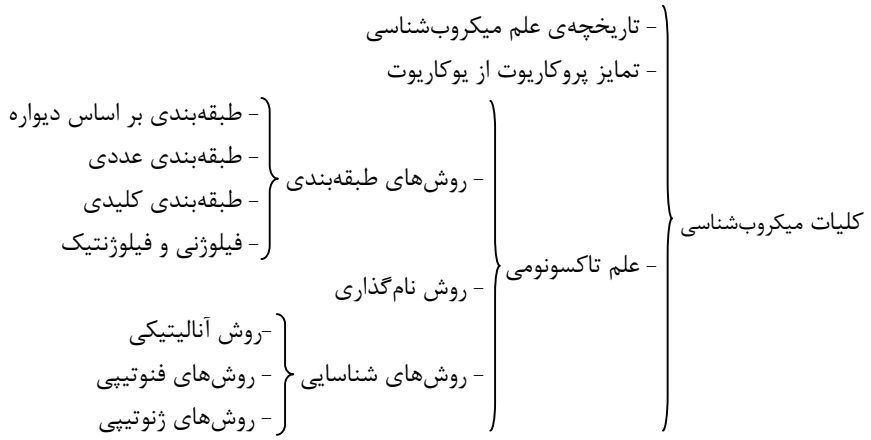
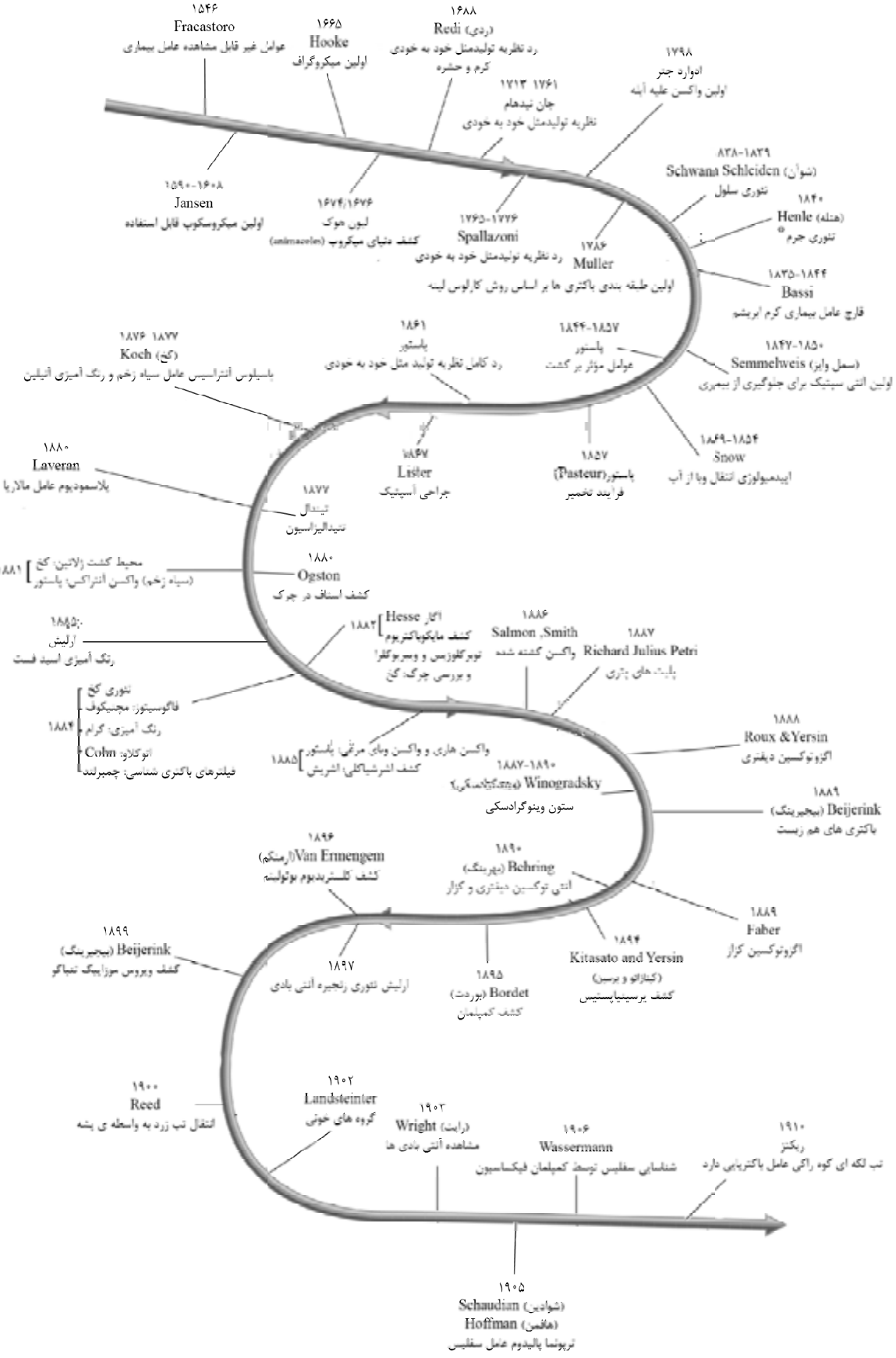
بخش اول:

میکروب‌شناسی عمومی

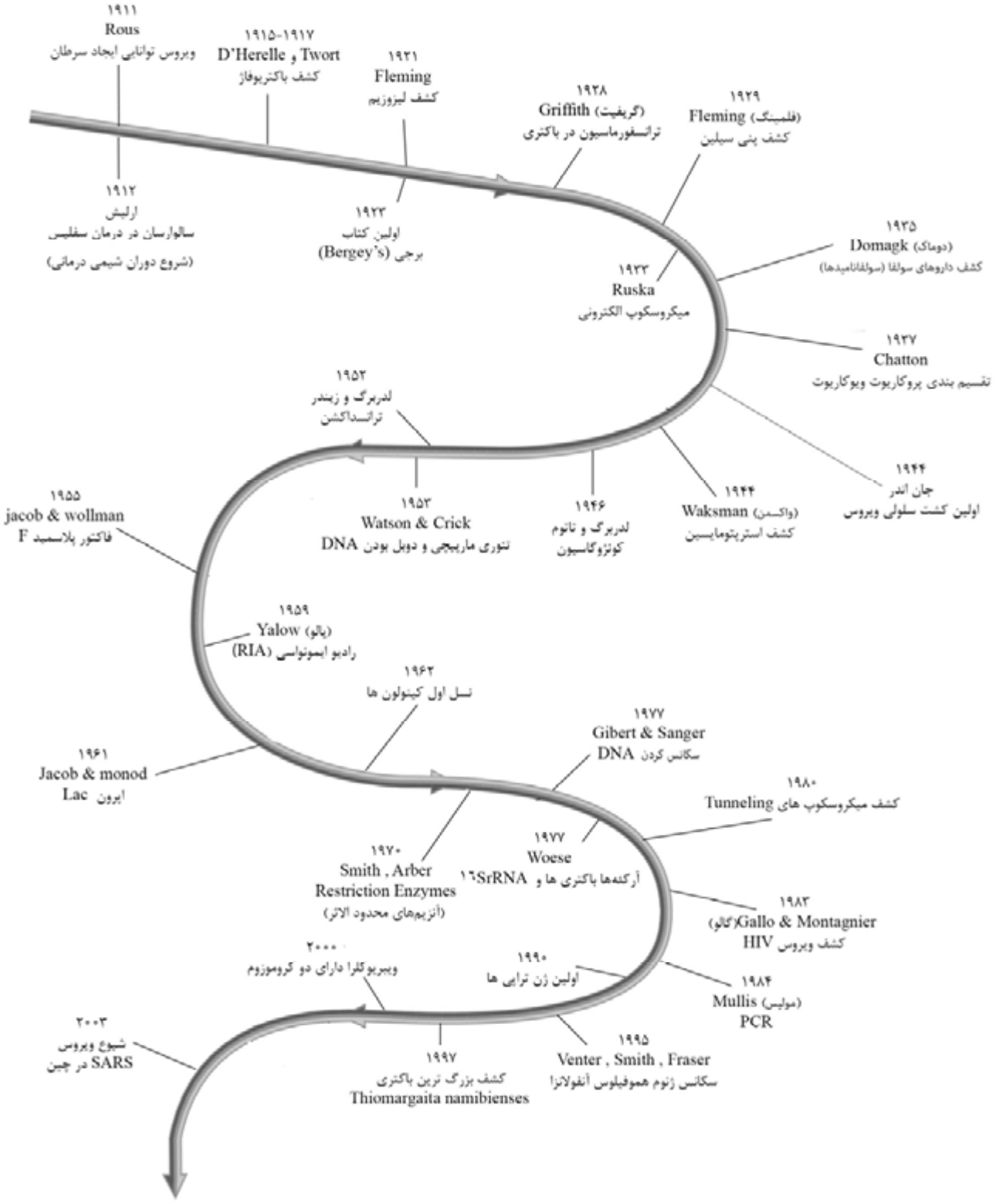
فصل اول

کلیات میکروب‌شناسی





* تئوری جرم: اثر میکروارگانیسم‌ها در بیماری‌های انسانی


۱۹۱۱
Rous
ویروس توانایی ایجاد سرطان
۱۹۱۵-۱۹۱۷
D'Herelle و Twort
کشف باکتریوفاژ
۱۹۲۱
Fleming
کشف لیزوزیم
۱۹۲۸
Griffith (گریفیت)
ترانسفورماسیون در باکتری
۱۹۲۹
Fleming (فلمینگ)
کشف پنی سیلین
۱۹۱۲
ارلیش
سالوارسان در درمان سفلیس
(شروع دوران شیمی درمانی)
۱۹۲۳
اولین کتاب
برجی (Bergey's)
۱۹۳۵
Domagk (دوماک)
کشف داروهای سولفا (سولفانامیدها)
۱۹۳۳
Ruska
میکروسکوپ الکترونی
۱۹۳۷
Chatton
تقسیم بندی پروکاریوت ویوکاریوت
۱۹۵۲
لدربرگ و زیندر
ترانسداکشن
۱۹۴۴
جان اندر
اولین کشت سلولی ویروس
۱۹۵۵
jacob & wollman
فاکتور پلاسمید F
۱۹۵۳
Watson & Crick
تئوری مارپیچی و دوبل بودن DNA
۱۹۴۶
لدربرگ و تاتوم
کونژوگاسیون
۱۹۴۴
Waksman (واکسمن)
کشف استرپتومایسین
۱۹۵۹
Yalow (یالو)
رادیو ایمونواسی (RIA)
۱۹۶۲
نسل اول کپنولون ها
۱۹۷۷
Gibert & Sanger
سکانس کردن DNA
۱۹۶۱
Jacob & monod
اپرون Lac
۱۹۸۰
کشف میکروسکوپ های Tunneling
۱۹۷۰
Smith , Arber
Restriction Enzymes
(آنزیم‌های محدود الاثر)
۱۹۷۷
Woese
آرکئه‌ها باکتری ها و ۱۶SrRNA
۱۹۸۳
Gallo & Montagnier(گالو)
کشف ویروس HIV
۲۰۰۰
ویبریوکلرا دارای دو کروموزوم
۱۹۹۰
اولین ژن تراپی ها
۱۹۸۴
Mullis (مولیس)
PCR
۲۰۰۳
شیوع ویروس
SARS در چین
۱۹۹۷
کشف بزرگ ترین باکتری
Thiomargaita namibienses
۱۹۹۵
Venter , Smith , Fraser
سکانس ژنوم هموفیلوس آنفولانزا

