

تأثیر تهدیدات زیستی فناوری کریسپر بر امنیت ملی

هاشم قادری^۱ | احمد بخشی^۲ | علیرضا سلیمانی^۳

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تهدیدات زیستی فناوری کریسپر بر امنیت ملی است. تهدیدات زیستی در چند سال اخیر به دلیل تأثیرگذاری شگرف بر امنیت ملی کشورها، به یکی از مسائل و چالش‌های عصر جدید برای آن‌ها تبدیل شده است. به همین منظور، سؤال پژوهش حاضر آن است که تأثیر تهدیدات زیستی فناوری کریسپر بر امنیت ملی چیست؟ برای پاسخ به سؤال مذکور، این فرضیه را به محک آزمون می‌گذاریم که فناوری‌های نوین زیستی مانند فناوری کریسپر، تهدیدات قابل توجهی بر امنیت ملی از جمله در کاربرد آن به عنوان تسلیحات زیستی، تأثیرات خواسته و ناخواسته محیطی، بیماری‌ها و سمومات زیستی مصنوعی، ترور زیستی و... دارد. بر اساس روش توضیفی-تحلیلی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که با وجود مزایای استفاده از اصلاح ژنوم و تغییر آن، نگرانی‌های جدی در رابطه با جنبه‌های اخلاقی ارائه فناوری، ایجاد انواع جدید بر روی جمعیت انسانی و تأثیر منفی بالقوه بر پیامدهای ناخواسته وجود دارد. زیرا پدافند زیستی در بیشتر کشورهای قدرتمند، سویه سیاست امنیتی و خارجی به خود گرفته و توجهی به بهداشت عمومی در سطح جهانی ندارد از سویی دیگر، امنیتی سازی در بخش‌های خاص بدون هماهنگ‌سازی با دیگر بخش‌ها، توسعه نامعلوم و ناپایداری را به دنبال خواهد داشت و سیاست گذاری نامناسب در تهدید بیوتروریستی، می‌تواند ظرفیت پاسخگویی یک کشور را به مخاطره بیندازد.

کلمات کلیدی: امنیت، فناوری زیستی، کریسپر، تهدید، ژنوم

شماره ۳(۳)

سال ۱

فصل زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

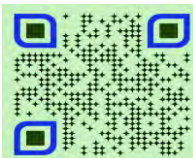
تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۰۳

صص: ۲۲-۱



^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم سیاسی، دانشگاه علامه طباطبائی^(د)، تهران، ایران.

hashemghaderi70@gmail.com

^۲ دانشیار گروه آموزشی علوم سیاسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. Bakhshi@birjand.ac.ir

^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم سیاسی، دانشگاه علامه طباطبائی^(د)، تهران، ایران. Ali691111@gmail.com

استاد: قادری، هاشم؛ بخشی، احمد و سلیمانی، علیرضا. (۱۴۰۳). تأثیر تهدیدات زیستی فناوری کریسپر بر امنیت ملی. شناخت پژوهی مطالعات

سیاسی، ۱(۳)، ۱-۲۲.

Qaderi, H., Bakhshi, A., Soleimani, A. (2025). The Impact of CRISPR Biotechnology Threats on National Security. *Cognitive research of political studies*, 1(3), 1-22.



این مقاله تحت لایسنس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

مقدمه

در هجوم فناوری‌های نوظهور، برنامه‌ها و کاربردهای جدید با سرعتی سرسام‌آور در حال ظهور هستند. یکی از سریع‌ترین و عمیق‌ترین آن‌ها، اصلاح پیشرفته ژن است. هنگامی که به علوم زیستی و بیوتکنولوژی نوظهور از منظر امور بین‌الملل فکر می‌کنیم، در نظر گرفتن فرصت‌ها و تهدیدهای امنیتی آینده که ممکن است با پیشرفت علم و فناوری پدیدار شوند، ضروری است. این امر شامل درک و تجزیه و تحلیل پیامدهای بالقوه فیزیکی، سیاسی، اقتصادی و انسانی، به دست آوردن دانش فناوری‌های نوین توسط رقبا (و بالطبع عدم دسترسی سایر کشورها به این دانش) و تأثیر آن بر ثبات یا بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی است. از اواخر دهه ۱۹۹۰ تهدیدات بالقوه ناشی از تکثیر فناوری و دانش پیشرفته بیولوژیکی، باعث افزایش نگرانی محققان امنیتی به خصوص در زمینه امنیت زیستی نظیر احیای یک ویروس مانند عامل ایجاد کننده آبله کوچک، افزایش کشندگی، مدت یا سهولت انتقال عوامل میکروبیولوژیکی و توسعه روش‌های تحویل جدید که از تشخیص جلوگیری می‌کنند یا می‌توانند بر اقدامات پیشگیرانه مانند واکسن‌ها و سایر روش‌های درمانی غلبه کنند، شده است. به‌طور گسترده‌تر، دانشمندان در حال بررسی این موضوع هستند که تکنیک‌های اصلاح ژن مانند سیستم تناوب‌های کوتاه پالیندروم فاصله‌دار منظم خوشه‌ای^۱ ممکن است قابلیت‌هایی را فعال کند که سلاح‌های هسته‌ای را از نظر ثبات استراتژیک به چالش می‌کشد.

کمیتة منع گسترش بیولوژیکی و محققان آن دریافته‌اند که در قرن بیست و یک، سلاح‌های بیولوژیکی می‌توانند ارزان‌تر، تولید آسان‌تر و در چارچوب توانایی‌های تعداد فزاینده‌ای از افراد با حداقل مهارت‌ها و تجهیزات فنی و فن‌آوری‌های دوگانه قابل پنهان‌تر، در دسترس باشند. هم‌افزایی بالقوه بین بیوتکنولوژی و سایر فناوری‌های نوظهور، مانند فناوری نانو، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و علوم اعصاب شناختی، نه تنها نوید فوق‌العاده‌ای را برای پیشرفت در فناوری برای مصرف‌کنندگان و کاربردهای دفاعی نشان می‌دهد، بلکه نگرانی‌های جدیدی را نیز ایجاد می‌کند. سلاح‌های بیولوژیکی نسبتاً ارزان و در دسترس تلقی می‌شوند، به‌ویژه هنگامی که با موانع موجود در دستیابی، توسعه و استقرار سلاح‌های هسته‌ای مقایسه می‌شوند. در کنار آن، نگرانی و تهدیدات بزرگ‌تری نیز وجود دارد که کریسپر باعث گسترده‌گی آن شده است. این فناوری کشورها را به نگرانی عمیق درباره خطرات آن فرو برده است.

^۱ CRISPR

با توجه به قابلیت‌های فناوری نوظهور، دامنه و طیف بازیگران در حال گسترش است. در این قرن، هم دولت-ملت‌ها و هم بازیگران غیردولتی ممکن است به بیوتکنولوژی جدید و بالقوه ویرانگر با کاربرد دوگانه دسترسی داشته باشند. این خطری است که توسط شخصیت‌های علمی و مشهور، سیاست‌گذاران و صداها‌ی دیگر برجسته شده است. شاید قابل توجه‌ترین نکته، پیشرفت در اصلاح ژن به صراحت در لیست تهدیدات ناشی از «تکنی‌ر سلاح‌های کشتار جمعی» گنجانده شده است. با توجه به توزیع گسترده، هزینه کم و سرعت توسعه سریع این فناوری [اصلاح ژنوم]، سوء استفاده عمدی یا غیرعمدی آن ممکن است منجر به پیامدهای اقتصادی و امنیت ملی گسترده‌تر شود. اصلاح ژن تنها مربوط به بیوتکنولوژی مورد استناد دی‌ان‌ای^۱ نیست، بلکه در زمینه تهدیدات دیگری نظیر برنامه‌های تسلیحات هسته‌ای نیز به کار می‌رود (Fatollahi Arani & Zeinoddini, 2023:15). از این‌رو، تصویری روشن و شفاف از ابعاد تهدیدات زیستی فناوری کریسپر و تأثیر آن بر دکنترین امنیت ملی در دست نیست و مسأله پژوهش حاضر فقدان همین تصویر جامع و شفاف از موضوع می‌باشد و می‌کوشد تا به این سؤال پاسخ دهد که تأثیر تهدیدات زیستی فناوری کریسپر بر دکنترین امنیت ملی چیست؟

تهدیدات زیستی در چند سال اخیر به یکی از مسائل و چالش‌های عصر جدید برای کشورها تبدیل شده است و بر روی امنیت ملی آن‌ها تأثیر شگرفی بر جای می‌گذارد. این پژوهش از آن جهت حائز اهمیت است که در طی دو سه سال اخیر با شیوع ویروس کرونا و بحث ساختگی بودن آن و همچنین پیشرفت‌های علمی در زمینه ژنتیک و اصلاح آن، مقامات کشورها را به فکر فرو برده تا ضمن برخورداری از مزیت‌های آن، نگرانی‌های امنیتی خود را در این خصوص برطرف نمایند. لذا در مرحله اول شناخت و بررسی موضوع از اهمیت بسزایی برخوردار است تا ضمن شناسایی مؤلفه‌ها، ابعاد و کم و کیف آن، توصیه‌هایی نیز به مقامات ارائه شود. ضرورت چنین پژوهشی نیز در کمبود، فقدان و نبود تصویر روشن از آن در مجامع دانشگاهی، نخبگانی، سیاسی و امنیتی کشور است. از این جهت، این پژوهش ضرورت می‌یابد تا زوایای پنهان و آشکار موضوع را واکاوی نماید و نتایج درخوری را به جامعه علمی و سیاسی ارائه نماید.

