی میکروارگانیزم انجام شود.

۱-۲ طبقه‌بندی موجودات زنده

حدود ۲۶۰۰ سال پیش، یک پزشک هندی به نام چاراکا[1]، جانداران را به چهار گروه به شرح زیر طبقه‌بندی نمود: جاندارانی که از رحم، تخم، رطوبت و گرما و از گیاهان متولد می‌شوند.

دو هزار سال پیش، ارسطو، فیلسوف و طبیعی‌دان یونانی، بر پایه روش علمی و با مشاهدات دقیق تجربی، استفاده از تشریح مقایسه‌ای، مطالعات جنین‌شناسی، رفتارشناسی و اکولوژی (بر اساس داشتن و نداشتن خون) جانداران را بر اساس نحوه و مکان زندگی و آناتومی آن‌ها، تقسیم‌بندی کرد. طبقه‌بندی ارسطو، شامل دو شاخهٔ گیاهان و جانوران بود. وی گیاهان را در سه رده (درخت، درختچه و علف) و جانوران را بر اساس محیط و نوع حرکت، در سه رده (آن‌هایی که راه می‌روند، آن‌هایی که شنا می‌کنند و آن‌هایی که پرواز می‌کنند) تقسیم‌بندی نمود. این تقسیم‌بندی، تا سال ۱۶۰۰ میلادی یعنی تا قرن هفدهم میلادی که سیستم لینه ارائه شد، اعتبار علمی داشت. لینه در کتاب مشهورش به نام سامانه طبیعت، که در سال ۱۷۳۵میلادی انتشار یافت، طبیعت را ابتدا به سه فرمانرو شامل: معدن، گیاه و جانور و سپس به دو فرمانرو تقسیم نمود. در

1. Charaka

این تقسیم‌بندی‌ها، لینه از پنج رتبه یا طبقه استفاده کرد که شامل رده[1]، راسته[2]، سرده[3]، گونه[4] و واریته[5] بود. امروزه لینه، عمدتاً به‌دلیل معرفی روش نام‌گذاری دو اسمی[6] که هنوز برای نام‌گذاری علمی گونه‌های زیستی به‌کار می‌رود، شناخته می‌شود.

در طول سالیان گذشته، رده‌بندی جانداران دستخوش تغییرات زیادی شده‌است که در جدول (۱) تعدادی از این تقسیم‌بندی‌ها، قابل مشاهده است.

جدول ۱. جدول تحول سیستم‌های طبقه‌بندی موجودات زنده از لینه تاکنون. سیستم‌های طبقه‌بندی موجودات زنده از زمان کارل لینه در قرن ۱۸ میلادی تاکنون دستخوش تغییرات بسیاری شده‌اند. در این جدول سیر تحول این تقسیم‌بندی‌ها ارائه شده است.

