

## هک زیستی: معرفی، زمینه‌ها و کاربردها

شمس الضحی ابوالمعالی<sup>۱\*</sup> و کوثر شریفی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

<sup>۲</sup> ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، دانشکده زیست‌فناوری، گروه زیست‌فناوری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴

### چکیده

جنبش هک زیستی که از همگرایی زیست‌شناسی و هک پدید آمده است، جنبشی در حال رشد است که افراد را به مدیریت زیست‌شناسی خود تشویق می‌کند. این جنبش نمونه‌ای از مردمی کردن علم است که به افراد قدرت می‌دهد تا با رویکردی نوآورانه سلامت خود را ارزیابی و در خارج از چارچوب‌های نهادی سنتی در تحقیقات علمی شرکت کنند. این جنبش به وسیله پیشرفت‌های فناوری که آزمایش‌های ژنتیکی و زیستی را در دسترس‌تر می‌کند، تقویت شده است. جنبش هک زیستی طبیعت را با فناوری پیشرفته ترکیب می‌کند و ابزارهای بی نظیری برای خود بهینه‌سازی، افزایش طول عمر، و بهبود عملکرد ذهنی و فیزیکی ارائه می‌دهد که هر کدام افراد را قادر می‌سازد تا مرزهای توانایی انسانی را پشت سر بگذارند. در این مقاله مفهوم اصلی هک زیستی و زمینه‌های متنوع آن مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین ضمن بررسی مزایا و خطرات بالقوه این جنبش، نیاز به چارچوب‌های نظارتی پیرامون این جنبش نیز برجسته شده‌اند.

**واژگان کلیدی:** هک زیستی، زیست‌شناسی DIY، هک زیستی بیماری‌زا، هک عصبی، علوم شهروندی

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: [s.abolmaali@semnan.ac.ir](mailto:s.abolmaali@semnan.ac.ir)

### مقدمه

عبارت بهتر هک‌های زیستی کارهایی را که تا مدتی پیش فقط در دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها، صنعت و با حمایت‌های کلان دولتی و غیردولتی امکان‌پذیر بود، در خانه انجام می‌دهند. [۲۶، ۱۴]

درک وسعت هک زیستی به علت این که بسیاری از هک‌های زیستی در خانه فعالیت دارند و اطلاعاتی از این فعالیت‌ها منتشر نمی‌شود چالش برانگیز است. به طوری که اگر تجهیزات و دانش لازم در دسترس‌تر شود ممکن است علاقه‌مندان بیش‌تری هم پیدا کنند. در حال حاضر وب سایت و انجمن DIY Bio بیش از ۲۰۰۰ عضو در سراسر جهان دارد و برخی از این اعضا آزمایشگاه‌های مستقلی را از داخل خانه خود اداره می‌کنند [۲۷]، [DIYbio.org].

در این مقاله مروری "هک زیستی" از جنبه‌های مختلف ژنتیکی، بیماری، غذایی و عصبی مورد بررسی و کاربردها و آینده هک زیستی بیان می‌گردد.

**زمینه‌های هک زیستی و فناوری‌های به کار رفته در آن**

واژه هک زیستی یا "DIY Bio" (Do It Yourself Biology) که از همگرایی زیست‌شناسی و هک پدید آمده است، جنبشی در حال رشد است که افراد را به زیست‌شناختی خود تشویق می‌کند و ارتباط نزدیکی با جامعه علمی شهروندی دارد. باور این جنبش بر این است که افراد باید آزادی کاوش و اصلاح زیستی خود، به منظورهای بهبود، پیشگیری از بیماری یا صرفاً از روی کنجکاوی را داشته باشند [21].

ظهور هک زیستی پس از تمایل به مردمی و قابل دسترس کردن علم، منجر به شکل‌گیری یک جامعه بزرگ از هک‌های زیستی شده که روش‌ها، تجربیات و یافته‌های خود را آشکارا در بسترهای شبکه‌های بین‌المللی به اشتراک می‌گذارند و فرهنگ همکاری و علم با منبع باز را می‌پرورند. هک‌های زیستی، اغلب با آموزش علمی غیر رسمی، در گستره‌ای از فعالیت‌ها از آزمایش بر روی خود با اصلاح رژیم غذایی و شیوه زندگی تا تلاش برای مهندسی ژنتیک و اصلاح بدن با فناوری شرکت دارند. به

## هک زیستی ژنتیکی

هک زیستی ژنتیکی به آزمایش‌های ژنتیک مولکولی اشاره دارد که خارج از آزمایشگاه‌های سنتی نهادی توسط افرادی با سطح آموزش علمی کم انجام می‌گیرد. نمونه‌ای از فعالیت‌های این حوزه می‌تواند تزریق مواد ژنتیکی به خود به منظور تغییر فاکتورهای رشد عضلانی یا درمان بیماری‌هایی مانند HIV یا تبخال باشد. همچنین اصلاح ژنتیکی باکتری‌ها و مخمرها و گیاهان و جانوران از نمونه‌های هک زیستی ژنتیکی می‌باشد [۲۷].

جوزیا زاینر پایه‌گذار شرکت "The Odin" و برایان هانلی، میکروبیولوژیست دکترا، از جمله افرادی هستند که با ژن درمانی انسانی DIY آزمایش کرده‌اند. همچنین دیوید ایشی از آزمایشات خود در زمینه مهندسی ژنتیکی ماستیف‌ها با واسطه اسپرم برای رسیدگی به بیماری‌های ژنتیکی شایع گزارش داده است و سباستین کوچیویا یک اتاق خواب اضافی را به آزمایشگاهی برای مهندسی گیاهان و استفاده از CRISPR تبدیل کرده است [۱۱]. این پیشگامان اولیه روندهایی را ایجاد می‌کنند که ممکن است مسیری را برای هکرهای زیستی آینده نشان دهد. در حالی که هک زیستی ژنتیکی نویدبخش نوآوری است اما خطراتی مانند نگرانی‌های ایمنی و احتمال آسیب عمومی را به همراه دارد و چارچوب نظارتی پیرامون هک زیستی ژنتیکی هنوز به طور کامل توسعه نیافته‌اند. در ایالات متحده هر گونه استفاده از فناوری CRISPR در انسان تحت حوزه نظارتی FDA قرار می‌گیرد. با این حال FDA هنوز تمام قدرت نظارتی خود را در این زمینه اعمال نکرده است و بسیاری از هکرهای زیستی از مقررات FDA بی‌اطلاع هستند [۲۲].