درباره این فناوری و تأثیر آن بر امنیت ملی تاکنون پژوهش‌های صورت گرفته است که در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را در موارد زیر جستجو کرد. برخی از آنان به ابعاد این فناوری

¹ DNA

پرداخته‌اند که از جمله می‌توان به مقاله‌ی ورونیک رنالت^۱ و همکاران (۲۰۲۲) با عنوان «مفهوم امنیت زیستی: ریشه‌ها، تکامل و چشم اندازها» اشاره کرد که به این نتیجه می‌رسند که واژه امنیت زیستی که در ابتدا برای مدیریت سلاح‌های بیولوژیکی و تروریسم زیستی به کار می‌رفت، برای اولین بار در بخش کشاورزی در دهه ۱۹۸۰ به عنوان «مجموع شیوه‌های مدیریت ریسک در دفاع در برابر تهدیدات بیولوژیکی» استفاده شد. سپس این اصطلاح در اسناد استراتژیک مختلف سازمان‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

برخی دیگر آن را از منظر امنیت بهداشتی بررسی کرده‌اند. در این دسته می‌توان از کار کیل ای. واترز^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان «انقلاب کریسپر و تأثیر بالقوه آن بر امنیت بهداشت جهانی» یاد نمود که معتقدند علی‌رغم پیشرفت‌های بیوتکنولوژی که تشخیص و درمان این گونه بیماری‌ها را بهبود بخشیده است، تأخیر در تشخیص شیوع بیماری‌ها و فقدان اقدامات متقابل برای برخی از عوامل بیولوژیکی همچنان چالش‌های جدی برای امنیت بهداشت جهانی ایجاد می‌کند. پاره‌ای دیگر به خود اصلاح ژن پرداخته‌اند. پین لین لا^۳ (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان «چگونه می‌توان از ویرایش ژن به عنوان یک سلاح استفاده کرد و در مورد آن چه باید کرد؟» به این نتیجه رسید با پیشرفت‌های اخیر در اصلاح ژن، ممکن است بیوتروریست‌ها ویروس‌هایی طراحی کنند که بتوانند رفتار ما را تغییر دهند، چنین بیماری را گسترش دهند و در نهایت ما را بکشند و این احتمال وجود دارد که ما هنوز آمادگی کافی برای مقابله با آن را نداشته باشیم.

بعضی نیز آن را از منظر امنیت بین‌المللی مورد پژوهش قرار داده‌اند. از جمله می‌توان به کار مارگارت ای. کوسل^۴ (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان «علوم زیستی نوظهور و تهدیدات احتمالی برای امنیت بین‌المللی» برخورد که می‌نویسد در تقاطع فناوری‌های نوظهور و امور بین‌المللی، یکی از محرک‌ترین حوزه‌ها، کاربردهای مهندسی ژنتیک پیشرفته است. چنین پیشرفت‌هایی اکنون امکان دستکاری آسان‌تر و قابل تنظیم‌تر کد ژنتیکی زندگی را با پیامدهایی برای حاکمیت علم و فناوری و با اهمیت امنیت بین‌المللی در زمینه تکثیر، بازدارندگی و سلاح‌های غیرمتعارف فراهم می‌کند. سندی صوفیان^۵ و روزماری گارلند تامسون^۶ (۲۰۲۱)، در تحقیق با عنوان «سمت تاریک کریسپر» به

¹ Véronique Renault

² Kyle E. Watters

³ Pin Lean Lau

⁴ Margaret E. Kosal

⁵ Sandy Sufian

⁶ Rosemarie Garland-Thomson

این نتیجه می‌رسند که کریسپر عملکردهای زیادی دارد. یکی از این موارد این است که می‌توان از آن برای درمان بیماری استفاده کرد. با این حال، وعده‌های پردامنه‌تر و گسترده‌تر این فناوری در توانایی آن در حذف ژن‌هایی است که علم پزشکی به‌عنوان ژن‌های معیوب یا غیرطبیعی که باعث ایجاد تفاوت در افراد مختلف می‌شوند، از مخزن ژنی حذف می‌کند. آدام پی کریبز^۱ و سامث ام. دیلیو پیرا^۲ (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «علم و اخلاق زیستی ویرایش ژن CRISPR-Cas9: تحلیلی به سوی جداسازی حقایق و داستان» به این نتیجه می‌رسند که از زمان ظهور آن در سال ۲۰۱۲، تکنیک ویرایش ژنوم معروف به CRISPR-Cas9 و استفاده علمی از آن به سرعت در یک دوره زمانی بسیار کوتاه در سطح جهانی گسترش یافته است. سمانه فتح‌اللهی ارانی و مهدی زین‌الدینی (۱۴۰۲)، در پژوهشی با عنوان «اصلاح ژن: چالش‌ها و مخاطرات امنیت زیستی» به این نتیجه می‌رسند که ویرایش ژن ابزاری قدرتمند برای ویرایش ژنوم در درون بدن موجودات زنده فراهم نموده است. سلاح‌های زیستی مبتنی بر کریسپر، توازن منطقی و استراتژیک قدرت که جهان را از بکارگیری تسلیحات کشتار جمعی، مصون نگه داشته است را از بین برده و جهان با فناوری بالقوه خطرناک‌تر از سلاح‌های هسته‌ای روبه‌رو است.

۱- ادبیات نظری

درباره تهدیدات زیستی ادبیات نظری اندکی وجود دارد. درباره آن گفته شده است که تهدیدات زیستی بسیار خطرناک‌تر از جنگ با سلاح‌های شیمیایی است. در جنگ زیستی دشمن آشکارا یا پنهان از تسلیحات زیستی علیه منابع انسانی و یا زیرساخت‌های اقتصادی علیه یک کشور با هدف وارد نمودن ضربه نظامی، از بین بردن مقاومت، تحمیل خسارت اقتصادی و در نهایت ایجاد خلل در ارائه خدمات عمومی به مردم استفاده خواهد کرد. تهدیدات میکروبی و زیستی همواره وجود داشته و سابقه استفاده از میکروب و ویروس به عنوان جنگ‌افزار به قدمت انسان و نزاع‌های بشری می‌رسد، اما در سده اخیر تحت تاثیر پیشرفت‌های زیست‌شناسی به یک پدیده ترسناک تبدیل شده است. پیشرفت‌های علوم زیستی وعده‌های شگفت‌انگیزی را برای درمان بیماری‌ها و شیوه‌های جدید درمان ارائه می‌دهند، اما همان دانش و تجهیزات می‌تواند برای مهندسی پاتوژن‌های مرگبار بکار گرفته شود. در واقع هرگونه استفاده از عوامل زیستی که موجب تضعیف و نابودی سرمایه‌های

¹ Adam P. Cribbs

² Sumeth M. W. Perera

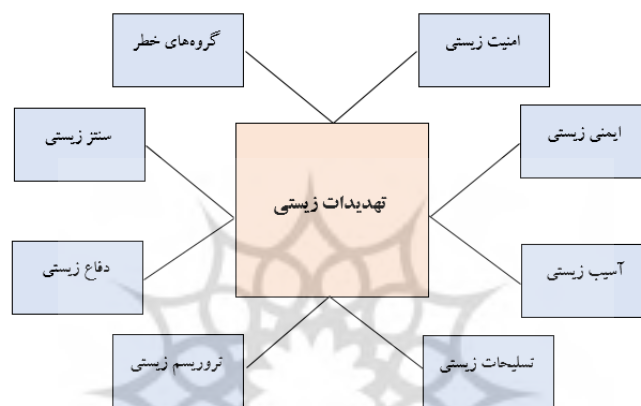
انسانی یا آسیب‌های اقتصادی از طریق تخریب و نابودی محصولات کشاورزی، گیاهی، دام و طیور، آب آشامیدنی، صنایع غذایی و محیط زیست در کشور شود و ثبات و امنیت جامعه را به خطر اندازد، تهدید زیستی محسوب می‌شود (Capecchi, 2005: 608).

با توجه به ادبیات نظری کم از تهدیدات زیستی، مجبور به ارائه چارچوب یا الگویی مفهومی از موضوع هستیم. مفاهیمی که برای این منظور به کار می‌رود عبارت‌اند از: امنیت زیستی، ایمنی زیستی، آسیب زیستی، تسلیحات زیستی، تروریسم زیستی، دفاع زیستی، سنتز زیستی و گروه‌های خطر که همگی آن‌ها تهدیدات زیستی ناشی از فناوری کریسپر را هم در بر می‌گیرند. تهدیدات زیستی امروزه در سه حوزه حوادث طبیعی، بیوتروریسم و جنگ زیستی قابل بحث است. حوادث طبیعی بدون دخالت انسان و در اثر انتشار طبیعی عوامل زیستی یا ضعف در رعایت ایمنی در فعالیت‌های آزمایشگاهی تحقیقاتی و صنعتی صورت می‌گیرد. همان‌طور که تجارت، اقتصاد، شهرنشینی و سرمایه جهانی می‌شود و جریان پیچیده کالا خدمات و انسان‌ها به صورت شبکه‌ای و در هم تنیده در حال انجام است؛ بیماری‌ها، ویروس‌ها و میکروب‌ها نیز به سادگی توان انتقال و جابجایی دارند (Jinek, 2023: 39).