دوره	دانشمند/سیستم	تقسیم‌بندی اصلی	ویژگی‌های کلیدی
قرن ۱۸	کارل لینه (۱۷۳۵)	۲ سلسله: گیاهان (Plantae) و جانوران (Animalia)	طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های ظاهری، استفاده از نام‌گذاری دو اسمی
قرن ۱۹	ارنست هکل (۱۸۶۶)	۳ سلسله: گیاهان، جانوران و پروتیستا (Protista)	معرفی سلسله جدید پروتیستا برای قرار دادن موجودات تک‌سلولی و میکروسکوپی.
دهه ۱۹۳۰	کوپلند (۱۹۳۸)	۴ سلسله: گیاهان، جانوران، پروتیستا و مونرا (Monera)	پیشنهاد سلسله مونرا برای قرار دادن باکتری‌ها
دهه ۱۹۵۰	رابرت ویتاکر (۱۹۶۹)	۵ سلسله: گیاهان، جانوران، قارچ‌ها (Fungi)، پروتیستا و مونرا	اضافه‌کردن سلسله قارچ‌ها به‌عنوان سلسله‌های مستقل.
دهه ۱۹۷۰	کارل ووز (۱۹۷۷)	تقسیم مونرا به دو گروه: آرکی‌باکترها یا باستانیان (Archaea) و باکتری‌ها (Eubacteria)	کشف تفاوت‌های ژنتیکی بین آرکی‌باکترها و باکتری‌های معمولی.
دهه ۱۹۹۰	ووز و همکاران (۱۹۹۰)	سیستم سه‌دامنه‌ای: باکتری‌ها (Bacteria)، آرکی‌ها (Archaea)، یوکاریوت‌ها (Eukarya)	تأکید بر تفاوت‌های مولکولی و تقسیم‌بندی بر اساس RNA ریبوزومی.
دهه ۱۹۹۰	کاوالیر اسمیت (۱۹۹۸)	سیستم ۶ فرمانرویی: آرکی‌باکترها، یوباکتریا، پروتیستا، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران.	بر اساس وگی‌هاای ساختاری، بیوشیمیایی و تکاملی
عصر حاضر	سیستم‌های فیلوژنتیک	طبقه‌بندی بر اساس تبارزایش (Phylogeny) و داده‌های ژنومی	استفاده از DNA و روابط تکاملی برای دسته‌بندی دقیق‌تر موجودات.

1. Class
2. Order
3. Genus
4. Species
5. Variety
6. Binomial Nomencluture

همان‌گونه که در جدول (۱) دیده می‌شود بین رده‌بندی‌هایی که در سال‌های مختلف ارائه شده، تفاوت‌های زیادی وجود دارد؛ در اولین تقسیم‌بندی که به‌وسیله لینه (۱۷۳۵) انجام شد، تنها دو فرمانرو[۱] گیاهان[۲] و جانوران[۳] دیده می‌شد. این تقسیم‌بندی بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند شکل برگ در گیاهان و یا اندام‌های تولیدمثلی در جانوران طبقه‌بندی می‌کرد. در تقسیم‌بندی هکل (۱۸۶۶)، فرمانرو آغازیان[۴] نیز معرفی و سیستم سه سلسله‌ای پیشنهاد شد. کوپلند (۱۹۳۸)، فرمانرو مونرا[۵] را در کنار سه فرمانروی قبلی (آغازیان، جانوران و گیاهان) قرار داده و به این طریق، باکتری‌ها در سلسله جداگانهٔ مونرا قرار گرفتند. پس از آن ویتاکر[۶] (۱۹۶۹) طبقه‌بندی پنج فرمانرویی، شامل: مونرا، آغازیان، قارچ‌ها[۷]، گیاهان و جانوران را پیشنهاد نمود. در این سیستم، ویتاکر، قارچ‌ها را به دلیل تفاوت در متابولیسم از گیاهان جدا نمود. گیاهان موجوداتی اتوتروف[۸] هستند؛ به این معنی که قادرند به کمک مواد معدنی و غیرآلی، فتوسنتز کرده و مواد آلی موردنیاز خود را سنتز کنند. این موجودات، اغلب از دی‌اکسیدکربن (CO_2) به‌عنوان منبع کربن استفاده کرده و انرژی موردنیاز این فرایند را از نور خورشید (در موارد اندکی از طریق واکنش‌های شیمیایی) تأمین می‌کنند. این در حالی است که قارچ‌ها، هتروتروف[۹] بوده و قادر به سنتز مواد آلی موردنیاز خود نیستند و به همین دلیل مواد آلی موردنیاز خود را از محیط اطراف جذب می‌کنند.