تفاوت سلول‌های یوکاریوت و پروکاریوت:

* اولین افتراق ← سایز کوچک تقریباً ۱μm و فقدان غشای هسته در پروکاریوت‌ها

ویژگی	پروکاریوت	یوکاریوت
۱- اندازه	۱−۵μ(μm)	> ۵μ
۲- هسته (مهم‌ترین تفاوت)	فاقد غشاء هسته	واجد غشاء هسته
۳- نوکلئوزوم (DNA واجد هیستون)	(ولی دارای پروتئین‌های شبه هیستونی)	+
۴- اندامک‌های واجد غشاء (میتوکندری- گلژی- شبکه آندوپلاسمی)	-	+
۵- ریبوزوم سیتوپلاسم	۷۰s { ۳۰s ← ۱۶SrRNA ; ۵۰s { ۵s ; ۲۳s } }	۸۰s { ۴۰s ← ۱۸SrRNA ; ۶۰s { ۵s ; ۵/۸s ; ۲۸s } }
۶- ریبوزوم ارگانلی	-	+(۷۰s)
۷- پپتیدوگلیکان	فقط یوباکتری‌ها +	-
۸- تاژک (انرژی تاژک)	یک رشته واجد pro فلاژلین PMF (نیروی محرکه پروتون) + (برای آلکالوفیل‌ها سدیم است)	۹+۲ (۹ جفت رشته به دور ۲ جفت رشته مرکزی) ATP
۹- قطر فلاژل کوچک‌ترین قطر سلول	۰/۰۱−۰/۰۲۳μ ۰/۲−۲μ	۰/۲μ ۲μ
۱۰- پینوسیتوز، فاگوسیتوز، آندوسیتوز حرکات آمیبی و گامتوژنز یا تشکیل زیگوت	- (جذب مواد محلول)	± (متغیر)
۱۱- تقسیم جنسی (میتوز و میوز)	-	+
۱۲- همانندسازی DNA	دو طرفه از نقطه ori	دو طرفه از نقاط مختلف
۱۳- هستک	-	+
۱۴- پلاسمید	برخی یوباکتری‌ها +	- (فقط در مخمر+)
۱۵- اسپور (دی‌پیکولینات کلسیم)	+ (برخی باکتری‌ها) { باسیلوس‌ها ; کلستریدیوم‌ها }	-
۱۶- توانایی تولید متان	آرکئه‌ها (متانوژن)	-
۱۷- سیکلوز (جریان سیتوپلاسمی)	-	+
۱۸- توانایی تثبیت ازت	+ { یوباکتری (بیش‌تر) ; آرکئه‌ها }	-
۱۹- میکروتوبول و میکروفیلامنت	- (فقط ترپونماپالیدوم+)	+
۲۰- غشاء سیتوپلاسمی	فاقد استرول (واجد هوپانوئید (شبه استرول) (فقط مایکوپلاسما استرول دارد)	واجد استرول
۲۱- تنفس	هوازی- بی‌هوازی- هوازی اختیاری- میکروآئروفیل- آئروتولرانت	هوازی (توسط میتوکندری)
۲۲- جایگاه کلروفیل	کروماتوفر (سیانوباکتر)	کلروپلاست
۲۳- تنوع متابولیکی	وسیع (چون باکتری‌ها در همه‌جا هستند)	محدود
۲۴- حساسیت به پنی‌سیلین	فقط یوباکتری (به‌جز مایکوپلاسما) (آرکئه‌ها فاقد پپتیدوگلیکان هستند)	-
۲۵- حساسیت به سیکلوهگزامید	R (مقاوم)	S (حساس)
۲۶- اسیدهای چرب غیراشباع	نادر	شایع
۲۷- ژنوم	DNA حلقوی ۲ رشته‌ای (هاپلوئید) با سوپرکویل(-) چپ‌گرد	DNA ۲ رشته‌ای خطی (دیپلوئید)
۲۸- گرانول‌های ذخیره‌ای	+	-

Taxonomy (Taxon)

این واژه شامل سه تعریف مهم علم میکروب‌شناسی است.
* در Taxonomy بهترین طبقه‌بندی به واسطه‌ی طبقه‌بندی Bergey's انجام می‌گیرد
(I) Classification (طبقه‌بندی)
(II) Nomenclature (نام‌گذاری)
(III) Identification (شناسایی)

طبقه بندی (I) (classification)

- امروزه طبقه‌بندی براساس الگوی روبرو انجام می‌گیرد:

$$\text{kingdom(domain)} \rightarrow \text{phyla} \rightarrow \text{class} \rightarrow \text{order} \rightarrow \text{family} \rightarrow \text{Genus} \rightarrow \text{species} \rightarrow \text{sub species} \rightarrow \begin{matrix}\text{Biotype}\\ \text{Serotype}\end{matrix}$$

- هرچه از سمت قلمرو به جنس و گونه می‌رویم خصوصیات اختصاصی‌تر و تشابهات بیش‌تر می‌شود.
- واژه‌ی بیوتیپ به خصوصیات بیوشیمیایی، سروتیپ به خصوصیات آنتی‌ژنیک باکتری اشاره دارد

روش‌های طبقه‌بندی باکتری

۱- طبقه بندی براساس دیواره (Bergey's)
- گراسیلی کیوتس ← باکتری‌های گرم منفی
- فرمی کیوتس ← باکتری‌های گرم مثبت
- مولی (تنری) کیوتس ← باکتری‌های فاقد دیواره (مایکوپلاسما)
- مندوزی کیوتس ← آرکئه‌ها