امنیت زیستی به اقداماتی اطلاق می‌شود که برای جلوگیری از انتشار یا ورود ارگانیسم‌های مضر به زندگی انسان، حیوان و گیاه انجام می‌شود. ایمنی زیستی مکمل امنیت زیستی است و به «اجرای شیوه‌ها و رویه‌های آزمایشگاهی، ویژگی‌های ساخت و ساز خاص تأسیسات آزمایشگاهی، تجهیزات ایمنی و برنامه‌های بهداشت حرفه‌ای مناسب هنگام کار با میکروارگانیسم‌های بالقوه عفونی و سایر خطرات بیولوژیکی» اشاره دارد. خطرات بیولوژیکی که به عنوان آسیب زیستی نیز شناخته می‌شوند، به مواد بیولوژیکی اطلاق می‌شود که تهدیدی برای سلامت موجودات زنده و در درجه اول برای انسان‌ها هستند. سلاح بیولوژیکی شامل تعدادی از عوامل تولیدکننده بیماری - مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، سموم یا سایر عوامل بیولوژیکی - می‌باشد که ممکن است به عنوان سلاح علیه انسان‌ها، حیوانات یا گیاهان مورد استفاده قرار گیرند (Mali, 2023: 825).

تروریسم زیستی عبارت است از منتشر کردن عوامل بیولوژیکی یا سمی با هدف کشتن یا آسیب رساندن به انسان‌ها، حیوانات و گیاهان با قصد و نیت قبلی و به منظور وحشت‌آفرینی، تهدید و وادار ساختن یک دولت یا گروهی از مردم به انجام عملی یا برآورده کردن خواسته‌ای سیاسی یا اجتماعی. دفاع زیستی به عنوان اقداماتی تعریف شده است که برای مقابله با تهدیدات بیولوژیکی، کاهش خطرات، آماده‌سازی، پاسخگویی و بازیابی از حوادث زیستی، اعم از این که منشأ طبیعی، تصادفی

یا عمدی دارند و بر سلامت انسان، حیوان، گیاه یا محیط زیست تأثیر می گذارند، طراحی شده اند. سنتز زیستی به طراحی منطقی و مهندسی سلول گفته می شود که نه تنها سلول ها را مهندسی می کند بلکه به روشن شدن ویژگی های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سلول ها نیز سرعت می بخشد. برای کمک به سازمان ها، مدیران محیط زیست، بهداشت و ایمنی و کارگران در شناسایی مناسب تهدیدها یا خطرات احتمالی که انواع مختلف خطرات بیولوژیکی ایجاد می کنند، یک سیستم طبقه بندی گروه خطر برای عوامل بیولوژیکی ایجاد شده است که از آن به عنوان گروه های خطر یاد می شود (Finer, 2017: 2).



شکل-۱. عوامل مؤثر در تهدیدات زیستی (Source: Author)

۲- روش تحقیق

در این تحقیق، نوع پژوهش بر حسب هدف توسعه ای- کاربردی و بر حسب ماهیت از نوع مطالعات همبستگی است و طرح آن با توجه به روش جمع آوری داده ها از نوع پس رویدادی می باشد. روش گردآوری داده ها مبتنی بر روش اسنادی بوده و از کتب، مقالات، مجلات، روزنامه ها و سخنرانی های مکتوب شده در سایت ها و منابع لاتین استفاده می شود. ابزار گردآوری داده ها فیش برداری و روش تجزیه و تحلیل داده ها مبتنی بر ردیابی فرآیند می باشد.

۳- یافته های پژوهش

۳-۱- امیدواری و نگرانی ها از فناوری کریسپر

برای دهه ها، پیشرفت های مهندسی ژنتیک باعث پیش بینی های سریع از آینده ای شگفت انگیز و هشدارهایی درباره آخرالزمان شده است. این پیش بینی ها پس از توسعه کریسپر که امکان اصلاح

ژن‌ها را نسبت به ابزارهای قبلی فراهم می‌آورد، بیشتر شده است. از زمانی که دانشمندان از فناوری کریسپر برای ترمیم یک جهش ژنتیکی در جنین استفاده کردند، امیدواری‌ها و نگرانی‌ها درباره آن رو به فزونی رفت. کریسپر این امید را به وجود آورد که اصلاح ژن ممکن است روزی از نوزادان در برابر انواع شرایط ارثی محافظت کند. در کنار آن نگرانی‌های اخلاقی را نیز تجدید کرد که برخی ممکن است سعی کنند نوزادانی را با ویژگی‌های خاصی نظیر هوش بیشتر یا ورزشکاری طراحی کنند. علاوه بر موارد فوق، نگرانی‌های فوری‌تر و جدی‌تری نسبت به فناوری کریسپر به وجود آمد. مجموعه‌ای از مطالعات نشان داده‌اند که کریسپر ممکن است باعث شود سلول‌ها توانایی مبارزه با سرطان را از دست بدهند و آسیب بیشتری به ژن‌ها وارد کند (Reardon, 2016: 160). سه برنامه اصلی برای کریسپر وجود دارد که هر کدام به نحوی توسعه یافته‌اند. یکی دستکاری در ژن‌ها برای فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی در افراد است. دیگری ایجاد داروهایی است که می‌توانند تزریق شوند. سومین مورد کاربردهای کشاورزی- دامداری است که هم در محصولات زراعی و هم در حیوانات دستکاری می‌شود و بدین طریق در تغذیه استفاده می‌گردد. هر چند قبلاً شرکت‌هایی وجود داشتند که از کریسپر برای ایجاد غذاهای تقویت شده برای مقاومت در برابر باکتری‌ها یا ویروس‌ها استفاده کرده‌اند؛ اما با توسعه کریسپر این مورد شدیدتر شده و با سرعت عمل بیشتری رو به جلو در حرکت است. به‌طور مشابه، استفاده از کریسپر برای حیوانات قبلاً انجام شده است. در واقع آن‌ها را موش کریسپر می‌نامند و در حال حاضر در جامعه تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. توانایی اعمال آن بر روی حیوانات بزرگ‌تر مانند حیوانات خوراکی در آینده بسیار نزدیک امکان‌پذیر خواهد بود. به همین دلیل، برخی از کریسپر به‌عنوان سلاح کشتار جمعی یاد می‌کنند (Bassett, 2023: 222).

از نظر سلامت انسان، می‌توان آن را به دو دسته تقسیم کرد. یکی از آن‌ها خارج کردن سلول‌ها از بدن، دستکاری آن‌ها در آزمایشگاه- یا حذف یک ژن معیوب یا افزودن و افزایش توانایی انجام کاری با فعال کردن یک ژن یا اصلاح یک ژن- و سپس بازگرداندن آن سلول‌ها به بدن است. دسته دیگر در واقع تزریق چیزی به بدن است که می‌تواند ژن‌های افراد را اصلاح کند تا در بافت‌های خود آن ژن‌ها فعال یا غیرفعال شوند و همه این‌ها عوارض و خطرات بسیار عمیقی دارند که در ادامه به برخی از این موارد و شاخص‌های تهدیدساز اشاره می‌شود (Kleinstiver, 2016: 490). حوزه اصلی خطر مربوط به بهره‌برداری از تناقضات بین‌المللی در ایمنی زیستی و امنیت زیستی با توجه به حاکمیت آزمایش‌های ویرایش ژنوم است. این تناقضات، محیطی را ایجاد می‌کند که در آن

آزمایش‌های مخاطره‌آمیز ممکن است در کشورهایی انجام شود که چارچوب قانونی ندارند یا در کشورهایی که اگرچه چارچوب‌های قانونی وجود دارد، اما به دلیل منابع محدود نمی‌توان به اجرای آن‌ها دست یافت. این امر، استانداردهای ایمنی و امنیت را تضعیف می‌کند (Wang, 2015: 175).

۳-۲- اصلاح ژرمالین انسانی

تحقیقات در حوزه ویرایش ژن ژرمالین مجاز است، اما ایجاد بارداری با جنین دستکاری شده ژنتیکی تحت قوانین متعدد ممنوع است. ویرایش ژن نیاز به تأیید کمیته اخلاق بیمارستان یا کلینیک آی.وی.اف^۱ دارد، اما تأیید آژانس‌های نظارتی ملی لازم نیست. کمیته‌های اخلاق تحقیق مسئول اطمینان از انطباق با انجام بازبینی اخلاقی فعالیت‌های تحقیقاتی زیست‌پزشکی مؤسسات خود با مشارکت شرکت‌کنندگان در تحقیقات انسانی هستند. با این حال، در مورد این که آیا این مقررات مشمول قوت قانون هستند یا خیر، ابهام وجود دارد و مجازات‌ها و مکانیسم‌های اجرایی نیز نامشخص است (Cho, 2024: 130). در سال ۲۰۱۵، محققان چینی اولین کسانی بودند که جنین انسان را با استفاده از کریسپر ویرایش کردند، که برخی از محققان آن را زودرس می‌دانستند و در سال ۲۰۱۷، محققان چینی برای اولین بار از کریسپر برای ویرایش جنین‌های انسانی زنده استفاده کردند. در سال ۲۰۱۸، یک دانشمند چینی دی.ان.ای^۲ جنین‌های انسان را تغییر داد. این اعلامیه جنجال بین‌المللی را برانگیخت و در نتیجه، دولت چین می‌گوید مقررات سختگیرانه‌تری برای ویرایش ژن انسانی وضع خواهد کرد (Larson, 2023: 81).