کارل ووز[۱۰] در سال ۱۹۹۰، طبقه‌بندی سه‌حوزه[۱۱]ای شامل یوباکتریا، باستانیان (آرکی‌باکترها) و یوکاریوت‌ها را معرفی و باستانیان را به‌عنوان گروهی مجزا از باکتری‌ها معرفی نمود؛ دلیل مهم وی برای این جداسازی، تفاوت در ساختار ژنتیکی و غشای سلولی آن‌ها با یکدیگر عنوان شد. در این طبقه‌بندی، همه موجودات پیچیده شامل گیاهان، جانوران، قارچ‌ها و پروتیست‌ها، در حوزه یوکاریوت‌ها قرار گرفتند (ووز و همکاران، ۱۹۹۰). نهایتاً کاوالیر- اسمیت (۱۹۹۸) طبقه‌بندی شش فرمانرویی، شامل یوباکتریا، آرکی‌باکتریا، پروتیستا، گیاهان، قارچ‌ها و جانوران را پیشنهاد داد.

---

1. Kingdom
2. Plantae
3. Animalia
4. Protista
5. Monera
6. Whitaker
7. Fungi
8. Autotroph
9. Hetrotroph
10. Carl Woese
11. Domain

امروزه طبقه‌بندی موجودات زنده عمدتاً بر اساس روابط تکاملی (فیلوژنتیک)، توالی‌یابی DNA و شباهت‌های ژنتیکی انجام می‌شود و تنها به ویژگی‌های ظاهری توجه نمی‌شود. سیستم سه حوزه‌ای (یوباکتریا، باستانیان و یوکاریوت‌ها)، همچنان پایه بسیاری از طبقه‌بندی‌های مدرن محسوب می‌شود اما جزئیات آن با کشف گونه‌های جدید و داده‌های مولکولی، به روز می‌گردد.

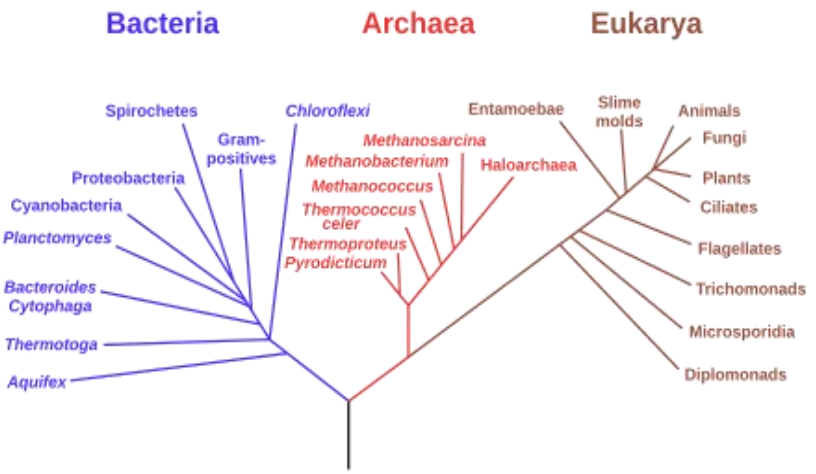
۱-۳ درخت فیلوژنی

درخت فیلوژنی[1] یا درخت تبارزایشی، یک نمودار انشعابی است که روابط تکاملی در میان گونه‌های مختلف زیستی یا حتی اشخاص را بر اساس شباهت‌ها و تفاوت‌های فیزیکی فیلوژنتیک (خصوصیات ژنتیک) نشان می‌دهد. ایده نمایش روابط تکاملی موجودات زنده به شکل درخت، به شکل تدریجی و در طول سالیان طولانی به شکل چند دانشمند مطرح و تکمیل شد. از مهم‌ترین دانشمندانی که در این راستا فعالیت مؤثری داشته‌اند می‌توان به چارلز داروین (۱۸۵۹)، برای پیشنهاد نام درخت زندگی و نیای مشترک موجودات زنده، ارنست هکل[2] (۱۸۶۶)، برای ابداع عنوان فیلوژنی و ترسیم درخت تکاملی برای گیاهان، جانوران و پروتیست‌ها و نهایتاً کارل ووز (۱۹۷۷تا ۱۹۹۰)، برای ترسیم درخت فیلوژنی مدرن با استفاده از توالی‌یابی 16SrRNA اشاره نمود.