۲- طبقه‌بندی فیلوژنی
- بر اساس خصوصیات تکاملی باکتری
- براساس آنالیز کردن ماکرومولکول‌ها (پروتئین‌ها اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای چرب)
- این طبقه‌بندی به دلیل فقدان فسیل و عدم وجود تقسیم جنسی زیاد قابل بررسی نمی‌باشد.
واژه‌ی Semantic: اطلاعات موجود در ماکرومولکول‌های سلول باکتری

۳- طبقه‌بندی عددی (فنیک، نومریکال) ← چندین خصوصیت از باکتری در نظر گرفته می‌شود و به دو روش می‌باشد.
ضریب تشابه جاکارد: خصوصیت + موجود در دو باکتری

$$sj = \frac{a}{a+b+c}$$

ضریب تطابقی ساده: هم خصوصیت+ و هم خصوصیت غایب (-)

$$smm = \frac{a+d}{a+b+c+d}$$

- تست API نمونه‌ای از این طبقه‌بندی

۴- طبقه‌بندی کلیدی (Dichotomous keys) ← بررسی یک خصوصیت مهم و خاص یک باکتری (مثلاً وجود کوآگولاز در استافیلوکوک‌ها)

۵- طبقه‌بندی فیلوژنتیک
- این طبقه‌بندی بر اساس ناحیه‌ی 16SrRNA از زیر واحد ۳۰s ریبوزوم انجام می‌گیرد.
- این ناحیه (16SrRNA) به خاطر پایداری برای طبقه‌بندی بسیار با اهمیت و مناسب است.
- جداسازی آرکئه‌ها نیز بر اساس طبقه‌بندی فیلوژنتیک شکل گرفته است.

- انقلاب در طبقه‌بندی براساس 16 SrRNA به شکل (Bergey's)

C + G ratio (A)
- High C + G ← مایکوباکتریوم، نوکاردیا، کورینه باکتریوم، میکروکوک، استرپتومایسس، گاردنلا و بیفیدیوباکتریوم
- Low C + G ← مایکوپلاسما، اوره آپلاسما، استرپتوکوک، انتروکوک، استافیلوکوک، لاکتوباسیل، لیستریا، باسیلوس، کلستریدیوم و پپتواستریتوکوک‌ها

(B) پروتئوباکترها
- Gamma proteobacter ← فرانسیسلا، کوکسیلا، لژیونلا، سودوموناس، آسینتوباکتر، موراکسلا، ویبریو، آئروموناس، هموفیلوس، انتروباکتریاسه و ...
- Beta proteobacter ← بورخولدریا، آلکالی ژنز، بوردتلا، نایسریا، ایکنلا و ...
- Alpha proteobacter ← ریکتزیا، بروسلا و ...

(C) گروه فوزوباکتریوم (D) باکتریوئیدس گروه ← باکتریوئیدس، پره وتلا، فلاووباکتریوم، سایتوفاگا، کاپنوسایتوفاگا
(E) Eta group ← کمپلیوباکتر، هلیکوباکتر و ولینلا
(F) اسپیروکت گروه ← ترپونما و خانواده‌های وابسته
(G) پلانکتومیست‌ها ← کلامیدیاها

Taxonomy (Taxon)

II (nomenclature) نام‌گذاری

- نام‌گذاری در علم باکتری‌شناسی در حد خانواده ← جنس ← گونه حائز اهمیت است.
- برخی اوقات زیرگونه نیز حائز اهمیت می‌باشد.
- برای نام‌گذاری و نوشتن حرف اول جنس به صورت حرف بزرگ و سایرین با حروف کوچک نوشته می‌شود. برای مثال Salmonella typhi
- در سروتیپ بندی یک استثنا مشاهده می‌شود

Salmonella typhi serotype Typhi

- در نوشته و متون علمی باید اسم باکتری، کاملاً ایتالیک گردد.

III شناسایی باکتری‌های (identification)

(A) روش‌های بر پایه آنالیز
- به واسطه‌ی آنالیز نمودن ماکرومولکول‌ها انجام می‌پذیرد (پروتئین‌ها، لیپیدهای غشایی و...)
- دو روش مهم:
  - الکتروفورز چند کانونی (MLEE) ← استفاده از تحرک آنزیم‌ها در ژل ضربان‌دار 10^5 ← با مطالعه‌ی اسیدآمینه به ژنوم رسیده و آنالیز انجام می‌گیرد.
  - کروماتوگرافی ← دارای انواع متفاوت ← یک روش برای جداسازی مواد با عبور آن‌ها از یک فاز ساکن که اساس آن واکنش‌های شیمیایی است.

(B) روش‌های فنوتیپی
- به کلیه روش‌هایی اطلاق می‌شود که با چشم مسلح و غیرمسلح مشاهده می‌گردد.
- انواع روش‌های فنوتیپی:
  - میکروسکوپی ← به واسطه‌ی رنگ‌آمیزی و مشاهده‌ی رنگ‌پذیری و مرفولوژی باکتری
  - ماکروسکوپی ← بررسی کشت باکتری و مشاهده همولیز، شکل کلونی و...
  - بیوتایپ ← مشاهده‌ی واکنش‌های بیوشیمیایی باکتری ← قابل بررسی‌ترین روش آن تخمیر قندهای متفاوت است.
  - آزمایش اکسیداز و کاتالاز مثالی از این نوع طبقه‌بندی است.
  - سروتایپینگ ← روش‌هایی براساس واکنش‌های ایمنی و یافتن آنتی‌ژن‌های باکتری ← قابل بررسی‌ترین و ساده‌ترین واکنش‌های آنتی‌بادی- آنتی‌ژن در آگلوتیناسیون
  - باکتریوسین تایپ ← باکتریوسین‌ها و مواد ضد میکروبی است که از میکروب‌ها (باکتری‌ها) تولید می‌شود.
  - آنتی‌بیوگرام ← بررسی حساسیت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های متفاوت توسط روش‌های متفاوت
  - فاژتایپینگ ← بررسی حساسیت باکتری به فاژهای معین به واسطه‌ی انکلوزیون‌های سیتوپلاسمی (CPE)