در نوامبر ۲۰۱۸، دانشمند هی جیانکوی، که در آن زمان توسط دانشگاه علوم و فناوری جنوبی در شژن چین استخدام شد، از کریسپر-کاس^۳ برای ویرایش موفقیت‌آمیز اچ.آی.وی^۴ رویان‌های دختران دوقلو که به پایان رسیده بودند، استفاده کرد تا آن‌ها را مقاوم کند. از آن زمان، دولت چین مانند ۱۲۲ دانشمند چینی از انجام آزمایش‌ها، صرف نظر کرده است و انتظار می‌رود که به دلیل اسناد جعلی، با اتهامات جنایی روبرو شود. معاون وزیر علوم و فناوری چین مدعی شد که او «قوانین و مقررات مربوطه چین را آشکارا نقض کرده است» (Wagner, 2024: 500). در سال ۲۰۱۹، پیش نویس جدیدی از قانون مدنی به کمیته دائمی کنگره ملی خلق ارائه شد که در صورت تصویب، تحقیقات پزشکی و علمی را به قانون مدنی وارد می‌کند. پیش‌نویس بیان می‌کند که تحقیقات بالینی

¹ IVF

² DNA

³ CRISPR/Cas9

⁴ HIV

انسانی، از جمله ویرایش ژن، باید از وزارت بهداشت چین تأیید شود (به جای این که فقط نیاز به تأیید کمیته اخلاق بیمارستان باشد). علاوه بر این، مطالعات علمی و پزشکی مربوط به ژن‌ها یا جنین‌های انسانی باید «از مقررات مربوطه پیروی کند و نمی‌تواند به سلامت افراد آسیب برساند، استانداردهای اخلاقی یا اخلاقی را نقض کند، یا منافع عمومی را نقض کند». در این پیش نویس به جرمه‌ها و لیست سیاه اشاره شده است، اما مکانیسم‌های اجرایی نامشخص است. انتظار می‌رود قانون مدنی در مارس ۲۰۲۰ تصویب شود (Ran, 2023: 86).

تحقیقات پزشکی توسط کمیسیون ملی بهداشت و برنامه‌ریزی خانواده^۱، که قبلاً به عنوان وزارت بهداشت و اداره ملی محصولات پزشکی شناخته می‌شد، که در حال حاضر به عنوان سازمان غذا و داروی چین شناخته می‌شود، تنظیم می‌گردد. وزارت بهداشت و اداره ملی محصولات پزشکی مرجع نظارتی مسئول نظارت، تأیید و بازرسی کارآزمایی‌های بالینی برای داروهایی است که باید در چین ثبت شوند. با این حال، آژانس‌های ملی به جای تدوین و اجرای قوانین و مقررات سختگیرانه، تنها به ارائه راهنمایی‌های کلی تمایل دارند که توسط سازمان‌ها و کمیته‌های محلی تفسیر می‌شود. دو آیین‌نامه که توسط وزارت بهداشت در سال ۲۰۰۳ صادر شد، دستکاری جنین انسان برای تولید مثل را ممنوع می‌کند. در آیین‌نامه‌ای که در همان سال توسط وزارت بهداشت و علوم و فناوری صادر شد، آمده است که جنین‌های ایجاد شده از طریق اصلاح ژنتیکی باید پس از ۱۴ روز از رشد نابود شوند و نباید در سیستم تولید مثل انسان یا هر حیوان دیگری کاشته شوند. همچنین ایجاد جنین آی.وی.اف فقط برای تحقیق ممنوع است. در صورت تخطی از این دستورالعمل‌ها، کلینیک‌های آی.وی.اف و مراکز فناوری کمک باروری می‌توانند مجوز خود را از دست بدهند (Gilbert, 2023: 445). دو تحقیق پیرامون آن انجام شده است که عبارت‌اند از: اچ‌آی‌وی: در سال ۲۰۱۸، هه جیانکوی، دانشمند چینی، پس از اعلام این که خط مولد جنین‌های متعدد را ویرایش کرده است، در تلاش برای مقاومت‌سازی جنین‌ها در برابر اچ‌آی‌وی، بیماری که باعث می‌شود، مورد محکومیت بین‌المللی قرار گرفت. اقدامات او در سال ۲۰۱۹ یک فراخوان بین‌المللی را برای تعلیق جهانی برای همه استفاده‌های بالینی ویرایش ژرمالین برانگیخت. سندرم مارفان: دانشمندان چینی تحقیقاتی را منتشر کردند که جزئیات استفاده از کریسپر را برای اصلاح یک اسید آمینه جهش یافته در ۱۶ مورد از ۱۸ تلاش در جنین انسان منتشر کردند و شواهدی را برای ارزش اصلاحی ژن درمانی برای جهش

¹ NHFPC

اف.بی.ان.^۱ ارائه کردند که باعث سندرم مارفان و سلول‌های زایا در هر دو جسمی (بزرگسالان) می‌شود (Tebas, 2024: 4).

۳-۳. خطرات تسلیحات زیستی

بیش از یک سال از زمانی که سازمان بهداشت جهانی، کووید ۱۹ را یک بیماری همه‌گیر اعلام کرد، می‌گذرد. شاید مهم‌ترین درس این باشد که ما برای رویارویی با ویروس ضعیف کننده کاملاً آماده نبودیم. این باعث ایجاد برخی افکار ترسناک می‌شود. کووید-۱۹ نه تنها تهدید بود، بلکه یک پاتوژن اصلاح شده ژنی بود که طراحی شده بود تا ما را به زامبی^۲ تبدیل کند. با پیشرفت‌های اخیر در ویرایش ژن، ممکن است بیوتروریست‌ها بتوانند ویروس‌هایی طراحی کنند که می‌توانند رفتار ما را تغییر دهند، چنین بیماری را گسترش دهند و در نهایت ما را بکشند. و این احتمال وجود دارد که ما هنوز آمادگی کافی برای مقابله با آن را نداشته باشیم. یک زامبی آخرالزمانی ممکن است دور از ذهن به نظر برسد، اما نمونه‌هایی از «زامبی‌سازی» در طبیعت وجود دارد. شاید شناخته شده‌ترین بیماری هاری باشد که می‌تواند باعث پرخاشگری و توهم شود و تقریباً همیشه پس از ظاهر شدن علائم کشنده است (Ramanan, 2015: 5). به غیر از آن، موارد دیگری نیز هستند. به عنوان مثال، نوعی زنبور که اخیراً کشف شده است، می‌تواند گونه خاصی از عنکبوت^۳ را با تخم‌گذاری روی شکم آن‌ها به «زامبی» تبدیل کند. لاروهای حاصل، سپس خود را به عنکبوت می‌چسبند و از آن تغذیه می‌کنند، در حالی که عنکبوت که زمانی فردی اجتماعی بود، کلنی را ترک می‌کند و آماده می‌شود تا به تنهایی بمیرد. سایر نمونه‌های زامبی‌سازی از طبیعت عبارت‌اند از بیماری خواب آفریقایی، یک وضعیت عصبی کشنده ایجاد شده توسط انگل‌های منتقله از حشرات، و قارچ^۴، که رفتار مورچه‌های نجار را قبل از کشتن آن‌ها و جوانه زدن از سرشان تغییر می‌دهد. در سال‌های اخیر، جایزه نوبل شیمی ساخت نوعی قیچی ژنتیکی به نام کریسپر-کاس^۹ را به رسمیت شناخت. علاقه به این فناوری مدتی است که با دوزهای مساوی از هیجان و ترس در حال جوشیدن است. کریسپر به دلیل توانایی خود در ویرایش ژنوم انسان با دقت بی‌سابقه و جایگزینی یک حرف واحد در دی.ان.ای، قبلاً خود را در درمان بیماری‌های ژنتیکی مانند بیماری سلول داسی شکل، بتا تالاسمی و بسیاری موارد دیگر ثابت کرده است (Ramanan, 2024: 5). اما کریسپر-کاس^۹ از نظر تئوری

^۱ FBN1

^۲ موجوداتی شبیح مانند و آشفته با آگاهی کمی از محیط اطرافمان

^۳ Anelosimus eximius

^۴ Ophiocordyceps unilateralis

می تواند برای مقاصد تاریک تر مانند بیوتروریسم نیز استفاده شود. این امر می تواند پاتوژن ها را تغییر دهد تا آن ها را بیشتر قابل انتقال یا کشنده کند. روش دیگر، می تواند یک غیر بیماری زا، مانند یک میکروب بی ضرر، را به یک ویروس تهاجمی تبدیل کند. این تکنیک حتی ممکن است بتواند یک ویروس را تغییر دهد تا برای طیف وسیع تری از گونه ها از آنچه در حال حاضر آلوده می کند، خطرناک کند یا آن را در برابر آنتی بیوتیک ها یا ضد ویروس ها مقاوم کند (Schwank, 2023: 54). این که آیا می توان از کریسپر برای آلوده کردن انسان ها به گونه ای استفاده کرد که انسان ها را شبیه زامبی کند، یک حدس و گمان نظری است. در حال حاضر، احتمالاً راه های ساده تری برای ترساندن مردم وجود دارد. اما با بهبود بیوتکنولوژی ها در پی کووید، خطر بیوتروریسم در حال افزایش است. اگر بیماری زامبی ماندی می توانست ایجاد شود، به وضوح باعث نمی شود که افراد متوفی دوباره به عنوان زامبی بیدار شوند. اما عفونتی که از بزاق با میزان انتقال و مرگ و میر بسیار بالا عبور کرده و باعث تحریک، رفتار مخرب و مرگ می شود، دور از ترسی که در فیلم های زامبی می بینیم نیست. چنین ویروسی مانند بیماری هایی مانند ابولا و ویروس های ماربورگ به سرعت از انسان به انسان سرایت می کند (Marshall, 2019: 44).