جنس‌ها و گونه‌هایی که در درخت فیلوژنی به یکدیگر متصل هستند، از یک جد مشترک جدا شده‌اند. در یک درخت تکامل نژادی ریشه‌دار، هر گره نشان‌دهنده جد مشترکی برای فرزندان آن گره بوده و طول انشعاب‌ها نیز نشان دهندهٔ تخمین زمان است. این درختان در زمینه‌های مختلف زیست‌شناسی مانند زیست‌شناسی تکاملی، بیوانفورماتیک، سیستماتیک و فیلوژنتیک مقایسه‌ای کاربرد دارند. نگارهٔ صفحه بعد (شکل ۱) یکی از درخت‌های زندگی مشهور است که توسط ووز و همکاران، براساس آنالیز 16S rRNAترسیم شده‌است.

یکی از نکات جالب‌توجه در این نگاره، اشتقاق یوکاریوت‌ها از آرکه‌آ (باستانیان) است که موجوداتی پروکاریوت محسوب می‌شوند. این موضوع می‌تواند توضیحی بر شباهت‌های میان باستانیان و یوکاریوت‌ها از یک طرف و با پروکاریوت‌ها از طرف

1. Phylogenetic Tree
2. Ernest Haeckel



شکل ۱. درخت فیلوژنتیکی ترسیم شده توسط ویز و همکاران براساس آنالیز rRNA. درخت فیلوژنی یا تبارزایشی، نمایشی گرافیکی از روابط تکاملی بین گونه‌های مختلف جانداران است که بر اساس شباهت‌های ژنتیکی، مورفولوژیکی و سایر ویژگی‌های زیستی ترسیم شده است. این درخت مشخص می‌کند که چگونه گونه‌ها از یک نیای مشترک جهانی، تکامل یافته‌اند. در قسمت پائین درخت، ریشه منفردی وجود دارد که نشان دهندهٔ نیای مشترک تمام موجودات زنده است. برگ‌ها، نشان دهنده گونه‌های زنده یا منقرض شده هستند. طول شاخه‌ها نیز نشان‌دهنده زمان تکاملی یا میزان تغییرات ژنتیکی است. در این درخت سه حوزه اصلی مشاهده می‌شود که شامل باکتری‌ها، آرکه آ (باستانیان) و یوکاریوت‌هاست.

دیگر باشد. در حقیقت این موجودات از لحاظ فقدان هسته واقعی، پروکاریوت محسوب می‌شوند، اما از لحاظ برخی مکانیزم‌های تنظیم بیان ژن به یوکاریوت‌ها شباهت دارند. این کشف به‌وضوح و برخلاف تصورات قبلی، نشان داد که آرکه‌آ ازلحاظ تکاملی به یوکاریوت‌ها نزدیک‌ترند.

در ادامه سیستم سه حوزه‌ای تقسیم‌بندی موجودات زنده، به‌عنوان معتبرترین طبقه‌بندی سال‌های اخیر، که به‌وسیله ووز و همکاران (۱۹۹۰) پیشنهاد شده بررسی می‌گردد.

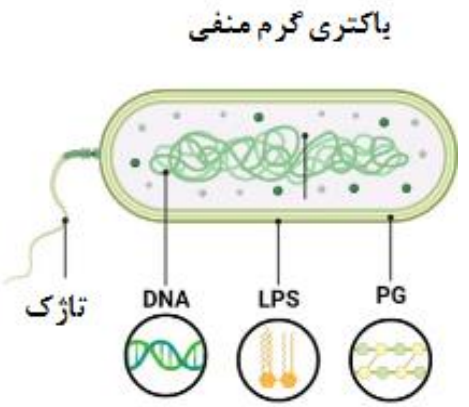
۱-۳-۱ حوزهٔ باکتری‌ها

به‌طور سنتی طبقه‌بندی باکتری‌ها براساس شباهت‌ها و تفاوت‌های مورفولوژیک آن‌ها انجام می‌گرفت. در سال ۱۹۶۲ موری[1] پیشنهاد نمود که قلمرو باکتریا با توجه به

1. Murry

ساختمان دیواره سلولی و وجود یا عدم آن به سه گروه اصلی Gracillicutes، Firmicutes و Mollicutes تقسیم شود.

