



سلاح‌های بیولوژیک و بیوانفورماتیک

مروری جامع از تاریخ تا چالش‌های مدرن و نقش فناوری‌های نوین در دفاع زیستی

تعریف و ماهیت تهدید



سلاح‌های بیولوژیک، استفاده عامدانه از ارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتری، ویروس، قارچ (یا سموم آن‌ها برای آسیب رساندن به انسان، حیوانات یا گیاهان است.

⚠ چالش استفاده دوگانه (Dual-Use)

همان دانشی که برای ساخت واکسن و درمان استفاده می‌شود، می‌تواند برای ساخت سلاح‌های مرگبار به کار رود. این بزرگترین چالش اخلاقی و امنیتی در زیست‌شناسی مدرن است.

تاریخچه تاریک سلاح‌های زیستی

۲۰۰۱

نامه‌های آنتراکس

ارسال پاکت‌های حاوی اسپور
سیاه‌زخم در آمریکا که آغازگر عصر
نوین دفاع زیستی شد.

۱۹۳۲-۱۹۴۵

واحد ۷۳۱ ژاپن

آزمایش‌های وحشتناک انسانی و
پخش کک‌های آلوده به طاعون در
چین.

جنگ جهانی اول

خرابکاری‌های آلمان

آلوده کردن اسب‌ها و دام‌های
متفقین به باکتری مسموم و
سیاه‌زخم.

۱۳۴۶ میلادی

محاصره کافا

پرتاب اجساد قربانیان طاعون با
منجنیق به داخل شهر توسط
مغول‌ها؛ یکی از اولین نمونه‌های
جنگ بیولوژیک.

طبقه‌بندی عوامل خطر (CDC)

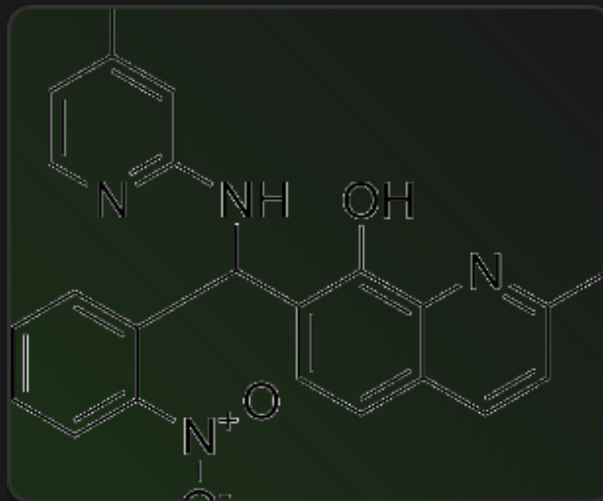
ویژگی‌ها	نمونه عوامل	میزان خطر	دسته (Category)
انتقال آسان، مرگ‌ومیر بالا، ایجاد وحشت عمومی	سیاه‌زخم، آبله، طاعون، بوتولیسم	بسیار بالا	Category A
پخش نسبتاً آسان، بیماری‌زایی متوسط	بروسلوز، رایشین، سم اپسیلون	متوسط	Category B
پاتوژن‌های مهندسی شده آینده با قابلیت دسترسی بالا	ویروس‌های نیپا و هانتا	نوظهور	Category C

عوامل بیولوژیک اصلی



آبله (Smallpox)

ویروسی که ریشه‌کن شده اما نمونه‌های آزمایشگاهی آن همچنان یک تهدید بالقوه ویرانگر هستند.



سم بوتولینوم

کشنده‌ترین سم شناخته شده برای بشر؛ مقدار بسیار ناچیزی از آن می‌تواند جمعیت زیادی را فلج کند.