(C) روش‌های بر پایه ژنوتیپ
- امروزه در باکتری‌شناسی مولکولی و حتی پزشکی مولکولی این روش‌ها دارای ارجحیت می‌باشد.
- روش‌های ژنوتیپی دارای بازه‌ی بسیار زیادی از تکنیک‌های متفاوت است.
- روش‌های ژنوتیپ:
  - ۱- درصد $(C+G)$ ← محتوای C+G یک باکتری یک مارکر مناسب در شناسایی پلی‌فازیک موجودات خصوصاً باکتری‌ها می‌باشد.
    - بیش‌ترین $C+G$ ← مایکوباکتریوم توبرکلوزیس (۷۵٪)
    - کم‌ترین $C+G$ ← کلستریدیوم تتانی (۲۷-۲۴٪)
  - ۲- وزن مولکولی ژنوم
  - ۳- هیبریداسیون DNA ← روش دورگه‌سازی به شباهت‌های بین گونه‌ای می‌پردازد. یک Gold standard در تعیین فاصله‌ی گونه‌های یک جنس به حساب می‌آید.
  - ۴- ریبوتایپینگ ← به منظور تعیین کردن توالی 16SrRNA باکتری می‌باشد.
    - * این روش امروز کارآمدترین روش در جداسازی و تقسیم‌بندی باکتری‌ها می‌باشد.
    - • ریبوتایپینگ در مایکوباکتریوم فاقد ارزش می‌باشد.
    - • براساس این طبقه‌بندی درخت فیلوژنتیکی رسم می‌شود که شامل دومین اصلی یوکاریوت، آرکئه و یوباکترها است.
  - ۵- آنالیز پلاسمید ← ایزوله پلاسمید از باکتری و بررسی سایز و تعداد آن بر اساس عبور آن‌ها از ژل آگارز

Taxonomy (Taxon)
- شناسایی باکتری‌های III (identification)
  - (C) روش‌های بر پایه ژنوتیپ
    - روش‌های ژنوتیپ
      - ۶- توالی‌یابی (Sequencing) ← روش سانگر امروزه نیز به عنوان روش مهم پابرجاست.
      - ۷- روش Maldi/TOF ← روش طیف‌سنجی جرمی به منظور بررسی توالی RNA و DNA و پروتئین
      - ۸- SNP ← Single nucleoti Polymorphism
      - ۹- RFLP ← بررسی ژنوم توسط آنزیم‌های محدود کننده (محدودالاثر) (Restriction Enzymes)
        - این طبقه‌بندی می‌تواند در پلاسمید و کروموزوم باشد. در این روش DNA توسط این آنزیم‌ها به ۲۰۰-۵ قطعه با سایز ۸۰۰kb-۱۰ شکسته می‌شود.
      - ۱۰- Finger Printing
      - ۱۱- روش‌های blotting
        - Southern Blot ← طراحی یک DNA Probe نشان‌دار برای ردیابی DNA (DNA- DNA hybrid)
        - بررسی پلی‌مورفیسم ژن rRNA توسط این روش انجام می‌گیرد.
        - Northern Blot ← طراحی یک DNA Probe برای ردیابی RNA (RNA- DNA hybrid)
        - Western Blot ← بررسی پروتئین‌های باکتری
      - ۱۲- روش‌های PCR
        - ۱- PCR ← تکثیر ژن خارج از باکتری به وسیله‌ی دماهای متفاوت و آنزیم Taq پلی‌مراز ← عبور مواد از ژل الکتروفورز برای بررسی وجود یا عدم وجود ژن (به واسطه بافرها)
        - ۲- Real time PCR ← تکمیل‌تر شده به واسطه‌ی طراحی یک Probe فلورسنت برای ایجاد نمودن رنگ فلورسنت که توسط دستگاه بررسی شده و به صورت نمودار ارائه می‌شود.
        - ۳- Reverse transcriptase PCR ← ساختن یک رشته cDNA از mRNA و بررسی cDNA (به واسطه‌ی آنزیم ترانس‌کریپتاز معکوس)
        - ۴- Nested PCR ← در این روش از دو جفت پرایمر استفاده می‌شود به منظور افزایش حساسیت PCR
        - ۵- multi-plex PCR ← چند جفت پرایمر اختصاصی برای چند هدف فاصله‌دار و شناسایی چند ژن هم‌زمان
        - ۶- ARMS PCR ← دو جفت پرایمر و شناسایی موتاسیون‌های نقطه‌ای
      - ۱۳- MLVA
        - بررسی توالی‌های تکراری ژنوم (VNTRs) این توالی‌های تکراری تحت عنوان Satellite DNA شناخته می‌شود که طولی تقریباً ۱۰۰bp-۱۰ دارد.
        - در زیر گروه‌بندی باسیلوس آنتراسیس، یرسینیاپستیس و فرانسیسلا تولارنسیس قابل استفاده است.
      - ۱۴- PFGE (الکتروفورز در ژل آگارز توسط میدان الکتریکی)
        - جداسازی قطعات بزرگ DNA (۱۰ مگاباز)
        - ساب‌تایپینگ تمام باکتری‌ها توسط این روش ممکن است.
        - کل کروموزوم در یک قالب (ژل) دیده می‌شود.
        - افتراق DNA خطی از حلقوی