گروه اول، Gracillicutes: باکتری‌های گرم[1] منفی، دارای دیواره سلولی پیچیده اما نازک هستند. دیواره سلولی آن‌ها از دو بخش (غشای خارجی و لایه پپتیدوگلیکان) تشکیل شده‌است. اغلب دارای تاژک، متحرک، فاقد اندوسپور، هوازی اجباری و یا بی‌هوازی اختیاری هستند. این باکتری‌ها در یک کلاس واحد به نام پروتوباکتریا[2] قرار می‌گیرند که خود از زیرکلاس‌های آلفا، بتا، گاما، دلتا و اپسیلون تشکیل شده‌است. از باکتری‌های مهم این گروه می‌توان به *Erwinia*، *Xanthomonas*، *Agrobacterium* و *Pseudomonas* اشاره نمود.



شکل ۲. تصویری ساده از دیواره سلولی یک باکتری گرم منفی (Gracillicutes). LPS، لایه پلی‌ساکاریدی اطراف سلول باکتری که جزء مهمی از غشای خارجی (outer membrane) باکتری‌های گرم منفی است؛ PG، لایه پپتیدوگلیکان؛ DNA، ماده ژنتیکی باکتری.

گروه دوم، Firmicutes: شامل باکتری‌های گرم مثبت است که دیواره سلولی آن‌ها نسبت به باکتری‌های گرم منفی ضخیم‌تر است. در این گروه لایه پپتیدوگلیکانِ دیواره سلولی ضخیم بوده اما غشا خارجی در دیواره دیده نمی‌شود. اغلب دارایِ

---

۱. آزمون گرم، یکی از آزمون‌های مهم مورد استفاده در شناسایی باکتری‌هاست. در این روش واکنش باکتری به رنگ‌های قلیایی مورد استفاده، ارزیابی شده و بر همین اساس دو گروه بزرگ باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت از یکدیگر متمایز می‌شوند.

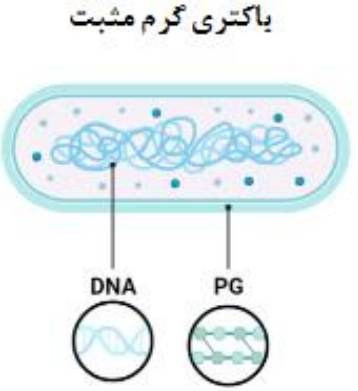
2. Proteobacteria

اندوسپور، بدون تاژک و غیرمتحرک هستند. در میان اعضای این گروه نیز، باکتری‌های هوازی اجباری، هوازی اختیاری و بی‌هوازی اجباری دیده می‌شود. از اعضای این گروه می‌توان به *Rathayibacter* و *Clavibacter* اشاره نمود.

این گروه از باکتری‌ها را براساس محتوای بازهای گوانین و سیتوزین ژنوم[۱] (G+C%) به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) کلاس Firmibacteria (low G+C%)، که محتوای گوانین- سیتوزین در ژنوم آن‌ها کمتر از ۵۰٪ است؛ به عبارت دیگر در این گروه از باکتری‌های گرم مثبت، میزان آدنین و تیمین در ژنوم بیشتر است. مانند *Clostridium, Bacillus*.

ب) کلاس Actinobacteria (High G+C)، که محتوای گوانین- سیتوزین آن‌ها بیش از ۵۰٪ کل بازهای آلی DNAی آن‌هاست؛ مانند *Arthrobacter,Clavibacter, Streptomyces*.