سیاه‌زخم (Anthrax)

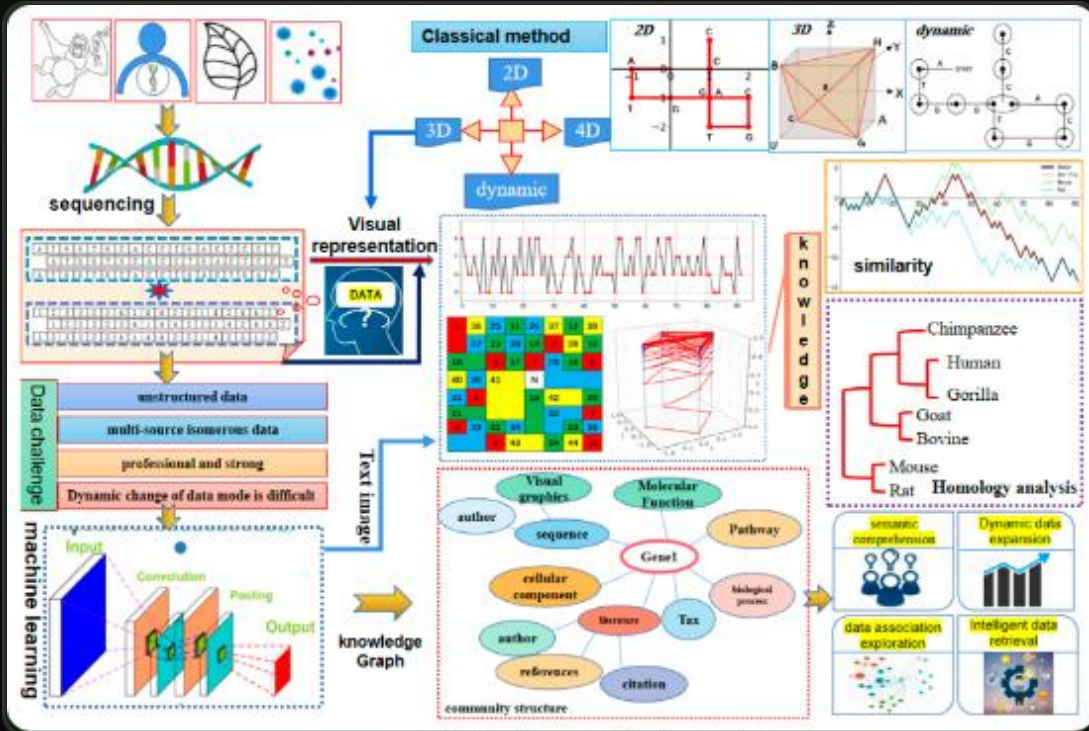
به دلیل پایداری اسپورها و قابلیت پخش به صورت آئروسول، خطرناک‌ترین باکتری محسوب می‌شود.