برخی از جوامع هک زیستی دستورالعمل‌های اخلاقی و آیین‌نامه‌های ایمنی خود را اتخاذ کرده‌اند. به عنوان مثال گروه بین‌المللی ساخت ژن، گروهی از تامین‌کنندگان تجاری مواد ژنتیکی، آیین‌نامه‌هایی را برای غربالگری سفارش‌ها و راستی‌آزمایی مشتریان در تلاش برای جلوگیری از استفاده‌های خطرناک توسعه دادند. برای مثال، آیین‌نامه‌ها می‌توانند تامین‌کنندگان را ملزم به رد سفارش‌های تحویل به آدرس خانه یا صندوق‌های پست کنند. همینطور مسابقه بین‌المللی ماشین‌های مهندسی ژنتیکی "iGEM" الزام تطابق با یک برنامه سخت‌گیرانه اخلاق زیستی را در اجرا دارد [۲۷].

## هک عصبی

هک عصبی شامل استفاده از روش‌ها و ابزارهای مختلف برای تقویت توانایی‌های شناختی، خلق و خو و عملکرد کلی ذهنی است. جامعه هک عصبی دارای فرهنگ خودآزمایی و خودسازی است و کاربران اغلب روش‌ها و نتایج خود را به صورت برخط گزارش و به یک پایگاه دانش جمعی اضافه می‌کنند. این زمینه از هک زیستی همپوشانی قابل توجهی با جنبش خود کمی (QS) (Quantified self movement) دارد که در آن افراد به جنبه‌های مختلف زندگی خود برای افزایش بهره‌وری و عملکرد توجه دارند. از روش‌ها و ابزارهای پرکاربرد در این حوزه می‌توان روش تحریک جریان مستقیم جمجمه‌ای (tDCS) (Transcranial Direct-Current Stimulation)، استفاده از نوتروپیک‌ها، دستگاه‌های EEG و دستکاری محور روده-مغز را مثال زد [۲۵].

**تحریک جریان مستقیم جمجمه‌ای (tDCS):** این روش شامل اعمال جریان الکتریکی کم به پوست سر برای تحریک فعالیت مغز است که عوارض جانبی شایعی از جمله گزگز، سردرد، سرگیجه و قرمزی پوست را به همراه دارد [۱۹].

**نوتروپیک‌ها:** داروهای هوشمند یا مکمل‌های غذایی دارای مجوز و فاقد مجوز هستند که با هدف تقویت عملکرد شناختی عرضه و جامعه قابل توجهی در مورد استفاده از آنها در محیط‌های مجازی با یکدیگر بحث و تبادل نظر دارند [۱۶].

**دستگاه‌های EEG:** این دستگاه‌ها که ابتدا برای برنامه‌های مهار ذهن استفاده می‌شدند، اکنون برای بهینه‌سازی مغز و سلامتی در دسترس بوده، فعالیت مغز را اندازه‌گیری و به کاربران بازخورد می‌دهند [۲۵].

**دستکاری محور روده-مغز:** این روش شامل دستکاری مسیر پیام‌رسانی دو طرفه بین میکروبیوم روده و دستگاه عصبی و توسعه فعال‌کننده‌های میکروبی/دارویی هدفمند عملکرد عصبی می‌باشد. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که میکروبیوم روده نقش مهمی در تنظیم عملکرد طبیعی دستگاه اعصاب مرکزی (CNS) (Central nervous system) دارد. باکتری‌های روده با روش‌های مختلفی از جمله عصب واگ، اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه (SCFAs) (Short-

نظیر افسردگی، اضطراب، اوتیسم، آلزایمر و صرع هستند. با این حال تحقیقات در این زمینه در مراحل اولیه بوده و برای توسعه درمان‌های ایمن و موثر، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

(chain fatty acids)، سایتوکاین‌ها و انتقال دهنده‌های عصبی با دستگاه اعصاب مرکزی ارتباط برقرار می‌کنند [۱۲].

در جدول ۱ خلاصه‌ای از راهبردهای درمانی جدید که ارتباط روده و مغز را هدف قرار می‌دهند آمده است. این راهبردها دارای مزایایی در درمان انواعی از اختلالات

جدول ۱: راهبردهای درمانی که ارتباط روده و مغز را هدف قرار می‌دهند [۲]