شکل ۳. نمایی ساده از دیواره سلولی یک باکتری گرم مثبت (Firmicutes). PG، لایه پپتیدوگلیکان؛ DNA، ماده ژنتیکی باکتری.

---

۱. بازهای آلی گوانین و سیتوزین به همراه آدنین و تیمین، چهار باز به‌کار رفته در ساختار DNA هستند. دو رشتهٔ DNA، به کمک پیوندهای هیدروژنی میان این بازهای آلی، به یکدیگر متصل‌اند. بازهای سیتوزین و گوانین با پیوند سه‌گانه و آدنین و تیمین با پیوند دوگانه به یکدیگر اتصال می‌یابند. از آنجا که اتصال سیتوزین گوانین قوی‌تر است؛ لذا هرچه مقدار آن در ژنوم بیشتر باشد، مولکول DNA از پایداری بالاتری برخوردار است. به همین دلیل در مطالعات مختلف، درصد گوانین- سیتوزین (محتوای GC) از اهمیت بالایی برخوردار است. به دو نوکلئوتیدی که با پیوند هیدروژنی به یکدیگر متصل شده‌اند جفت باز (bp) گفته می‌شود که به‌عنوان واحد اندازه‌گیری طول DNA یا RNA محسوب می‌شود.

گروه سوم، Mollicutes (هم‌نام Tenericutes): این گروه شامل خانواده‌ها و جنس‌های مختلفی است که وجه مشترک همه آن‌ها فقدان دیواره سلولی است. جنس‌های *Mycoplasma*، *Spiroplasma* و *Phytoplasma* از مثال‌های معروف این گروه هستند. کلونی‌های افراد این گروه در صورت رشد در محیط مصنوعی، حالت تخم‌مرغ سرخ شده[1] ایجاد می‌کنند. این باکتری‌ها حتی در محیط کشت کاملاً مناسب، قادر به سنتز دیواره سلولی نیستند. همچنین برخی از آن‌ها مانند *Phytoplasma*ها تاکنون در هیچ محیطی، کشت داده نشده‌اند.

۱-۳-۲ حوزهٔ باستانیان

این گروه از موجودات که به نام آرکه‌آ نیز شناخته می‌شوند، تک‌سلولی، فاقد اندامک و دارای دیواره سلولی هستند. این گروه مانند باکتری‌ها، پروکاریوت هستند. تفاوت‌ها و شباهت‌های زیادی میان باکتری‌ها و آرکه‌آ وجود دارد. به‌عنوان مثال اندازه و شکل ظاهری این موجودات در زیر میکروسکوپ بسیار شبیه به باکتری‌هاست. تولیدمثل آن‌ها مانند باکتری‌ها، به شکل غیرجنسی و با تقسیم دوتایی بوده و مانند اغلب باکتری‌ها دارای تاژک هستند که به حرکت آن‌ها در محیط‌های مایع کمک می‌کند. ریبوزوم در آن‌ها مانند باکتری‌ها از نوع کوچک (۷۰S) بوده اما شکل ظاهری آن با آنچه در باکتری‌ها مشاهده می‌شود، متفاوت است. برخلاف باکتری‌ها، در ساختار دیواره سلولی آرکه‌آ، پپتیدوگلیکان[2] وجود نداشته و پپتیدوگلیکان کاذب[3] به‌جای آن دیده می‌شود. از طرف دیگر شباهت‌هایی نیز میان گروه آرکه‌آ و یوکاریوت‌ها دیده می‌شود. به‌عنوان مثال نحوه بیان ژن و مکانیزم‌های تنظیم کنندهٔ آن‌ها شباهت زیادی به یکدیگر دارد. با توجه به مطالب ذکر شده مشاهده می‌شود گروه آرکه‌آ تعدادی از ویژگی‌های یوکاریوت‌ها و تعدادی از ویژگی‌های باکتری‌ها را نشان می‌دهند، به همین دلیل دانشمندان معتقدند این گروه، حدواسط باکتری‌ها و یوکاریوت‌ها قرار دارند.