نقش بیوانفورماتیک: شناسایی سریع

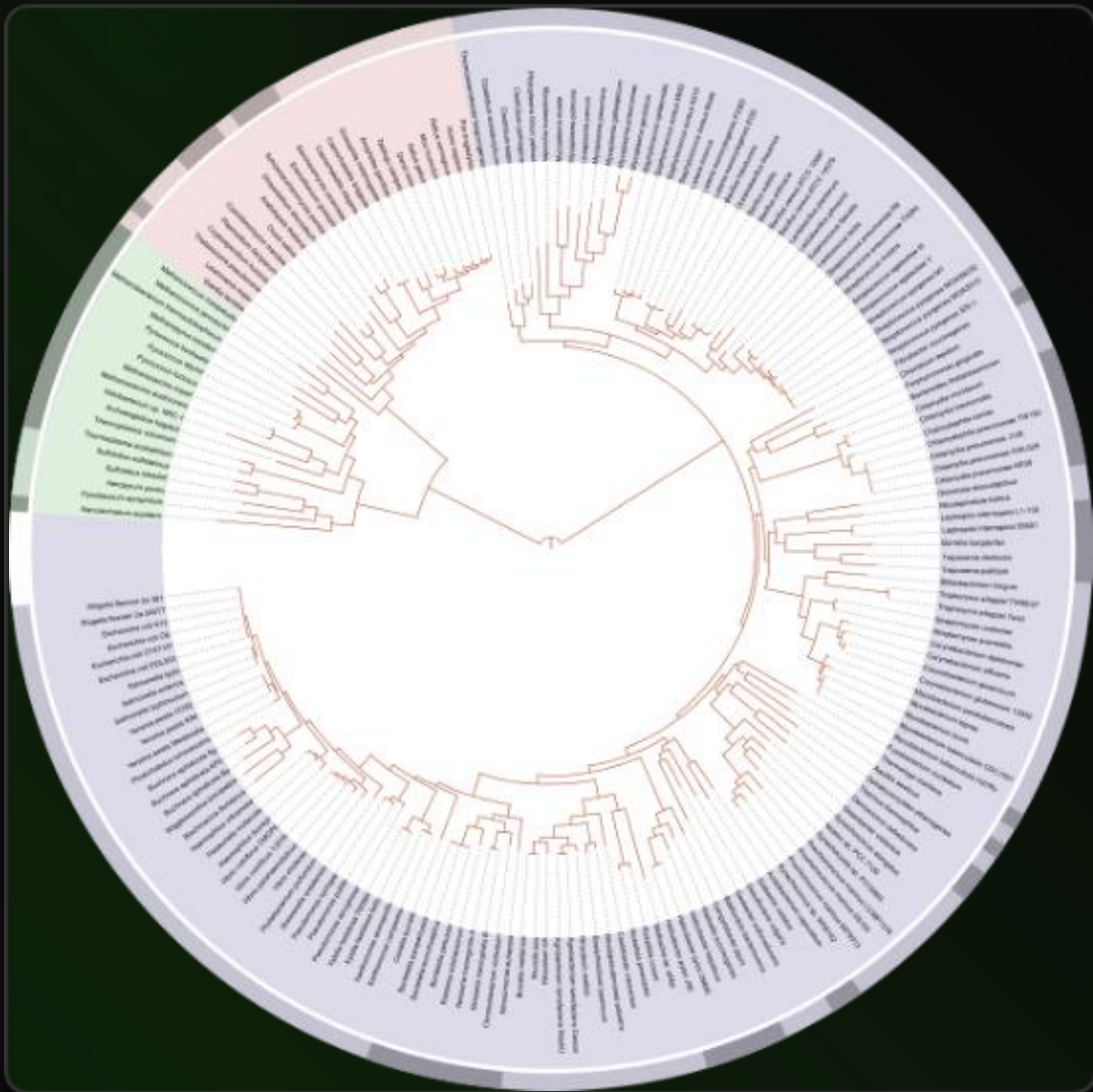
ژنومیکس و متاژنومیکس (Metagenomics)

در هنگام یک حمله بیولوژیک، زمان طلاست. روش‌های سنتی کشت میکروبی کند هستند.

- ✓ **توالی‌یابی نسل جدید (NGS):** خواندن سریع DNA تمامی موجودات در یک نمونه محیطی.
- ✓ **الگوریتم‌های تطبیق:** مقایسه قطعات DNA با پایگاه‌های داده (مثل GenBank) برای شناسایی پاتوژن ناشناخته.
- ✓ **تشخیص پاتوژن‌های مهندسی شده:** یافتن توالی‌های غیرطبیعی یا دستکاری شده.



بیوانفورماتیک جنایی (Microbial Forensics)



انتساب منشاء حمله (Attribution)

بعد از شناسایی عامل، سوال مهم این است: "این میکروب از کجا آمده است؟"

✓ **آنالیز فیلوژنتیک:** رسم درخت تکاملی برای فهمیدن اینکه سویه یافت شده به کدام سویه‌های آزمایشگاهی یا طبیعی شبیه است.

✓ **امضای ژنتیکی (SNP Analysis):** استفاده از تفاوت‌های تک نوکلئوتیدی به عنوان اثر انگشت دقیق باکتری.

✓ این روش در ردیابی منشاء حملات آنتراکس ۲۰۰۱ کلیدی بود.