مزایای بالقوه	سازوکار عمل	توضیحات	راهبرد درمانی
در درمان انواع اختلالات عصبی و روانپزشکی از جمله افسردگی، اضطراب، اوتیسم و بیماری آلزایمر موثر هستند.	می‌توانند به بازگرداندن تعادل باکتری‌های روده و بهبود سلامت روده کمک کنند.	میکروارگانسیم‌هایی زنده شبیه باکتری‌های مفیدی هستند که به طور طبیعی در روده یافت می‌شوند.	پروبیوتیک‌ها
سلامت روده را بهبود می‌بخشد و التهاب را کاهش می‌دهد و همچنین به عنوان یک درمان بالقوه برای انواع اختلالات عصبی و روانی مورد بررسی قرار می‌گیرند.	به رشد باکتری‌های مفید در روده کمک می‌کنند.	فیبرهای غیر قابل هضم که باکتری‌های مفید روده را تغذیه می‌کنند.	پری بیوتیک‌ها
به عنوان یک درمان بالقوه برای انواع اختلالات عصبی و روانپزشکی نمود بررسی قرار گرفته است.	می‌تواند به بازگرداندن تعادل باکتری‌های روده و بهبود سلامت روده کمک کند.	روشی که در آن مدفوع از یک اهدا کننده سالم به روده فرد مبتلا به میکروبیوم بیمار پیوند زده می‌شود.	پیوند میکروبیوتای مدفوع FMT (Fecal microbiota transplant)
ممکن است مزایایی برای افسردگی مقاوم به درمان، صرع و درد مزمن ارائه دهد. رابطه بین افسردگی، التهاب، سندرم متابولیک و بیماری قلبی ممکن است با واسطه عصب واگ باشد.	التهاب را کاهش می‌دهد، خلق و خو را بهبود می‌بخشد و میکروبیوتای روده را تعدیل می‌کند. تحریک عصب واگ دهانه چپ رحم یک درمان تأیید شده برای صرع و افسردگی مقاوم به درمان است.	دستگاه غیر تهاجمی یا کاشته شده با جراحی که عصب واگ را تحریک می‌کند و بر فعالیت مغز و عملکرد روده تأثیر می‌گذارد.	تحریک عصب واگ VNS (Vagus Nerve Stimulation)

راهبردهای موثر جدیدی برای مبارزه با عفونت‌های باکتریایی و توسعه درمان‌های مبتنی بر هک زیستی بیماری‌زا ایجاد کرد [۹].

#### راهبردهای *Listeria monocytogenes* برای دستکاری رونویسی میزبان

*L. monocytogenes* از یک رویکرد چند وجهی برای براندازی دفاع میزبان و ایجاد یک محیط مساعد برای بقا و تکثیر خود استفاده می‌کند. یکی از راهبردهای کلیدی آن

#### هک زیستی بیماری‌زا (Pathogenic biohacking)

هک زیستی بیماری‌زا به راهبردهایی اشاره دارد که توسط بیماری‌زها به نفع خود و در طول عفونت برای دستکاری و تأثیر بر فرآیندهای سلولی میزبان استفاده می‌شود. این راهبردها شامل تغییر بیان ژن میزبان و پاسخ‌های ایمنی از طریق روش‌های مختلف است. با استفاده از باکتری *Listeria monocytogenes* به عنوان یک بیماری‌زای مدل برای دستکاری پاسخ‌های رونویسی میزبان می‌توان

تطبیقی، سرکوب کموکاین‌هایی نظیر CXC و کاهش نفوذ نوتروفیل‌ها و کاهش گیرنده  $\text{IFN-}\gamma$  در ماکروفاژها شود [۹].

### فعال‌سازی رونویسی میزبان ناشی از فاکتور بیماری‌زا

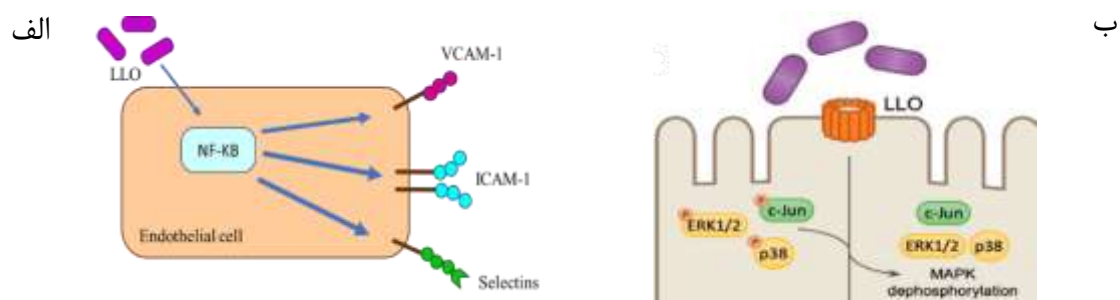
*L. monocytogenes* همچنین دارای مجموعه‌ای از فاکتورهای بیماری‌زا و پروتئین‌های باکتریایی است که مستقیماً به بیماری‌زایی کمک می‌کنند. این عوامل نه تنها تهاجم و بقای باکتری را تسهیل می‌کنند، بلکه به طور فعال مسیرهای پیام‌رسانی میزبان و فاکتورهای رونویسی را دستکاری می‌کنند و بر پاسخ رونویسی میزبان به عفونت تأثیر می‌گذارند. لیستریولیزین O (LLO) (Listeriolysin O)، اینترنالین B (InlB) (Internalin B) و پروتئین چسبندگی لیستریا (LAP) (Listeria adhesion protein) نمونه‌ای از این فاکتورها هستند که ساز و کار عملکرد این عوامل در شکل‌های ۱، ۲، ۳ آمده است [۹].

LLO می‌تواند باعث فعال‌سازی سریع  $\text{NF-}\kappa\text{B}$  در سلول‌های اندوتلیال شود که منجر به تنظیم مولکول‌های چسبندگی و سایتوکاین‌های خاص می‌شود. با این حال، LLO همچنین می‌تواند باعث دفسفوریلاسیون و غیرفعال‌سازی پروتئین‌های  $\text{MAPK p38}$  و  $\text{ERK1/2}$  شود و از فعال‌سازی فاکتورهای رونویسی پایین‌دستی مانند  $\text{c-Jun}$  جلوگیری کند و به طور بالقوه پاسخ‌های التهابی را کاهش دهد [۹].

شامل دستکاری رونویسی میزبان است. این باکتری از طریق ترکیبی از سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم به این امر دست می‌یابد و پاسخ‌های ایمنی ذاتی و تطبیقی را هدف قرار می‌دهد که در اینجا به شناخته شده ترین آنها اشاره می‌شود [۹].