۳-۴. دستکاری عمدی چرخه طبیعی زیستی انسانی - نباتی و حیوانی

خطرات سلامت انسان: خطر اولیه مرتبط با فناوری کریسپر - کاس ۹، پتانسیل اثرات ویرایش ژنوم خارج از هدف است. فناوری کریسپر می تواند جهش های دی.ان.ای خاص را در دی.ان.ای انسان به گونه ای دیگر القا کند (Bigdeli, 2020: 64). علاوه بر برش در محل هدف خاص، اثرات خارج از هدف سیستم کریسپر مشاهده شده است. علت این اثرات خارج از هدف، تا حدی به دلیل همسانی ناقص بین GRNA و سایر مناطق ژنوم است. تأثیر این اثرات خارج از هدف هنوز ناشناخته است. همچنین خطر رویدادهای هدفمندی که پیامدهای ناخواسته ای دارند نیز وجود دارد. در حال حاضر، هیچ داروی پیشگیرانه پس از قرار گرفتن در معرض یا استراتژی دیگری برای جلوگیری یا خنثی سازی یک تغییر مواد هسته ای نامطلوب کریسپر روی یا خارج از هدف که به طور ناخواسته یا ممکن است به طور سهوی در فردی در معرض کار با این مواد ایجاد شده باشد، وجود ندارد. هنگام انجام ارزیابی خطر و تهدید، هدف باید در نظر گرفته شود. هدف قرار دادن ژن های خطرناک (مانند انکوژن ها، سرکوبگرهای تومور و...) می تواند خطر را افزایش دهد (Urnov, 2020: 647). هر گونه بحث در مورد استفاده از کریسپر - کاس ۹ در کلینیک نیاز به ارزیابی قبلی در مورد سطح خطرات دارد، زیرا این فناوری نشان داده است که اثرات مخرب بالقوه خارج از هدف دارد.

مشاهده شده است که کریسپر-کاس ۹ به دلیل تعداد تکرارهای زیاد و ژنوم بسیار همولوگ، تمایل زیادی به اثرات خارج از هدف و انواع تک نوکلئوتیدی در انسان دارد و می‌تواند توالی‌های ناخواسته را شکافته و باعث جهش شود که ممکن است اثری احتمالی بر روی انسان داشته باشد. ابتلا به بیماری‌هایی مانند سرطان بنابراین، بهبودهای بیشتری مورد نیاز است، به‌ویژه برای اصلاحات دقیق‌تر که برای مداخلات درمانی مورد نیاز خواهد بود (Ma et al, 2014: 66). خطرات زیست‌محیطی: خطرات زیست‌محیطی به بردارهای تحویل کریسپر-کاس ۹ و یا سلول‌های میزبان که در ارتباط با فناوری کریسپر-کاس ۹ استفاده می‌شوند، بستگی دارد.

۳-۵. قابلیت‌های دوگانه^۱

بیوتکنولوژی یک کاربرد دوگانه است، یعنی تکنیک‌ها و فرآیندهایی که برای ایجاد کاربردهای مفید مانند واکسن‌ها استفاده می‌شوند، اما اغلب مشابه یا مشابه تکنیک‌ها و فرآیندهایی هستند که می‌توان از آن‌ها برای ایجاد عوامل بیولوژیکی (یا شیمیایی) استفاده کرد. بخش عمده‌ای از ویرایش ژن در حوزه تحقیقات پایه و کاربردی قرار می‌گیرد. این اکتشاف، تحقیقات نگران‌کننده‌ای با عنوان قابلیت دوگانه نامیده می‌شود و به‌عنوان «تحقیقی که بر اساس درک کنونی، می‌توان به‌طور منطقی پیش‌بینی کرد که دانش، اطلاعات، محصولات یا فناوری‌هایی را ارائه کند که می‌تواند مستقیماً به‌طور نادرست برای ایجاد یک تهدید قابل توجه استفاده شود» تعریف می‌شود. با پیامدهای بالقوه گسترده برای سلامت و ایمنی عمومی، محصولات کشاورزی و سایر گیاهان، حیوانات، محیط زیست، مواد یا امنیت ملی (Moscou, 2019: 326). به‌عنوان مثال، این فناوری که از کریسپر سرچشمه می‌گیرد، برای سیستم‌های جدیدی که می‌توانند آسیب‌های سلاح‌های بیولوژیکی را کاهش دهند، به کار گرفته شده است. شرلوک^۲ و دتکتر^۳ و که ریشه در فناوری ویرایش ژن دارند، «آموزاده‌های» کریسپر هستند. این تکنیک را می‌توان برای نشان دادن وجود یا عدم وجود امضای ژنتیکی، مانند ویروس، در طرحی با الهام از آزمایش‌های الیزا مانند یک روش ساده آزمایش حاملگی خانگی استفاده کرد. کاربردهای بالقوه این فناوری به آزمایش‌های میدانی، بهداشت عمومی و دفاع زیستی گسترش می‌یابد. ظهور فناوری شرلوک و دتکتر به‌طور بالقوه یکی از تهدیدات سلاح‌های بیولوژیکی، یعنی ظرفیت آن‌ها برای ناشناخته و ناشناس ماندن را برطرف می‌کند (Hockemeyer, 2021: 732).

¹ DURC

² SHERLOCK

³ DETECTR

بسیار خوش بینانه است اگر پیشنهاد کنیم که پیشرفت‌های فناوری شرلوک و دتکتر مشکلاتی را که جهان با پدافند زیستی یا سایر بیماری‌های عفونی نوظهور مانند کووید-۱۹^۱ با آن مواجه است، حل کند. این‌ها مشکلات سیاسی هستند تا مشکلات فنی. تهدید عوامل بیولوژیکی قدرتمند هنوز وجود دارد و تنها با توجه به پیشرفت‌هایی که در روش‌هایی که اساساً می‌توانیم عوامل بیولوژیکی کشنده‌تر و انعطاف‌پذیرتر را کدگذاری کنیم، افزایش یافته است. با این حال، قوی‌ترین دفاع در برابر سلاح‌های بیولوژیکی، پیشگیری است. توانایی‌های انسان در طول زمان با تشخیص و تشخیص بهبودیافته افزایش یافته است و فناوری‌هایی مانند شرلوک و دتکتر ممکن است این قابلیت‌ها را از طریق امکان تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر بیماری‌های عفونی نوظهور یا بیماری‌هایی که از طریق مداخله انسانی به وجود آمده‌اند، به‌طور قابل توجهی افزایش دهند (Reardon, 2016: 10). ویرایش ژنوم پتانسیل بسیار زیادی در درمان بیماری‌های ارثی انسان و بهبود آن دارد. تحقیقات در اینجا به درمان اختلالات ژنتیکی مختلف، بیماری‌های عفونی و سرطان مربوط می‌شود. نمونه‌های اخیر که در حال حاضر تحت آزمایش‌های ایمنی در آزمایش‌های بالینی قرار دارند، استفاده از ژن درمانی‌های بدنی شامل تغییرات سلول‌های ایمنی برای درمان سرطان، رویکردهای مبتنی بر کریسپر برای درمان اچ.آی.وی و اثبات اصل ویرایش ژنوم در درمان بیماری‌های ارثی مانند دیستروفی عضلانی می‌باشند. نگرانی‌های کلیدی ایمنی در این زمینه، تعداد تغییرات خارج از هدف، موزائیسیم و اثرات بالقوه اپی ژنتیکی بوده است. این‌ها نگرانی‌های ایمنی جدیدی نیستند، اما در سایر رویکردهای ژن درمانی نیز با آن مواجه شده‌اند. بنابراین، رویکرد گام به گام موجود که در مطالعات بالینی به کار می‌رود، باید برای شناسایی، ارزیابی و کنترل چنین خطراتی به اندازه کافی قوی باشد (Mendell and Rodino-Klapac, 2016: 6).