فصل دوم

ساختمان باکتری

- ساختمان باکتری‌ها
  - سیتوپلاسم باکتری‌ها (I)
    - گرانول‌ها
    - ریبوزوم‌ها
    - کروموزوم باکتری
    - عناصر خارج کروموزومی (پلاسمیدها)
    - ساختارهای که نقش در اسکلت سلولی ایفا می‌نمایند.
  - غشای سیتوپلاسمی (II)
  - دیواره‌ی باکتری‌ها (III)
    - G^+ (گرام مثبت)
      - پپتیدوگلیکان ۴۰–۳۰ لایه
      - اسید تیکوئیک
        - اسید تیکوئیک دیواره‌ای (WTA)
        - اسید تیکوئیک غشایی (LTA)
        - اسیدتیکورونیک
    - G^- (گرام منفی)
      - پپتیدوگلیکان ۴–۳ لایه
      - فضای پری پلاسمیک
      - لیپوپروتئین
      - غشای خارجی
        - لیپوپلی‌ساکارید
        - پورین‌ها و پروتئین غیرپورینی
      - اتصالات بایر
  - ضمائم باکتریایی (IV)
    - پیلی ← عامل اصلی در اتصال
    - فلاژل ←عامل تحرک باکتری
    - کپسول و عناصر وابسته ← عامل اصلی در محافظت
    - اسپور ← فرم غیرفعال (تحمل شرایط سخت)، فرم مقاوم

- سیتوپلاسم باکتری
  - ۱) ماده ژنتیکی (کروموزوم)
    - متشکل از DNA حلقوی (circular) دو رشته‌ای سوپرکویل منفی که در E.coli دارای اندازه‌ی ۱mm می‌باشد.
    - DNA باکتری در ساختاری به اسم نوکلئوئید (nucleoid) وجود دارد که حاوی ۶۰٪ DNA، ۳۰٪ RNA و ۱۰٪ پروتئین است.
    - * نوکلئوتید به محل قرارگیری کروموزوم در سیتوپلاسم که شبه هسته است گفته می‌شود.
    - بار منفی کروموزوم به واسطه‌ی یون منیزیم (Mg^{2+})، پلی‌آمین‌ها خنثی می‌شود (در باکتری ساختارهای شبه هیستون نامیده می‌شود).
    - در باکتری‌ها غشای هسته دیده نمی‌شود به جز در خانواده‌ی پلانکتومیست‌ها که دارای غشای دولایه‌ای هسته می‌باشد.
    - ژنوم باکتری‌ها حاوی ۱۰million – ۰/۵۸ جفت باز می‌باشد و رنگ‌آمیزی اختصاصی آن (Fulgen) فولگن می‌باشد.
    - تمایزات
      - برخی باکتری‌ها دارای چند نسخه از DNA حلقوی‌اند مثل: ویبریوکلرا، بروسلاملی تنسیس، بورلیاها
      - برخی باکتری‌ها دارای کروموزوم خطی‌اند مثل: بورلیاها، استرپتوماسیس کوئلی‌کالر (S.coelicolor)

سیتوپلاسم باکتری
- ۲) ریبوزوم (کارخانه پروتئین‌سازی)
  - ریبوزوم باکتری‌ها دارای ضریب رسوب ۷۰s می‌باشد که از دو جزء ۵۰^{S} ,۳۰^{S} تشکیل شده است.
    - ۳۰s: ۲۱+۱۶Sr RNA پروتئین
    - ۵۰s: ۵SrRNA و ۲۳+۳۲ پروتئین
  - پایداری ریبوزوم به واسطه‌ی یون‌های منیزیم Mg^{2+} در درجه‌ی اول و K^{+} (پتاسیم) در درجه دوم انجام می‌گیرد.
  - هدف اصلی برای آنتی‌بیوتیک‌ها ریبوزوم (rRNA) می‌باشد.

* پروکاریوت‌ها فاقد اسکلت سلولی همانند آن‌چه در یوکاریوت‌ها دیده می‌شوند می‌باشند ولی ساختارهای مشابه دارند.