### القای اینترفرون نوع I توسط *L. monocytogenes*: یک شمشیر دو لبه

از اینترفرون‌های نوع I، اینترفرون  $\beta$ ، که از اجزای حیاتی پاسخ ضد ویروسی می‌باشند، یک آبشار از رویدادهای پیام‌رسانی را فعال می‌کنند که منجر به بیان ژن‌های تحریک شده با اینترفرون (ISGs) (Interferon-stimulated genes) می‌شوند. ژن‌های تحریک شده با اینترفرون طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های ضد ویروسی، از جمله مهار تکثیر ویروسی و ترویج فعال‌سازی سلول‌های ایمنی را برعهده دارند. با این حال، نقش اینترفرون در عفونت‌های باکتریایی پیچیده‌تر است و می‌تواند برای میزبان مفید و یا مضر باشد. اینترفرون  $\beta$  می‌تواند به پاکسازی برخی از عفونت‌های باکتریایی کمک کند اما القای آن توسط *L. monocytogenes* نشان دهنده یک شمشیر دو لبه است که در نهایت از القای آن برای بقا و بیماری‌زایی خود کمک می‌گیرد. القای اینترفرون  $\beta$  باعث آپوپتوز سلول T و تضعیف پاسخ ایمنی



شکل ۱- الف. فعال‌سازی  $\text{NF-}\kappa\text{B}$  توسط LLO، ب: سازوکار اثر LLO بر روی مسیر MAPK [۹]

فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی منجر به بقا مانند فعال‌سازی  $\text{NF-}\kappa\text{B}$ ، روند مرگ سلولی را مسدود و بقای درون‌سلولی باکتری را تقویت می‌کند.

InlB یک پروتئین سطحی است که با اتصال به گیرنده  $\text{c-MET}$  میزبان مسیرهای پیام‌رسانی متعددی از جمله آبشارهای  $\text{PI3K}$ ،  $\text{AKT}$ ،  $\text{JNK}$  و  $\text{MAPK}$  را فعال می‌کند و با

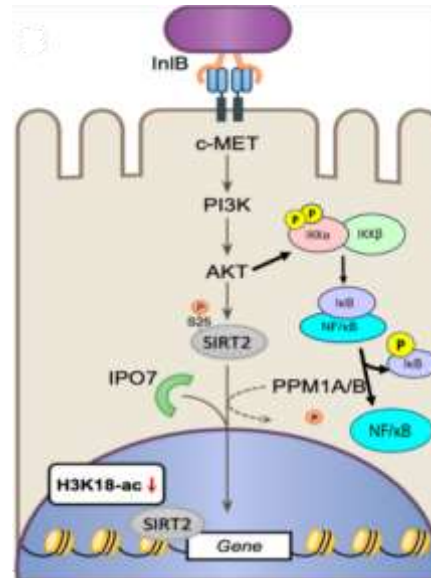
InIB همچنین می‌تواند باعث پخش مجدد SIRT2 در کروماتین میزبان شود. این تغییر منجر به استیل‌زدایی H3K18 و تأثیر بالقوه بر بیان ژن‌های دخیل در پاسخ‌های ایمنی می‌شود [۹].

بسته به زمینه خاص و مسیرهای پیام‌رسانی هدف، پاسخ‌هایی که توسط این عوامل بیماری‌زا ایجاد می‌شوند، می‌توانند دفاع میزبان را تقویت یا سرکوب کنند. به عنوان مثال، فعال‌سازی NF- $\kappa$ B ناشی از LLO در ابتدا می‌تواند سلول‌های ایمنی را به خدمت گیرد، اما مهار بعدی پیام‌رسانی MAPK می‌تواند پاسخ التهابی را کاهش دهد یا اینکه فعال‌سازی مسیرهای حامی بقا توسط InIB می‌تواند بقای درون سلولی *L. monocytogenes* را تقویت نماید، اما تأثیر آن بر تغییرات فراژنتیکی می‌تواند بیان ژن را به روش‌هایی تغییر دهد که به نفع بیماری‌زا باشد. در نتیجه، توانایی این باکتری برای دستکاری رونویسی میزبان گواهی بر سازگاری قابل توجه و ظرفیت آن برای براندازی دفاع میزبان است. با هدف قرار دادن مسیرهای پیام‌رسانی کلیدی و فاکتورهای رونویسی، *L. monocytogenes* می‌تواند یک محیط مساعد برای بقا و تکثیر خود ایجاد کند که تأییدی بر تعامل پیچیده بین میزبان و بیماری‌زا در طول عفونت می‌باشد [۹].

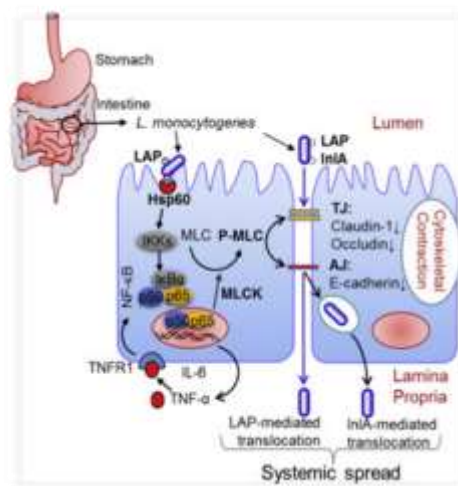
### دستکاری فراژنتیک: یک راهبرد بلند مدت

تغییرات پروتئین‌های هیستون در میزبان سلول‌های یوکاریوتی مانند کلیدهای خاموش و روشن مولکولی در تنظیم بیان ژن نقش دارند و پروتئین فعال‌کننده LntA باکتری *L. monocytogenes* و سم LLO تولید شده توسط این باکتری می‌توانند با تأثیرگذاری بر فرآیندهای فراژنتیکی میزبان خود، امکان نظارت بر القا و سرکوب پاسخ ایمنی سلول میزبان را فراهم کنند، که این توانایی در بهینه‌سازی شرایط برای مراحل خاص عفونت یا تاگ‌سازی (colonization) بافت‌های خاص حائز اهمیت است [۹].