۶-۳- چالش‌های حاکمیت بین‌المللی

کاهش خطر سوء استفاده دولتی از بیوتکنولوژی برای تکثیر بیولوژیکی به معنای در نظر گرفتن ماهیت بسیار فراملی تحقیق و توسعه بیوتکنولوژی است. به منظور کاهش خطر کاربرد نادرست فناوری، رویکردهای جدید سنتی و نوآورانه برای عدم اشاعه و مقابله با گسترش سلاح‌های هسته‌ای، ملاحظات عناصر سیاستی مهمی برای کاهش خطر کاربرد نادرست فناوری هستند. توافقات بین‌المللی قوی با حذف راه‌های قانونی برای دولت‌ها و تروریست‌ها برای دستیابی به عوامل، پیش‌سازها یا مواد تسلیحاتی، خطر برنامه‌های تروریستی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، آن‌ها

¹ COVID-19

همچنین می‌توانند انتقالات احتمالی از دولت به بازیگران غیردولتی را از طریق دزدی، فریب یا ابزارهای دیگر از طریق نظارت و تأیید حفاظت از مواد، کنترل و تلاش‌های پاسخگویی و ایجاد هنجارهای قانونی به حداقل برسانند (Swiech, 2015: 104). تلاش‌ها برای تقویت رژیم بین‌المللی برای کنترل انتقال مواد و تجهیزات با کاربرد دوگانه نیز مهم است. برای کاهش خطر سوء استفاده از بیوتکنولوژی برای تسلیحات، ماهیت بسیار فراملیتی تحقیق و توسعه بیوتکنولوژی یکی از ملاحظات عمده است. به‌عنوان مثال، هیئت مشاوران علوم ملی ایالات متحده برای امنیت زیستی^۱ خاطرنشان می‌کند: «فناوری ژنومیک مصنوعی در سطح جهانی توزیع شده و توسط دانشمندان در سراسر جهان استفاده می‌شود. با این حال، همه کشورها انتشار تحقیقات و فناوری ژنومیک مصنوعی را به‌عنوان یک موضوع نگران‌کننده امنیت زیستی جهانی نمی‌شناسند، که می‌تواند اثربخشی استراتژی‌های داخلی را محدود کند.» نگرانی‌های مشابهی در مورد فناوری‌های ویرایش ژن اعمال می‌شود (Khuri, 2020: 881).

راستی‌آزمایی سلاح‌های بیولوژیکی با چالش‌های زیادی از سطح فنی گرفته تا سطح سیاست مواجه است. خطرات مرتبط با سلاح‌های بیولوژیکی سنتی از بین نرفته‌اند. سلاح‌های بیولوژیکی، مانند باسیلوس آنتراسیس، عامل ایجاد سیاه زخم، شاید بزرگ‌ترین خطر باقی‌مانده. به همین ترتیب، قابلیت‌های اواسط قرن بیستم احتمالاً تا حد زیادی منتشر شده است. در حالی که سلاح‌های هسته‌ای چالش‌های خاص خود را دارند، می‌توان آن‌ها را شمارش کرد و تکثیر سلاح‌های هسته‌ای را می‌توان آسان‌تر در مقایسه با راستی‌آزمایی در حوزه‌های بیولوژیکی (و شیمیایی) شناسایی و تأیید کرد. بیوتکنولوژی‌های پیشرفته در حال حاضر چالش‌های انطباق جدیدی را ارائه می‌دهند. بسیاری از اوقات، کمتر فناوری‌های خاص و بلا تکلیفی‌های ژئوپلیتیکی و اقتصادی پیرامونی هستند که بر استفاده از آن‌ها تأثیر می‌گذارند (Holkers, 2024: 56). مقررات، اختیارات و هنجارها در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است، که همکاری بین‌المللی اساسی و حاکمیت این موضوعات را دشوار می‌کند. این‌ها حتی قبل از این که به چالش‌های زبان، فرهنگ، مقاصد، نشانه‌ها و ادراک توجه شود، مسائل پیچیده‌ای هستند. اکثر کشورها در سطح بین‌المللی فاقد قوانین صریح هستند که مهندسی ژنتیک را در انسان مجاز یا ممنوع می‌کند. اکثر ایالت‌ها چنین تحقیقاتی را تجربی و نه درمانی می‌دانند. با این حال، در کشورهایی که سیاست‌های مربوط به اصلاح ژنتیکی اثری دارند، این عمل توسط قانون یا سایر مکانیسم‌های نظارتی ممنوع شده است. اجماع بیشتر در اروپای غربی قابل

¹ NSABB

مشاهده است، جایی که ۱۵ کشور از ۲۲ کشور، اصلاح خط زایا را ممنوع می‌کنند. پیشنهادات مربوط به انتقال سلول‌های سوماتیک را بررسی خواهد کرد. پس از بحث و جدل پیرامون اعلامیه دانشمند چینی او مبنی بر استفاده از کریسپر برای ویرایش مؤلفه‌های انسانی، شی جین پینگ، رئیس چین خواستار مقررات داخلی جدید در مورد ویرایش ژن شد: «فناوری شامل ویرایش ژن، انتقال ژن و تنظیم ژن به عنوان «پرخطر» طبقه‌بندی می‌شود. تحت اختیار شورای دولتی، کابینه چین قرار می‌گیرد.» چنین طبقه‌بندی معادل یا بالقوه محدودتر از مقررات مشابه فدرال در ایالات متحده است، یعنی آنچه به عنوان قوانین انتخاب نماینده شناخته می‌شود (Li, 2024: 148).

۷-۳- سلاح‌های بیولوژیکی

انقلاب اطلاعات و جهانی شدن، پیشرفت‌های فناوری جدید را برای بسیاری از کشورها فراهم کرده است. پیشرفت در بیوتکنولوژی و فناوری اطلاعات ناشی از نیاز به بهبود محصولات زیست پزشکی، بهداشت عمومی یا کاربردهای صنعتی بوده است. شاید یکی از مهم‌ترین جنبه‌های ویرایش ژن این واقعیت باشد که توانایی‌های فناوری‌های موجود را تقویت می‌کند. پیشرفت در همگرایی زیست‌شناسی پیشرفته با علوم اطلاعات در قالب تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ ممکن است این تأثیر را حتی بیشتر کند. این پیشرفت‌ها همچنین ممکن است مقیاس زمانی را که تحت آن محیط‌های امنیتی و تهدید کنونی ممکن است تغییر کند، دگرگون سازد. این پیشرفت‌ها باعث گسترش دانش و برانگیختن علاقه به ایجاد استفاده‌های جدید غیرسنتی از فناوری پیشرفته شده است (Lin, 2024: 77). مؤثرترین نهاد برای راستی‌آزمایی چالش‌های قرن بیست و یکم گسترش سلاح‌های بیولوژیکی، بعید است شبیه مؤسسات تأیید تسلیحات دوران جنگ سرد باشد. جامعه بین‌المللی منع گسترش تسلیحات بیولوژیکی باید به آموختن از این مدل ادامه دهد. با این حال، جامعه بین‌المللی نباید به شدت به این نهاد راستی‌آزمایی برای تأمین امنیت هر فناوری نوظهور، بیولوژیکی یا غیره، تکیه کند. روش‌های مدل‌سازی برای محدود کردن تکثیر سلاح‌های بیولوژیکی بسیار نزدیک به آن‌هایی که برای محدود کردن سلاح‌های هسته‌ای استفاده می‌شوند می‌تواند خطرناک باشد و قبلاً مورد بحث قرار گرفته است. در مقایسه با امنیت هسته‌ای، تأمین امنیت و حفاظت از مواد شکافت‌پذیر یک هدف معقول است (Peng, 2016: 23).

اغلب، سیاست‌گذاران تحت فشار قرار می‌گیرند تا رویکردهایی را برای عوامل بیولوژیکی تحت حمایت استراتژی‌های مرتبط با سلاح‌های هسته‌ای، به‌ویژه در مورد کنترل مواد، ترکیب کنند. با این حال، این پاسخ بسیاری از ویژگی‌های متمایز و متفاوت عوامل بیولوژیکی و مواد هسته‌ای را تضعیف

و ساده می‌کند. یکی از این روش‌ها که اغلب در این زمینه تلاش می‌شود، تمرکز بر امنیت پاتوژن یا تأمین امنیت و ممانعت از دسترسی به مواد لازم در توسعه سلاح‌های بیولوژیکی است. همان ویژگی‌هایی که سلاح‌های هسته‌ای را قابل ردیابی می‌کند، همان چیزی است که نظارت و راستی‌آزمایی مواد سلاح‌های بیولوژیکی را دشوار می‌کند (Jinek, 2022: 817). این ویژگی‌ها شامل حضور در طبیعت، هزینه‌های تولید، تنوع مواد و سایر مصارف قانونی است. به غیر از آبله و یک بیماری عفونی دیگر (آفت‌زدگی)، همه میکروبیولوژیک‌های دیگر در طبیعت یافت می‌شوند. با تکنیک‌های سنتز ژن، رمز توالی دی.ان.ای به تنهایی ممکن است برای ایجاد یک ویروس از ابتدا مورد استفاده قرار گیرد. انتشار گسترده و بین‌المللی به این معنی است که دانش در مورد پیشرفت‌های علم و فناوری به‌طور گسترده در دسترس است و ممکن است دیجیتال باشد (به جای فیزیکی). به دلیل داده‌های توالی ژن (یعنی کد) و قابلیت‌های سنتز، نمونه‌ها ممکن است هرگز منتقل نشوند. ساختار سازمانی و رویکردهای محدود کردن تکثیر و آسیب‌های ناشی از بیوتکنولوژی‌های نوظهور باید از مدل‌های هسته‌ای بیاموزند، اما نباید با آن‌ها مرتبط شوند (Cong, 2020: 820).