- ۳) ساختارهایی که نقش اسکلت سلولی دارند.
  - Ftsz: دارای نقشی مشابه توبولین می‌باشد که در باکتری‌ها و آرکئه‌ها دیده می‌شود.
  - MreB: دارای نقشی مشابه اکتین می‌باشد که در باسیلوس دیده می‌شود که در باسیلوس سرئوس معروف به MbI است ← نقش درتعیین شکل، تقسیم کروموزوم
  - SecY, minD ← نقش در تعیین شکل سلول، تنظیم تقسیم و تقسیم کروموزوم
  - Crescentin: در کالوباکتر دیده می‌شود.
- ۴) پلاسمید ← عناصر ژنتیکی خارج کروموزومی هستند که در مبحث ژنتیک به خوبی راجع به آن بحث می‌شود.
- ۵) گرانول‌ها
  - ساختارهای ذخیره‌ای به شکل نامحلول دارای دیواره‌ی نازک غیرواحد به اندازه‌ی $(۴-۲^{nm})$
  - این ساختارها در شرایط فقر مواد غذایی و pH اسیدی در فاز سکون رشد تولید شده و در فاز لگاریتمی رشد مصرف می‌شود.
- انواع گرانول‌ها
  - A) گرانول‌های پلی‌ساکاریدی (گلوسیدی): (گلیکوژن)
    - این گرانول‌ها در شرایط فقر فسفات (P) و نیتروژن (N) و افزایش کربن (C) کربوهیدرات تشکیل می‌گردد.
    - از جنس نشاسته و یا گلیکوژن بوده که رنگ‌آمیزی اختصاصی آن ید می‌باشد (آبی رنگ و قهوه‌ای رنگ)
    - این گرانول‌ها در خانواده‌ی انتروباکتریاسه به وضوح دیده می‌شود.
  - B) گرانول‌های چربی
    - در شرایط فقر گوگرد، فسفات و نیتروژن و افزایش کربن مواد چربی تولید می‌شود که رنگ‌آمیزی اختصاصی آن سودان سیاه می‌باشد.
    - معروف‌ترین این گرانول‌ها، گرانول‌های PHB (پلی‌هیدروکسی بوتیریک اسید) می‌باشد.
    - در باسیلوس به وفور یافت شده و در سودوموناس‌ها نیز به عنوان یک شاخص دیده می‌شود.
  - C) گرانول‌های متاکروماتیک
    - نام‌های دیگر آن: لوفلر، ولوتین، ارنست بابز
    - در شرایط افزایش فسفات غیرآلی تولید شده که رنگ‌آمیزی اختصاصی آن رنگ‌آمیزی آبی (متیلن بلو و تولوئیدن بلو) می‌باشد. ← در حضور رنگ آبی، قرمزرنگ
    - این گرانول‌ها یکی از مشخصات مهم کورینه باکتریوم دیفتری، گاردنلاواژینالیس، پرسینیاپستیس و بورخولدریا می‌باشد که منجر به نمای دو قطبی آن‌ها می‌گردد.
    - ⊛ این گرانول‌ها غیرارگانیک می‌باشند
  - D) گرانول گوگردی
    - در تیوباسیلوس‌ها منجر به احیای $H_۲S$ می‌شود.
    - ⊛ این گرانول نیز یکی از گرانول‌های غیرارگانیک می‌باشد.
  - E) گرانول کربوکسی زوم
    - نقش در تثبیت $CO_۲$ و در باکتری‌های اتوتروف (سیانوباکتری‌ها) حاوی آنزیم روبیسکو (ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز) است.
    - در باکتری‌های پاتوژن (بیماری‌زا) دارای اهمیت نمی‌باشد (دیده نمی‌شود)
  - F) گرانول‌های مگنتازوم
    - حاوی اکسیدآهن $(Fe_۳O_۴)$ بوده و در اسپریلیوم مگنتوتاکسیم دیده می‌شود.
    - ⊛ این گرانول نیز غیرارگانیک می‌باشد.
  - G) گرانول پارا اسپورال
    - از جنس پروتئین بوده و در باکتری‌های باسیلوس لنتی فرمیس، تورنجنسیس، اسفروئیدس دیده می‌شود.
    - به خاطر وجود این گرانول‌های سمی برای حشرات برای مبارزه با مالاریا از باسیلوس تورنژنسیس استفاده می‌شود.
  - H) گرانول سیانوفسین ← حاوی پلی‌پپتیدهایی از جنس آرژنین و آسپارتیک اسید می‌باشد.
  - I) گرانول فیکوبیلی زوم ←از جنس فیکوبیلین در سیانوباکتری‌ها بوده که برای جذب نور استفاده می‌شود.

ساختمان باکتری

غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها

- پذیرفته‌ترین مدل برای غشای سیتوپلاسمی مدل موزاییک مایع (Fluid mosaic structure) می‌باشد که توسط Sanger وNicholson ارائه شد.
- غشای سیتوپلاسمی در باکتری G^+, G^- یکسان می‌باشد. لایه‌ای متقارن متشکل از فسفولیپید، پروتئین و کربوهیدرات می‌باشد.
- غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها به دلیل فقدان استرول، فقدان کولین و فقدان اسفنگولیپیدها از غشای یوکاریوت‌ها متمایز می‌گردد. (مایکوپلاسماها توانایی جذب استرول به‌عنوان دیواره و کولین در ساختارهایی از استرپتوکوک پنومونیه دیده می‌شود).
- فسفولیپید غالب در غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها فسفاتیدیل اتانول آمین می‌باشد.
- یک تفاوت عمده در غشای سیتوپلاسمی آرکئه‌ها وجود ایزوپرونوئید، پیوندهای اتری و وجود اسیدهای چرب غیرمعمول است که این ویژگی را به آرکئه می‌دهد که در شرایط نمک ↑، pH ↓ و دمای ↑ رشد نمایند.
- غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها شامل دو نوع پروتئین می‌باشد:
  - * پروتئین‌های سراسری که ۸۰-۷۰٪ از پروتئین‌های غشا را شامل شده و اتصال محکم دارند.
  - * پروتئین‌های محیطی که ۳۰-۲۰٪ از پروتئین‌های غشاء را شامل شده و اتصال سست‌تری دارد.
- پروتئین‌های سراسری توسط دترجنت و پروتئین‌های محیطی توسط نمک جداسازی و تخلیص می‌گردد.
- عملکردهای غشای سیتوپلاسمی
  - وجود سیتوکروم‌ها و محل انجام فسفریلاسیون اکسیداتیو (محل تولید انرژی و تنفس باکتری)
  - نفوذپذیری انتخابی (مسیرهای متعدد برای ورود مواد مختلف به درون باکتری)
  - وجود پروتئین‌هایی برای انجام فرآیندهای کموتاکسی، آئروتاکسی و...
  - وجود ناقل لیپیدی (باکتوپرنول) (آندوکاپرنول) برای حمل پیش‌سازهای دیواره و ضمائم باکتری‌ها
  - خروج آنزیم‌های هیدرولیتیک
  - در دمای پایین افزایش سنتز اسیدهای چرب غیراشباع در غشای سیتوپلاسمی اتفاق می‌افتد
- مکانیسم ورود مواد به درون سلول باکتری
  - ۱) Passive transport
    - A) انتشار ساده (simple diffusion)
      - بی‌نیاز از انرژی و ناقل ← انتقال مواد بر اساس شیب غلظت
      - برای عبور مواد بسیار ساده مثل آب، O_2, CO_2، آمونیاک
      - سرعت و انتخاب در آن دخیل نمی‌باشد.
    - B) انتشار تسهیل شده (Facilitated diffusions)
      - بی‌نیاز از انرژی ولی دارای ناقل (پرمئاز) و انتخابی
      - این سیستم کم‌تر در پروکاریوت‌ها دیده می‌شود و مهم‌ترین ویژگی‌آن نسبت به انتشار ساده انتخاب آن است.
      - مثال‌هایی از این سیستم: انتقال گلیسرول در اشرشیا کلای و تعویض اجباری در ریکتزیاها
  - ۲) Active transport
    - A) انتقال به واسطه‌ی پروتئین انتقالی (اولیه) (سیستم حساس به شوک)
      - بیش‌تر در G^-ها دیده می‌شود. ولی در باکتری‌های G^+ مثل، باسیلوس و پنوموکوک هم دیده می‌شود.
      - در این سیستم ۲ATP مصرف شده و معروف‌ترین مثال آن سیستم هیستیدین پرمئاز اشرشیاکلای است.
      - در این انتقال سه پروتئین دخیل می‌باشد
        - ۱- پروتئین‌های اتصالی به فضای پری‌پلاسمیک در باکتری‌های G^- و پروتئین‌های اتصالی به سطح خارجی غشای سیتوپلاسمی در باکتری‌های G^+
        - ۲- پروتئین‌های پرمئاز (ناقل)
        - ۳- پروتئین‌های ATPase
      - این سیستم غالباً در باکتری‌های هوازی دیده می‌شود.
    - B) انتقال وابسته به یون (ثانویه) (Ion-Coupled)
      - این سیستم بی‌نیاز از ATP بوده و اغلب به واسطه‌ی پمپ PMF (شیب پروتون) استفاده می‌شود (در باکتری‌های هالوفیل از پمپ سدیم بهره برده می‌شود).
      - به دلیل مصرف پمپ PMF مواد مهار کننده پمپ PMF مثل دی نیتروفنل مانع از این فرآیند می‌شود.
      - این سیستم اغلب در هوازی‌ها دیده می‌شود.
      - این مسیر می‌تواند به سه طریق انجام گیرد
        - I) Uniport ← انتقال یک ماده مستقل
        - II) Symport ← همراهی یک یون با یک ماده (قند یا اسیدآمینه) (گلایسین، گالاکتوز، لاکتوز)
        - III) Anti port ← ورود یک ماده مصادف با خروج یک یون

- غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها
  - مکانیسم خروج مواد از باکتری
    - ۱) سیستم‌های معمولی (G^+, G^-)
      - A) سیستم Sec
        - عمومی‌ترین مسیر انتقال مواد به خارج از باکتری
        - در این سیستم
          - ۱- ATP مصرف شده
          - ۲- پروتئین‌ها unfold می‌باشد
          - ۳- سیگنال پپتید وجود دارد (یک ناحیه Nترمینال غنی از گلایسین)
          - SecA ← فعالیت ATPase
          - SecB ← عملکرد چاپرون
          - Sec Y, E, G, F, D ← دارای عملکرد کانالی می‌باشد.
          - ⊛دخیل در سیستم‌های اختصاصی: T۲,۵,SS (تیپ ترشحی ۲و۵)
      - B) سیستم SRP ← منبع انرژی GTP برای پروتئین‌های نوساز و طویل و هیدروفوب
      - C) سیستم tat (Twin Argnin Pathway)
        - انتقال پروتئین در عرض غشاء که در باکتری‌های G^- به تیپ ترشحی ۲(T_2SS) ختم می‌شود.
        - در این سیستم انرژی از PMF، پروتئین‌ها دارای fold و سیگنال پپتید وجود دارد.
    - ۲) سیستم‌های اختصاصی ترشحی
      - A) سیستم ترشحی تیپ ۱ (T_1SS)
        - این سیستم بدون وابستگی (غیروابسته) به سیستم Sec و ترشح در یک مرحله انجام می‌گیرد و توالی رهبر وجود ندارد.
        - پروتئین در این سیستم ترشحی باید در حالت unfold باشد، این سیستم در G^+ ها نظیر باسیلوس سوبتیلیس دیده می‌شود.
        - در این سیستم سه نوع پروتئین دخیل می‌باشد.
          - پروتئین‌های غشاء سیتوپلاسمی با عملکرد ATPase معروف به ABC
          - پروتئین‌هایی با عملکرد خارج نمودن مواد، معروف به OMP
          - پروتئین‌های کانالی معروف به mfp Protins (membrane fusion)
        - معروف‌ترین مثال‌های این سیستم ترشحی
          - α همولیزین اشرشیاکلای
          - آلکالین پروتئاز سودوموناس آئروژینوزا
          - آدنیلات سیکلاز بوردتلاپرتوزیس
          - متالوپروتئاز سراشیا مارسسنس
  - مکانیسم ورود مواد به درون سلول باکتری
    - ۳) جابه‌جایی گروهی (Group translocation)
      - نام‌های دیگر این مسیر ← سیستم PTS، فسفوترانسفراز، vectorial
      - انتقال گلوکز و مانوز
      - در این نوع انتقال شیب غلظت دخیل نمی‌باشد.
      - این سیستم متشکل از سه پروتئین ← پروتئین E_I . هیستیدین پروتئین و E_{II}
        - E_{IIA} ← کنترلی
        - E_{IIB} ← فسفریلاسیون سوبسترا
        - E_{IIC} ← پرمئاز
      - این مسیر اغلب در باکتری‌های بی‌هوازی دیده می‌شود و در این سیستم ۱، ATP مصرف شده و سوبسترا برای ورود فسفریله می‌شود (تغییر شکل سوبسترا).
      - منبع انرژی اصلی در این سیستم فسفوانول پیرووات (PEP) می‌باشد.
      - نقش در کموتاکسی و سرکوب کاتابولیک
    - ۴) انتقال مواد خاص (Special transport Processes)
      - اغلب برای گرفتن آهن که یک ماده‌ی ضروری برای باکتری‌ها می‌باشد.
      - آهن
        - در شرایط هوازی ← Fe^{3+} و غیرمحلول
        - در شرایط بی‌هوازی ← Fe^{2+} و محلول
      - این ساختارها به سه شکل
        - I) سیدروفور
        - II) کمپلکس‌هیدروکسامات
        - III) رسپتورهای اتصالی به ترانسفرین و لاکتوفرین میزبان