سم LLO تولید شده توسط *L. monocytogenes* می‌تواند تغییرات کلی در استیل‌اسیون و فسفوریلاسیون هیستون



شکل ۲: تأثیر InIB بر رونویسی میزبان [۹ با تغییر]

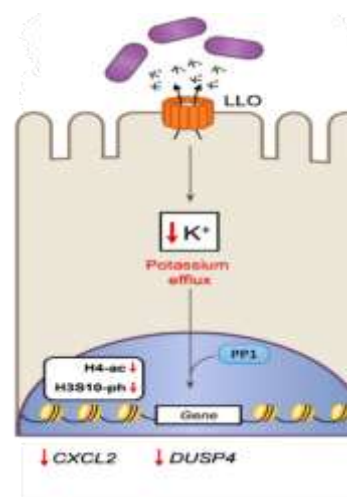
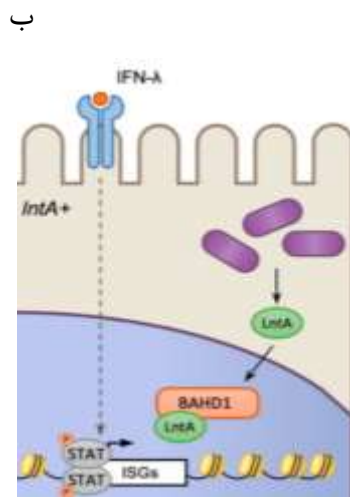


شکل ۳: تأثیر LAP بر رونویسی میزبان [۸]

LAP یک پروتئین سطحی است که چسبندگی و انتقال *L. monocytogenes* را از طریق اپیتلیوم تقویت می‌کند. پروتئین LAP به باکتری‌ها کمک می‌کند تا به دیواره روده بچسبند و از آن عبور کنند، که گامی مهم در ایجاد عفونت است. LAP به پروتئین Hsp60 میزبان متصل می‌شود، که پیام‌رسانی NF- $\kappa$ B پیش التهابی را فعال می‌کند. درحالی که

ایجاد کند که منجر به سرکوب ژن‌های خاص درگیر در پاسخ التهابی نظیر CXCL2 و DUSP4 می‌شود (شکل ۵-الف).  
 پروتئین فعال‌کننده LntA باکتری *L. monocytogenes* هم می‌تواند با اتصال به BAHD1 باعث حذف مهاران از روی

ایجاد کند که منجر به سرکوب ژن‌های خاص درگیر در پاسخ التهابی نظیر CXCL2 و DUSP4 می‌شود (شکل ۵-الف).  
 پروتئین فعال‌کننده LntA باکتری *L. monocytogenes* هم می‌تواند با اتصال به BAHD1 باعث حذف مهاران از روی



شکل ۵-الف. تاثیر سم LLO بر پروتئین‌های هیستون، ب. تاثیر پروتئین LntA بر پروتئین‌های هیستون [۹]

سطح دیگری از پیچیدگی، تأثیراتی است که *L. monocytogenes* بر میکروبیوم روده می‌گذارد. پیشرفت‌های اخیر نشان داده است که میکروبیوم روده می‌تواند با تعدیل تغییرات فرارونویسی و فراژنتیکی میزبان بر هموستاز و ایمنی روده تأثیر بگذارد. از آنجا که *L. monocytogenes* به تولید باکتریوسین‌هایی معروف است که باکتری‌های دیگر را می‌کشد تا عفونت خود را گسترش دهد، ممکن است با هدف قرار دادن باکتری‌های خاصی از میکروبیوم روده میزبان، بر پروفایل رونویسی میزبان خود نیز تأثیر بگذارد [۹].

#### کاربردهای درمانی هک زیستی بیماری‌زا

با درک بهتر ارتباط بین بیماری‌های عفونی باکتریایی و فراژنوم، فرصت‌هایی برای کاربردهای درمانی ایجاد می‌شود. حذف سریع تغییرات فراژنتیک ناشی از باکتری‌ها در میزبان ممکن است از عفونت‌های مزمن و برخی سرطان‌ها جلوگیری کند [۴]. همچنین درمان‌های ضد

تحقیقات نشان داده‌اند که، حذف BAHD1 یا بیان پیوسته LntA، بیماری‌زایی باکتری را کاهش می‌دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد که LntA نقش مهمی در تنظیم دقیق پاسخ‌های رونویسی وابسته به IFN-λ در نقاط خاص در طول فرآیند عفونت دارد [۹].

#### پیچیدگی هک زیستی بیماری‌زا

در عفونت، میزبان به حفظ تعادلی پیچیده بین مبارزه با عفونت و کاهش آسیب جانبی، می‌پردازد. اینترنالین B به عنوان یک عامل بیماری‌زای کلیدی مثالی واضح از پیچیدگی هک زیستی بیماری‌زا می‌باشد. این پروتئین در تعامل با گیرنده سلول میزبان Met باعث ایجاد آبشارهای پیام‌رسانی تقویت‌کننده بقا و تکثیر می‌شود. به این صورت می‌تواند با فراهم کردن محیطی برای تکثیر و گسترش به باکتری کمک کند. در این موارد، تشخیص اینکه آیا یک پاسخ رونویسی عمده به عنوان وسیله‌ای برای دستکاری میزبان فعال می‌شود یا خیر، دشوار است [۹].

هک زیستی زنجیره غذایی به استفاده از دانش بیوتکنولوژی برای مقابله با بحران جهانی غذا با ایجاد محصولاتی مقاوم در برابر تغییرات آب و هوایی، بیماری‌ها و ماندگاری طولانی‌تر اشاره دارد. هدف این رویکرد نوآورانه افزایش امنیت و پایداری غذایی با توسعه گیاهانی که می‌توانند با شرایط متغیر محیطی سازگار شوند و همچنین کاهش ضایعات مواد غذایی است [۲۴].