تهدیدات نوین: زیست‌شناسی مصنوعی

پیشرفت‌های خیره‌کننده در مهندسی ژنتیک، مرزهای تهدید را جابجا کرده است. فناوری **CRISPR-Cas9** امکان ویرایش دقیق ژنوم را فراهم کرده است. خطرات بالقوه شامل:

- ✓ افزایش مقاومت دارویی پاتوژن‌ها.
- ✓ بازسازی ویروس‌های منقرض شده (مانند سنتز ویروس آبله اسبی).
- ✓ طراحی پاتوژن‌های کاملاً جدید که سیستم ایمنی بدن آن‌ها را نمی‌شناسد.

اقدامات متقابل و واکسن سازی معکوس

طراحی دارو

استفاده از مدل سازی ساختاری پروتئین (مانند AlphaFold) برای یافتن نقاط ضعف سموم و طراحی بازدارنده های دقیق مولکولی برای خنثی کردن اثر سلاح.

واکسن سازی معکوس

به جای کشت پاتوژن، از اطلاعات ژنومی برای پیش بینی آنتی ژن های سطحی استفاده می شود. این روش زمان تولید واکسن را از سال ها به ماه ها کاهش می دهد (مانند واکسن های mRNA).



کنوانسیون سلاح‌های بیولوژیک (BWC 1972)

«توسعه، تولید، انباشت و به دست آوردن عوامل بیولوژیک یا سموم که
توجیه صلح‌آمیز ندارند، ممنوع است».

با این حال، عدم وجود مکانیسم نظارتی دقیق و پیشرفت سریع تکنولوژی، پایبندی به این معاهده را با چالش روبرو کرده است.

آینده: هوش مصنوعی و دفاع زیستی



نظارت زیستی پیشگیرانه

آینده دفاع زیستی در گرو ادغام هوش مصنوعی و بیوانفورماتیک است:

✓ **سنسورهای محیطی هوشمند:** تشخیص آبی پاتوژن‌ها در هوا یا آب.

✓ **مدل‌سازی پیشرفته:** پیش‌بینی نحوه تکامل پاتوژن‌ها قبل از وقوع جهش.

✓ **پاسخ سریع:** طراحی خودکار آنتی‌بادی‌ها و واکسن‌ها توسط هوش مصنوعی در چند روز پس از شیوع.

سوال؟



o.mohebi@stu.ucs.ac.ir

Image Sources



<https://ih1.redbubble.net/image.293399789.7350/flat,750x,075,f-pad,750x1000,f8f8f8.u2.webp>

Source: www.redbubble.com



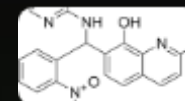
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Bacillus_anthraxis_Gram.jpg/1200px-Bacillus_anthraxis_Gram.jpg

Source: da.wikipedia.org



https://file.medchemexpress.com/product_pic/hy-18671.gif

Source: www.medchemexpress.com



https://png.pngtree.com/thumb_back/fh260/background/20240522/pngtree-ai-generated-bacteria-biology-science-technology-glow-in-the-dark-background-image_15691448.jpg

Source: pngtree.com image_15691448.jpg



https://www.mdpi.com/ijms/ijms-26-00477/article_deploy/html/images/ijms-26-00477-g001.png

Source: www.mdpi.com



https://www.digitalatlasofancientlife.org/wp-content/uploads/2017/06/600px-Tree_of_life_SVG-PublicDomain.svg_.png

Source: www.digitalatlasofancientlife.org

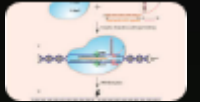


Image Sources



https://pub.mdpi-res.com/ijms/ijms-21-09604/article_deploy/html/images/ijms-21-09604-g001.png?1608192468

Source: www.mdpi.com



https://images.stockcake.com/public/9/d/c/9dcad5fc-927b-4231-89ab-d1bac4555aef_large/laboratory-safety-protocol-stockcake.jpg

Source: stockcake.com