به جای تمرکز بر ایمن‌سازی مواد بیولوژیکی و آزمایشگاه‌ها از سوء استفاده، توصیه‌ها و برنامه‌های دیگر ممکن است مؤثرتر باشند. این توصیه‌ها عبارت‌اند از: قابلیت‌های نظارت زیستی و تشخیص زودهنگام همراه با همکاری آزمایشگاهی و تحقیقاتی جهانی - توسعه قرن بیستم، برنامه‌های کاهش تهدید تعاونی، یک رژیم راستی‌آزمایی مؤثر برای کاهش تهدید سلاح‌های بیولوژیکی در حال حاضر بیشتر به یک فعالیت اطلاعاتی شباهت دارد تا یک آژانس سنتی کنترل تسلیحات. نظارت و تجزیه و تحلیل از اهمیت حیاتی برخوردار خواهد بود. ساختار مؤسسه‌ای که قصد دارد دامنه بالقوه کامل بیوتکنولوژی را در اختیار بگیرد، باید بتواند عدم قطعیت‌ها را جذب کرده و به آن‌ها پاسخ دهد تا بیشترین تأثیر را داشته باشد. این امر به‌ویژه اگر بخواهد اثر بازدارنده‌ای در مورد تکثیر کننده‌های بالقوه داشته باشد، صادق است (Gaj, 2023: 400).

۳-۸. کنوانسیون‌های بیولوژیکی

در حالی که کنوانسیون سلاح‌های بیولوژیکی^۱ و سایر مکانیسم‌های بین‌المللی به ایجاد «هنجارهای» بین‌المللی کمک می‌کنند که استفاده از عوامل بیولوژیکی برای استفاده دولتی یا غیردولتی را به‌عنوان سلاح محکوم می‌کند، به خودی خود یک عامل بازدارنده نیست. در صورت دستیابی به اسناد معتبر، یک رژیم راستی‌آزمایی می‌تواند پشتیبانی جهانی برای استراتژی‌های

¹ BWC

بازدارنده را فراهم کند. برای این که چنین رژیمی معتبر باشد، باید ابهامات را تصدیق کرد و روش‌هایی برای رسیدگی به آن‌ها تدوین، آزمایش و نهادینه کرد. در حالی که از نظر فکری تحریک‌آمیز و در زمینه‌های برنامه‌ریزی استراتژیک مفید است، تعیین فهرست‌هایی از تهدیدات احتمالی سلاح‌های بیولوژیکی در آینده در بهترین حالت یک بازی خطرناک است. عدم قطعیت‌های معقول و قابل قبول راستی آزمایی بیولوژیکی باید به روشی بیش از گذرا مورد بررسی قرار گیرد. چالش‌ها و کار واقعی در نهایت در جزییات حل وسعت و ساختار است (Lieber, 2023: 1). موضوع استفاده یک دولت (یا به احتمال کمتر، یک گروه تروریستی) از سلاح‌های پیشرفته بیولوژیکی علیه یک کشور دیگر، هم در شرایط همه‌گیری جهانی کنونی و هم به دلیل افزایش علاقه به بیوتکنولوژی در سطح جهانی، یک نگرانی فزاینده است. با این حال، تحقیقات اندکی در زمینه بازدارندگی تسلیحاتی به روش‌های مقابله با تهدید سلاح‌های بیولوژیکی و حتی کمتر در مورد بازدارندگی بیوتروریسم می‌پردازد. پر کردن شکاف بین علوم زیستی و علوم اجتماعی برای ابداع استراتژی‌های قابل اجرا که می‌تواند به بازدارندگی موفق سلاح‌های زیستی منجر شود، حیاتی است. به‌طور مشابه، تفکر در مورد راستی‌آزمایی و رژیم‌های کنترل تسلیحات بین‌المللی می‌تواند به‌عنوان بخشی از رویکردهای جدید بازدارندگی استراتژیک در قرن حاضر مورد بررسی قرار گیرد (Bouabe, 2013: 3).

۹-۳- نگرانی‌های زیست محیطی و اقتصادی

بین ویرایش ژنوم که در درمان بیماری‌های ارثی به کار می‌رود و استفاده از آن برای بهبود انسان، رابطه‌ای سیال وجود دارد. افزایش ژنتیکی انسان پیامدهای امنیتی قابل توجهی دارد. در برخی کشورها، تأیید استفاده از ویرایش ژنوم برای این منظور (به عنوان مثال IQ و استقامت فیزیکی) پیامدهای امنیتی گسترده‌ای در سطح ملی و بین‌المللی به همراه خواهد داشت. این خطرات امنیتی باید در ارزیابی‌های ریسک فایده بهبود انسان بر اساس ویرایش ژنوم گنجانده شوند (Ishii, 2015: 5; Cox et al. 2015). برخی از تکنیک‌های ویرایش ژنوم امکان ایجاد کلاس جدیدی از ارگانسیم‌های بیماری‌زای عفونی را باز می‌کند. یک مثال اخیر ایجاد مدل‌های سرطان در موش‌ها بوده است، جایی که جهش سرطانی از طریق ویرایش ژنوم با استفاده از ناقل‌های ویروسی معرفی شد- در اصل سرطان را به یک بیماری عفونی قابل انتقال تبدیل می‌کند. این خطرات ایمنی جدیدی ایجاد می‌کند که باید در طرح‌های نظارت بر ایمنی زیستی گنجانده شود. علاوه بر این، چنین کاری

پتانسیل ایجاد نسل‌های جدیدی از سلاح‌های بیولوژیکی و شیمیایی را دارد که ممکن است با تشخیص فعلی قابل شناسایی نباشند (Chiou et al. 2015: 8).

استفاده از ویرایش ژنوم در مهندسی محیط زیست در زمینه کنترل آفات، با راه‌های جدید برای از بین بردن آفات کشاورزی و همچنین ریشه کنی بیماری مورد بحث قرار گرفته است. برای مثال، سیستم‌های محرک ژنی برای ریشه کنی مالاریا در حال توسعه هستند و برای ریشه کنی ناقل بند پایان در نظر گرفته شده‌اند. نگرانی‌های کلیدی ایمنی مربوط به مضر بودن محیط زیست، قابلیت کنترل و برگشت پذیری چنین مداخلات زیست محیطی است. نگرانی‌های امنیتی کلیدی مربوط به استفاده بالقوه آن‌ها به عنوان سلاح‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی است (Zika Hegg, 2016: 2). همچنین، استفاده از محرک‌های ژنی در یک زمینه محیطی خطرات جدیدی را هم برای ایمنی و هم برای امنیت ایجاد می‌کند که توسط مرزهای ملی محدود نمی‌شود. رویکردهای فعلی مدیریت ریسک ملی و بین‌المللی به ایمنی زیستی و امنیت زیستی قادر به کاهش این خطرات به اندازه کافی نیستند. استفاده از ویرایش ژنوم در کشاورزی برای اهداف اصلاحی در گیاهان و حیوانات چالش‌های منحصر به فرد و جدیدی را برای ایمنی زیستی و امنیت زیستی ایجاد می‌کند. نگرانی‌های کلیدی ایمنی مربوط به زاد و ولد و گسترش این گونه‌های جدید در جمعیت‌های طبیعی، قابل تشخیص بودن این گونه‌های جدید و چالش‌های موجود در مقررات همزیستی است (Sovová et al. 2016: 4).

جمع‌بندی

تکنیک‌های ویرایش ژنوم، به‌ویژه آن‌هایی که به کریسپر-کاس ۹ مربوط می‌شوند، هزینه‌ها را کاهش داده و بازده تحقیقات ژنومی را افزایش داده‌اند و در نتیجه امکان دستکاری ژنتیکی سلول‌ها و ارگانیسم‌هایی را فراهم می‌کنند که به‌طور سنتی انجام آن‌ها دشوار یا غیرممکن بوده است. جهت عمده‌ای که فناوری به سمت آن حرکت می‌کند، امکان تغییر عملکرد ژن است، به جای این که عملکرد ژن را به کلی از بین ببرد. این رویکرد تا حدودی به سمت کاربردی کردن این فناوری برای درمان تعدادی از بیماری‌های انسانی پیش می‌رود. با این حال، نگرانی‌های جدی در رابطه با جنبه‌های اخلاقی ارائه فناوری، ایجاد انواع جدید بر روی جمعیت انسانی و تأثیر منفی بالقوه بر پیامدهای ناخواسته وجود دارد. بسیاری از محققان خواستار یک بحث عمومی در مورد پیامدهای اجتماعی، اخلاقی و قانونی ویرایش ژنوم در زاد و ولد شده‌اند، با این حال بسیاری از نگرانی‌های بهداشتی

دیگر نیز وجود دارند که باید مورد بحث و بررسی قرار گیرند. اگرچه این فناوری تا حدودی از استفاده به شیوه‌ای مؤثر بالینی فاصله دارد، اما انجام این بحث‌ها در سطح ملی، محلی و دولتی ضروری است.