از مهم‌ترین و جدیدترین فناوری‌ها در این حوزه فناوری CRISPR است. دانشمندان با ویرایش ژنوم گیاهان به کمک فناوری CRISPR، محصولاتی را تولید کرده‌اند که به خشکی، تنش شوری و گرمای شدید مقاوم بوده و آنها را با شرایط متغیر محیطی تطبیق می‌دهند. همچنین از فناوری CRISPR می‌توان برای توسعه محصولات زراعی با کاهش حساسیت به آسیب و فساد استفاده شود و در نتیجه ضایعات مواد غذایی و ردپای کربن مرتبط با آنها را کاهش داد [۲۴].

مقررات ارگانسیم‌های ویرایش شده توسط CRISPR در سطح جهانی متفاوت است، برخی از کشورها با آنها متفاوت از GMO های معمولی رفتار می‌کنند که بر پذیرش و استفاده از آنها در کشاورزی تأثیر می‌گذارد [۲۴].

### کاربردهای هک زیستی

در زمینه‌های متعدد هک زیستی کاربردهای متنوعی از هک زیستی برای اهداف متفاوت وجود دارد. به عنوان مثال هکرهای زیستی از تغییرات ژنتیکی، تغییرات رژیم غذایی و تنظیم شیوه زندگی، از جمله مکمل‌ها و نوتروپیک‌ها برای بهینه سازی سلامتی، افزایش طول عمر و مقابله با بیماری‌های مرتبط با پیری استفاده می‌کنند. ورزشکاران و علاقه‌مندان به تناسب اندام نیز روش‌های هک زیستی، از جمله تغییرات ژنتیکی و تغییرات رژیم غذایی، برای بهبود رشد، استقامت و زمان بهبودی ماهیچه‌ها را بکار می‌بندند [۱۳،۳]. فناوری پوشیدنی نیز به هکرهای زیستی کمک می‌کند تا معیارهای فیزیولوژیکی مانند تغییرات ضربان قلب و الگوهای خواب را نظارت و راهبردهای تمرین و بازیابی را برای عملکرد بهتر تنظیم کنند [۲۱،۲۵].

علاوه بر موارد فوق هکرهای زیستی می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های ژنتیکی، برنامه‌های بهداشتی شخصی سازی شده‌ای ایجاد کنند که به استعدادهای ژنتیکی خاص یا

میکروبی، که به جای کشتن مستقیم باکتری‌ها، فاکتورهای بیماری‌زایی آنها را هدف قرار می‌دهد، می‌تواند رویکردی برای توسعه درمانی باشد که احتمال کمتری برای مقاومت دارویی دارد [۵،۶].

علاوه بر موارد فوق پروتئین‌های موثر باکتریایی، که برای تعدیل پاسخ‌های ایمنی میزبان تکامل یافته‌اند، برای درمان بیماری‌های التهابی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند [۲۳]. همچنین تحقیقات در حال انجام در مورد بیماری‌زاهای مهندسی ژنتیکی شده که قادر به رساندن داروها به هدف و عبور دادن آنها از موانع سلولی و دفاع ایمنی هستند از دیگر کاربردهای درمانی هک زیستی بیماری‌زا می‌باشند [1].

### هک زیستی سلامتی

به نوعی از هک زیستی اشاره دارد که دانش بیوشیمی متابولیک را برای به حداکثر رساندن طول عمر به کار می‌گیرند. در واقع به وسیله روش‌های موجود در این حوزه سامانه پیام‌رسانی انرژی بدن را می‌توان برای غلبه بر بیماری‌های مزمن، افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها، بهینه سازی متابولیسم و حمایت از سلامت هک کرد [۱۵،۷]. بدن انسان متشکل از سخت افزارها (ژن‌ها) و نرم افزارهایی (اعصاب) است که تحریک آنها توسط محرک‌های خاص و تحت شرایط خاصی، می‌تواند باعث برنامه ریزی مجدد بدن و یادگیری رفتار متفاوت شود [۲۰].

به عنوان مثال از آنجایی که بیماری‌های مزمن مانند بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان و دیابت نوع ۲ با افزایش سطح انسولین (Hyperinsulinemia) مرتبط هستند که آنتی‌اکسیدان‌ها را کاهش می‌دهد و تنش اکسیداتیو را افزایش می‌دهد، فراهم کردن شرایطی از قبیل کتوزیس، انسولین پایین، محدودیت کالری و بتا هیدروکسی بوتیرات بالا برای مقابله با این قبیل بیماری‌ها مفید است. رژیم روزه داری و یا مصرف غذاهایی که تولید انسولین را به حداقل می‌رسانند سامانه پیام‌رسانی انرژی بدن را هک کرده و به سبب کاهش کاتابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها و مدیریت تنش اکسیداتیو عملکرد میتوکندری را بهبود می‌بخشد و سلامت سلولی و طول عمر را ارتقا می‌دهد [7].

### هک زیستی زنجیره غذایی

گفت‌وگوی آگاهانه‌تر در مورد مزایا و خطرات هک زیستی را فراهم می‌نمایند [۱۷، ۱۰]. همچنین تشویق کارگزاری‌های نظارتی به تعامل با جوامع هک زیستی برای درک بهتر شیوه‌ها و دیدگاه‌های آنها می‌تواند منجر به مقررات مؤثرتری شود که نگرانی‌های بهداشت عمومی را با میل به نوآوری متعادل می‌کند [۲۷].

### نتیجه‌گیری

کاوش در هک زیستی یک جنبش چند وجهی را نشان می‌دهد که چشم‌انداز آزمایش‌های زیستی و مدیریت سلامت شخصی را تغییر می‌دهد. همانطور که افراد به طور فزاینده‌ای درگیر هک زیستی ژنتیکی، هک زیستی بیماری‌زا و هک عصبی می‌شوند، پیامدهای آن برای سلامت و جامعه بارزتر می‌شود.