افراد آرکه‌آ معمولاً در شرایط محیطی خاص، مانند چشمه‌های آب گرم، دهانه آتش‌فشان‌ها، محیط‌های بسیار سرد، در مجاورت مواد رادیواکتیو و سایر مکان‌هایی که

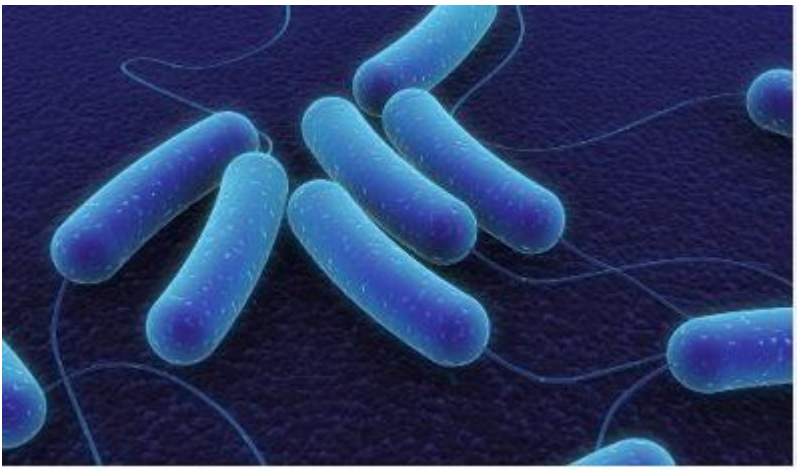
---

1. Egg Fried Type

۲. پپتیدوگلیکان یکی از بخش‌های مهم دیواره سلولی است که تنها در باکتری‌ها دیده می‌شود.

3 Pseudopeptidoglycan

موجودات دیگر قادر به رشد نیستند، زندگی می‌کنند. از افراد این گروه می‌توان به باکتری‌های حرارت دوست، نمک‌دوست و یا تجزیه‌کنندهٔ متان اشاره کرد.



شکل ۴. تصویری از یک نوع آرکه آی نمک دوست، *Halobacterium sp.*، در زیر میکروسکوپ. همانگونه که مشاهده می‌شود مورفولوژی میله‌ای شکل، تک سلولی بودن و وجود تاژک، ظاهر آن‌ها را بسیار شبیه به باکتری‌ها می‌کند.

۱-۳-۳ حوزهٔ یوکاریا

در این گروه از موجودات، سلول‌ها دارای هسته واقعی بوده، واجد هستک و غشای هسته، دارای دستگاه گلژی، میتوکندری، شبکه آندوپلاسمی و در مواردی کلروپلاست (مانند گیاهان) هستند. در سلول‌های آن‌ها دو نوع ریبوزوم کوچک و بزرگ مشاهده می‌شود؛ ریبوزوم موجود در سیتوپلاسم، بزرگ‌تر از پروکاریوت تا (۸۰S) بوده اما ریبوزومی که در میتوکندری و کلروپلاست آن‌ها یافت می‌شود از نوع ۷۰S است. یوکاریوت‌ها اغلب پرسلولی بوده و ژنوم آن‌ها به‌طور مشخصی بزرگ‌تر و تخصص‌یافته‌تر از پروکاریوت‌هاست. تقسیم سلولی به‌صورت میوز و میتوز در آن‌ها دیده می‌شود. تولیدمثل آن‌ها نیز از طریق جنسی یا غیرجنسی و در مواردی (مانند قارچ‌ها) به هر دو شکل صورت می‌گیرد. از گروه یوکاریوت‌ها می‌توان به گیاهان، قارچ‌ها، انسان و جانوران اشاره نمود.