در ظاهر پدافند زیستی در بیشتر کشورهای قدرتمند، معطوف سیاست امنیتی و خارجی است و توجهی به بهداشت عمومی در سطح جهانی ندارد. این نکته قابل تأمل است که امنیت‌سازی در بخش‌های خاص بدون هماهنگ‌سازی با دیگر بخش‌ها، توسعه نامعلوم و ناپایداری را به دنبال خواهد داشت و سیاست‌گذاری نامناسب در تهدید بیوتروریسم، می‌تواند ظرفیت پاسخگویی یک کشور را به مخاطره بیندازد. در حقیقت بیوتروریسم قسمتی از وقایع تحت تأثیر عوامل بیولوژیکی است که به‌طور عمدی مدیریت می‌گردد و در تعریف، بیوتروریسم می‌تواند سوء استفاده از عوامل بیولوژیک یا فرآورده‌های آن علیه انسان، موجودات زنده و غیر زنده بیان گردد که امنیت را هدف قرار داده است. بر این مبنای بیوتروریسم نیازمند ایجاد رعب و وحشت عمومی برای رسیدن به اهداف صرفاً نظامی نبوده و این فعالیت‌ها می‌تواند با برخورداری کامل از یک پوشش طبیعی بنیان‌های اقتصادی و اجتماعی، سلامت جوامع را هدف قرار دهند و طراحان حوادث را با صرف هزینه‌ای که قربانی می‌پردازد به مقصود برساند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان، مقاله پیش‌رو فاقد هر گونه تعارض منافع بوده است.

Translated References to English

- Bassett, A.R., Tibbit, C., Ponting, C.P., Liu, J.L. (2023). Highly efficient targeted mutagenesis of *Drosophila* with the CRISPR/Cas9 system. *Cell Reports*. 4 (1), 220–228.
- Bigdeli, A. (2020). Hybrid Intelligence. *Scientific Journal of Research Approaches in the Social Sciences*, 6(1), 61-74. [In Persian]
- Bouabe, H., Okkenhaug, K. (2023). Gene targeting in mice: a review. *Methods Mol Biol*. 1064:315–36.
- Capecchi, M.R. (2025). Gene targeting in mice: functional analysis of the mammalian genome for the twenty-first century. *Nat Rev Genet*. 6(6), 507–12.
- Cho, S.W., Kim, S., Kim, Y., Kweon, J., Kim, H.S., Bae, S., et al. (2024) Analysis of off-target effects of CRISPR/Cas-derived RNA-guided endonucleases and nickases. *Genome Resarche*. 24 (1), 132–41.
- Cong, L., Ran, F.A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., et al. (2023). Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*. 339(6121):819–23.
- Cox, D.B., Platt, R.J., Zhang, F. (2015). Therapeutic genome editing: prospects and challenges. *Nat Med*, 21 (2), 121–31.
- Fatollahi Arani, S., Zeinoddini, M. (2023). Gene editing: biosecurity challenges and risks. *J Police Med*. 12(1), 1-19. [In Persian]

- Ferry, Q.R., Lyutova, R., Fulga, T.A. (2017). Rational design of inducible CRISPR guide RNAs for de novo assembly of transcriptional programs. *Nat Commun*, 8: 14633.
- Finer, M., Glorioso, J. (2017). a brief account of viral vectors and their promise for gene therapy. *Gene Ther*, 24 (1), 1–2.
- Gaj, T., Gersbach, C.A., Barbas, C.F. (2023). ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. *Trends Biotechnol*, 31(7), 397–405.
- Gilbert, L.A., Larson, M.H., Morsut, L., Liu, Z., Brar, G.A., Torres, S.E., et al. (2023). CRISPR-mediated modular RNA-guided regulation of transcription in eukaryotes. *Cell*, 154 (2), 442–451.
- Hockemeyer, D., Wang, H., Kiani, S., Lai, C.S., Gao, Q., Cassady, J.P., et al. (2021). Genetic engineering of human pluripotent cells using TALE nucleases. *Nat Biotechnol*, 29(8), 731–4.
- Holkers, M., Maggio, I., Henriques, S.F., Janssen, J.M., Cathomen, T., Goncalves, M.A. (2024). Adenoviral vector DNA for accurate genome editing with engineered nucleases. *Nat Methods*, 11(10), 1051–7.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J.A., Charpentier, E. (2022). A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337(6096), 816–21.
- Jinek, M., East, A., Cheng, A., Lin, S., Ma, E., Doudna, J. (2023). RNA-programmed genome editing in human cells. *E Life*, 2, 1–9.
- Kay, M.A., Manno, C.S., Ragni, M.V., Larson, P.J., Couto, L.B., McClelland, A., et al. (2020). Evidence for gene transfer and expression of factor IX in haemophilia B patients treated with an AAV vector. *Nat Genet*, 24 (3), 257–261.
- Khuri, F.R., Nemunaitis, J., Ganly, I., Arseneau, J., Tannock, I.F., Romel, L., et al. (2020). a controlled trial of intratumoral ONYX-015, a selectively-replicating adenovirus, in combination with cisplatin and 5-fluorouracil in patients with recurrent head and neck cancer. *Nat Med*, 6(8), 79–85.
- Kim, S., Kim, D., Cho, S.W., Kim, J., Kim, J.S. (2024). Highly efficient RNA-guided genome editing in human cells via delivery of purified Cas9 ribonucleoproteins. *Genome Res*, 24(6), 12–19.
- Kleinstiver, B.P., Pattanayak, V., Prew, M.S., Tsai, S.Q., Nguyen, N.T., Zheng, Z., et al. (2016). High-fidelity CRISPR-Cas9 nucleases with no detectable genome-wide off-target effects. *Nature*, 529(7587), 490–5.
- Larson, M.H., Gilbert, L.A., Wang, X., Lim, W.A., Weissman, J.S., Qi, L.S. (2023). CRISPR interference (CRISPRi) for sequence-specific control of gene expression. *Nat Protoc*, 8 (11), 2180–96.
- Li, H.L., Fujimoto, N., Sasakawa, N., Shirai, S., Ohkame, T., Sakuma, T., et al. (2015). Precise correction of the dystrophin gene in duchenne muscular dystrophy patient induced pluripotent stem cells by TALEN and CRISPR-Cas9. *Stem Cell Reports*, 4(1), 143–54.
- Lieber, M.R., Ma, Y.M., Pannicke, U., Schwarz, K. (2023). Mechanism and regulation of human non-homologous DNA end-joining. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 4 (9), 12–20.
- Lin, Y., Cradick, T.J., Brown, M.T., Deshmukh, H., Ranjan, P., Sarode, N., et al. (2024). CRISPR/Cas9 systems have off-target activity with insertions or deletions between target DNA and guide RNA sequences. *Nucleic Acids Res*, 42(11), 73–85.
- Liu, X.S., Wu, H., Ji, X., Stelzer, Y., Wu, X., Czauderna, S., et al. (2024). Editing DNA Methylation in the Mammalian Genome. *Cell*, 167 (1), 233–47.
- Mali, P., Yang, L., Esvelt, K.M., Aach, J., Guell, M., DiCarlo, J.E., et al. (2023). RNA-guided human genome engineering via Cas9. *Science*, 339 (6121), 23–26.
- Marshall, E. (2024). Gene therapy death prompts review of adenovirus vector. *Science*, 286 (5448), 44 – 45.
- Moscou, M.J., Bogdanove, A.J. (2019). a simple cipher governs DNA recognition by TAL effectors. *Science*, 326(5959), 1501.

- Peng, R., Lin, G., Li, J. (2016). Potential pitfalls of CRISPR/Cas9-mediated genome editing. *FEBS J*, 283(7), 1218–31.
- Ramanan, V., Shlomai, A., Cox, D.B., Schwartz, R.E., Michailidis, E., Bhatta, A., et al. (2015). CRISPR/Cas9 cleavage of viral DNA efficiently suppresses hepatitis B virus. *Sci Rep*, 5: 10833.
- Ran, F.A., Hsu, P.D., Wright, J., Agarwala, V., Scott, D.A., Zhang, F. (2023). Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nat Protoc*, 8 (11), 2281–308.
- Reardon, S. (2016). Welcome to the CRISPR zoo. *Nature*, 531(7593), 160–163.
- Schwank, G., Koo, B.K., Sasselli, V., Dekkers, J.F., Heo, I., Demircan, T., et al. (2023). Functional repair of CFTR by CRISPR/Cas9 in intestinal stem cell organoids of cystic fibrosis patients. *Cell Stem Cell*, 13 (6), 653–8.
- Swiech, L., Heidenreich, M., Banerjee, A., Habib, N., Li, Y., Trombetta, J., et al. (2015). In vivo interrogation of gene function in the mammalian brain using CRISPR-Cas9. *Nat Biotechnol*, 33(1), 102–106.
- Tebas, P., Stein, D., Tang, W.W., Frank, I., Wang, S.Q., Lee, G., et al. (2024). Gene editing of CCR5 in autologous CD4 T cells of persons infected with HIV. *N Engl J Med*, 370 (10), 901–10.
- Urnov, F.D., Miller, J.C., Lee, Y.L., Beausejour, C.M., Rock, J.M., Augustus, S., et al. (2024). Highly efficient endogenous human gene correction using designed zinc-finger nucleases. *Nature*, 435 (7042), 46–51.
- Wagner, H. (2001). Toll meets bacterial CpG-DNA. *Immunity*, 14 (5), 499–502.
- Wang, X., Wang, Y., Wu, X., Wang, J., Wang, Y., Qiu, Z., et al. (2015). Unbiased detection of off-target cleavage by CRISPR-Cas9 and TALENs using integrase-defective lentiviral vectors. *Nat Biotechnol*, 33 (2), 175–8.
- Wang, Z., Pan, Q., Gendron, P., Zhu, W., Guo, F., Cen, S., et al. (2016). CRISPR/Cas9-Derived Mutations Both Inhibit HIV-1 Replication and Accelerate Viral Escape. *Cell Reports*, 15 (3), 481–9.