انگیزه‌های این جنبش متنوع است، از میل به خودمختاری شخصی و خودسازی تا شک و تردید نسبت به نهادهای علمی سنتی را شامل می‌شود. این تنوع نشان‌دهنده گرایش‌های اجتماعی گسترده‌تر به سمت فردگرایی و مدیریت سلامت خودگردان است. این جنبش کاربردهای عملی گسترده‌ای در سلامت و تندرستی، بهبود عملکرد و پزشکی شخصی دارد. همانطور که افراد با تغییرات ژنتیکی، نوتروپیک‌ها و درمان‌های جایگزین آزمایش می‌کنند، توانایی راه‌حل‌های نوآورانه برای چالش‌های سلامتی همچنان در حال رشد است.

علیرغم وجود تعهد، هک زیستی نگرانی‌های اخلاقی و ایمنی قابل توجهی را ایجاد می‌کند. فقدان نظارت رسمی در بسیاری از فعالیت‌های هک زیستی، خطرات مرتبط با رضایت آگاهانه، سلامت عمومی و احتمال تغییرات مضر را به همراه دارد و پرداختن به این نگرانی‌ها با تکامل جنبش حیاتی خواهد بود. در واقع آینده‌ی هک زیستی احتمالاً با پیشرفت‌های زیست فناوری، چارچوب‌های نظارتی در حال تحول و تغییر ادراک عمومی شکل خواهد گرفت و با ادامه رشد این جنبش، گفتگو و همکاری مداوم بین بیوهکرها، تنظیم‌کننده‌ها و جامعه علمی برای عبور از پیچیدگی‌ها و چالش‌های پیش رو امری ضروری خواهد بود.

نگرانی‌های سلامتی می‌پردازد. این رویکرد امکان مدیریت موثرتر شرایط سلامت و بهینه‌سازی راهبردهای سلامتی را فراهم می‌کند. به طور کلی بسیاری از هکرهای زیستی درگیر علوم شهروندی، انجام آزمایش‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی هستند که به جامعه علمی گسترده‌تر کمک می‌کند. این رویکرد مردمی امکان ظهور دیدگاه‌های متنوع و ایده‌های نوآورانه را مهیا می‌کند و اغلب به سؤالاتی می‌پردازد که تحقیقات سنتی ممکن است نادیده گرفته باشند [۱۷، ۲۲].

### آینده‌ی هک زیستی

شرایط اضطراری جوامع را وادار می‌کند تا کارایی‌ها و نوآوری‌هایی را در نظر بگیرند که در غیر این صورت ممکن است انگیزه یا وقت لازم را نداشته باشند. سرعت و مقیاس همه‌گیری کووید-۱۹ شکنندگی و نارسایی نظام‌های بهداشتی را در سراسر جهان برجسته کرده است. این مشکلات حاکی از اجتناب‌ناپذیر بودن تحقیقات غیر نهادی (Non-establishment)، از جمله تحقیقات DIY، و نقش بالقوه‌ای که چنین تحقیقاتی می‌تواند در برآوردن نیازهای بهداشت عمومی در طول همه‌گیری‌ها و در شرایط عادی ایفا کنند هستند [۲۲]. از طرفی توسعه مداوم ابزارهای زیست فناوریانه مقرون به صرفه و کاربرپسند احتمالاً دامنه هک زیستی را افزایش خواهند داد. همانطور که فناوری‌های ویرایش ژنوم مانند CRISPR در دسترس‌تر می‌شوند، افراد فرصت‌های بیشتری برای انجام آزمایش‌ها و اصلاح مواد ژنتیکی بدون نیاز به آموزش یا منابع گسترده خواهند داشت [۱۰، ۲۵].

نوآوری‌ها در زیست فناوری، از جمله دستگاه‌های توالی‌یابی ژنومی قابل حمل و نرم افزارهای پیشرفته بیوانفورماتیک، آزمایش‌های پیچیده‌تری را تسهیل می‌کند که هکرهای زیستی را قادر می‌سازند تا داده‌های ژنتیکی را تجزیه و تحلیل کنند و آزمایش‌ها را با دقت و کارایی بیشتر انجام دهند [۱۰]. پذیرش اجتماعی هک زیستی نیز احتمالاً با درگیر شدن افراد بیشتری در این شیوه‌ها تکامل خواهد یافت. پویای آموزش عمومی ممکن است به ابهام‌زدایی از هک زیستی و رفع نگرانی‌های مربوط به ایمنی و اخلاق کمک کند. این آموزش‌ها امکان

## منابع

1. Abo-Al-Ela, Haitham G. 2020. "Are Pathogens Completely Harmful or Useless?" *ACS Chemical Neuroscience* 11 (16): 2388–90. <https://doi.org/10.1021/acchemneuro.0c00035>.
2. Alzubide, Saeed, and Muslih Alhalafi. 2024. "The Gut Brain Connection." *Journal of Behavioral and Brain Science* 14 (03): 103–17. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2024.143008>.
3. Ammar Abdulrahman Jairoun, The application of biohacking in obesity medicine: New perspectives on obesity's socioeconomic effects and disease mechanisms, *Obesity Medicine*, Volume 54, 2025, 100586, ISSN 2451-8476, <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2025.100586>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451847625000065>)
4. Bierre, Hélène, Mélanie Hamon, and Pascale Cossart. 2012. "Epigenetics and Bacterial Infections." *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine* 2 (12). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a010272>.
5. Brannon, John R., and Maria Hadjifrangiskou. 2016. "The Arsenal of Pathogens and Antivirulence Therapeutic Strategies for Dismantling Them." *Drug Design, Development and Therapy* 10: 1795–1806. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S98939>.
6. Cole, Joby, Paul Morris, Mark J. Dickman, and David H. Dockrell. 2016. "The Therapeutic Potential of Epigenetic Manipulation during Infectious Diseases." *Pharmacology and Therapeutics* 167: 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2016.07.013>.
7. Cooper, Isabella D., Yvoni Kyriakidou, Lucy Petagine, Kurtis Edwards, and Bradley T. Elliott. 2023. "Bio-Hacking Better Health—Leveraging Metabolic Biochemistry to Maximise Healthspan." *Antioxidants* 12 (9). <https://doi.org/10.3390/antiox12091749>.
8. Drolia, Rishi, Shivendra Tenguria, Abigail C. Durkes, Jerrold R. Turner, and Arun K. Bhunia. 2018. "Listeria Adhesion Protein Induces Intestinal Epithelial Barrier Dysfunction for Bacterial Translocation." *Cell Host and Microbe* 23 (4): 470–484.e7. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.03.004>.
9. Eldridge, Matthew J G, and Pascale Cossart. 2020. "Pathogenic Biohacking: Induction , Modulation And," 1–21.
10. Elgabry, Mariam, Darren Nesbeth, and Shane D. Johnson. 2020. "A Systematic Review of the Criminogenic Potential of Synthetic Biology and Routes to Future Crime Prevention." *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8 (October): 1–18. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.571672>.
11. Fuisz, Richard. 2017. "Caveat Creator." *Journal of Law and the Biosciences* 4 (3): 658–70. <https://doi.org/10.1093/jlb/lxx037>.
12. Galland, Leo. 2014. "The Gut Microbiome and the Brain." *Journal of Medicinal Food* 17 (12): 1261–72. <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.7000>.
13. Gangadharbatla, Harsha. 2020. "Biohacking: An Exploratory Study to Understand the Factors Influencing the Adoption of Embedded Technologies within the Human Body." *Heliyon* 6 (5): e03931. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03931>.
14. Gardies, Jean-Louis. 2022. "The Name." *Rational Grammar* 12 (1): 176–212. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2x8v8f8.11>.
15. Grewe-Salfeld, Mirjam. 2021. "Biohacking, Bodies and Do-It-Yourself : The Cultural Politics of Hacking Life Itself." *American Culture Studies*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=3098380&site=ehost-live>.
16. Malík, Matěj, and Pavel Tlustoš. 2022. "Nootropics as Cognitive Enhancers: Types, Dosage and Side Effects of Smart Drugs." *Nutrients* 14 (16). <https://doi.org/10.3390/nu14163367>.
17. Manuscript, Accepted, and Author Accepted Manuscript. 2023. "Qualitative Interview Study Title Page" 17 (2): 203–28. <https://doi.org/10.1057/s41292-020-00208-2.Core>.
18. Nash, David B. 2010. "Beware Biohacking?" *Biotechnology Healthcare* 7 (1): 7. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22478803> %0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC2873729.
19. Nitsche, Michael A., Paulo S. Boggio, Felipe Fregni, and Alvaro Pascual-Leone. 2009. "Treatment of Depression with Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS): A Review." *Experimental Neurology* 219 (1): 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.03.038>.
20. Odenbach-Wanner, S. (2025). The Biohacking-Code: An Eternal Pursuit of Perfection—The Myth About Living Forever?! From the Fine Line of Self-Optimization to Self-Destruction. In: Plugmann, P., Portius, D. (eds) Innovations in Healthcare and Outcome Measurement. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-77302-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-77302-0_7)
21. Portius, D. (2025). Beyond Limits: The Fusion of Nature and Technology in Achieving Optimal Health—The Truth of Biohacking. In: Plugmann,

- P., Portius, D. (eds) *Innovations in Healthcare and Outcome Measurement*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-77302-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-77302-0_6)
22. Rasmussen, Lisa M., Christi J. Guerrini, Todd Kuiken, Camille Nebeker, Alex Pearlman, Sarah B. Ware, Anna Wexler, and Patricia J. Zettler. 2020. "Realizing Present and Future Promise of DIY Biology and Medicine through a Trust Architecture." *Hastings Center Report* 50 (6): 10–14. <https://doi.org/10.1002/hast.1194>.
23. Rüter, Christian, and Philip R. Hardwidge. 2014. "“Drugs from Bugs”: Bacterial Effector Proteins as Promising Biological (Immune-) Therapeutics." *FEMS Microbiology Letters* 351 (2): 126–32. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12333>.
24. Straiton, Jenny. 2022. "Biohacking the Food Chain: Using CRISPR to Combat the Global Food Crisis." *BioTechniques* 73 (4): 159–61. <https://doi.org/10.2144/btn-2022-0102>.
25. Wexler, Anna. 2017. "The Social Context of ‘Do-It-Yourself’ Brain Stimulation: Neurohackers, Biohackers, and Lifehackers." *Frontiers in Human Neuroscience* 11 (May). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00224>.
26. Yetisen, Ali K. 2018. "Biohacking." *Trends in Biotechnology* 36 (8): 744–47. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.02.011>.
27. Zettler, Patricia J., Christi J. Guerrini, and Jacob S. Sherkow. 2019. "Regulating Genetic Biohacking." *Science* 364 (6448): 34–36. <https://doi.org/10.1126/science.aax3248>.

## Biohacking: Introduction, Fields, and Applications

Shams al-Duha Abu al-Ma'ali<sup>1</sup> and Kowsar Sharifi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Biology, Faculty of Sciences, Semnan University, Semnan, I.R. of Iran

<sup>2</sup> Department of Biotechnology, Faculty of Biotechnology, Semnan University, Semnan, I.R. of Iran

### Abstract

Biohacking, a movement born from the convergence of biology and hacking, is an emerging trend that encourages individuals to take charge of their own biological management. This movement represents a democratization of science, empowering people to evaluate their health innovatively and participate in scientific research outside traditional institutional frameworks. This movement Fueled by technological advancements that have made genetic and biological testing more accessible. By combining natural processes with cutting-edge technology, biohacking offers unparalleled tools for self-optimization, life extension, and the enhancement of both mental and physical performance. These tools enable individuals to push the boundaries of human capability and explore new dimensions of personal health and wellness. In this article, the core concept of biohacking and its diverse aspects are thoroughly examined. Additionally, the article highlights both the potential benefits and inherent risks of this movement, underlining the urgent need for robust regulatory frameworks to ensure its safe and ethical practice.

**Keywords:** Biohacking, DIY biology, Pathogenic biohacking, Neurohacking, Citizen science