مجله ایمنی زیستی
دوره ۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

گیاهان اصلاح ژنتیکی شده: نگرانی‌ها و واقعیت‌ها

رضا حیدری جاپلقی[1] و ابراهیم دورانی[2]*

[1]دانشجوی دکتری تخصصی بیوتکنولوژی گیاهی، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

[2]استادیار گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

uliaie@yahoo.com

چکیده

محصولات اصلاح شده ژنتیکی (Genetically Modified, GM) که به‌طور معمول در سطح جهان مورد کشت و کار قرار می‌گیرند، شامل سویا، پنبه، ذرت و کلزا هستند. با این‌حال، محصولات GM دیگری مانند برنج و سیب‌زمینی شیرین نیز مراحل تجاری‌سازی را سپری می‌کنند. تولید سویای مقاوم به علف‌کش گلایفوزات با نام تجاری Roundup Ready در سال ۱۹۹٦ که به‌میزان زیادی در صنایع غذایی و تغذیه دام و طیور در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بحث‌های عمومی در مورد خطرهای احتمالی محصولات GM را آغاز کرد. احتمالات خطراتی که در رابطه با محصولات GM مطرح هستند، عبارتند از جریان ژنی به موجودات زنده غیر هدف، خطر به وجود آمدن ابر آفات (Superpest)، ابر بیماری‌ها (Superdisease) و ابر علف‌های هرز (Superweed)، اثر سوء روی تنوع زیستی و فرار ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک از محصولات GM به طبیعت، نگرانی‌های مربوط به ایمنی غذایی و اثر آن‌ها روی سلامت انسان، دام و طیور. علاوه بر محصولات GM مقاوم به علف‌کش‌ها و آفات، هم اکنون نسل جدید محصولات GM در حال تولید بوده که شامل گیاهان تراریخته تولید کننده پروتئین‌های نوترکیب، آنزیم‌ها و بیوپلیمرهای صنعتی، سوخت‌های زیستی و ترکیبات و عناصر غذایی هستند.

کلمات کلیدی: محصولات GM، ایمنی زیستی، تنوع زیستی، ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک، انتقال افقی ژن

مقدمه

بر اساس گزارش سرویس بین‌المللی برای دسترسی به برنامه‌های کاربردی در زمینه زیست فناوری کشاورزی (ISAAA)، کل سطح زیرکشت جهانی محصولات GM، در سال ۲۰۱۷ در ۲٤ کشور به حدود ۱۸۹/۸ میلیون هکتار رسید (۱۸). در آمریکا غذاهای حاصل از محصولات GM به فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از غذاهای حیوانی مورد استفاده در اروپا جهت تغذیه دام و طیور از مواد گیاهی وارداتی حاوی محصولات GM می‌باشند (۲۱). علاوه بر محصولات GM مقاوم به علف‌کش‌ها و آفات، هم اکنون نسل جدید محصولات GM در حال تولید بوده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

و آماده ورود به بازار مصرف می‌باشند. این گیاهان شامل گیاهان تراریخته تولید کننده پروتئین‌های نوترکیب، آنزیم‌ها و بیوپلیمرهای صنعتی، سوخت‌های زیستی و ترکیبات و عناصر غذایی می‌باشند (۲۱و ۷). تولید اولین موجودات زنده تراریخته در اوایل دهه ۱۹۷۰، بحث‌هایی را در مورد خطرات احتمالی آن‌ها آغاز نمود که تا به امروز ادامه دارند. در سال ۱۹۷۵ زیست شناسان مولکولی، پیشنهادهایی را در مورد استفاده ایمن از این موجودات در آزمایشگاه ارائه دادند که نهایتا موجب شد تا مرکز ملی بهداشت آمریکا (The US National Institute of Health-NIH) در سال ۱۹۷٦، در مورد پژوهش‌های آزمایشگاهی در زمینه دی.ان.ای نوترکیب و خطرات احتمالی موجودات زنده تراریخته، رهنمودهایی را ارائه نماید. موضوع خطرات احتمالی موجودات زنده تراریخته بر محیط تا دهه ۱۹۸۰ مورد توجه قرار نگرفته بود، اما از آن به بعد این موضوع توسط زیست شناسان، بوم شناسان و دانشمندان محیط زیست به‌طور جدی دنبال شد. در آن زمان، تراریزش میکروبی به‌طور عادی انجام می‌شد، در حالی‌که تولید گیاهان تراریخته تنها به عنوان یک فناوری قابل انجام در آینده مورد توجه قرار می‌گرفت. بحث‌های اولیه در مورد خطرهای احتمالی موجودات زنده تراریخته، شامل دو موضوع مهم بود: آیا موجودات زنده تراریخته می‌توانند محیط زیست را به خطر بیاندازند؟ درصورت وجود خطرات احتمالی، چگونه باید آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد؟ در اواسط دهه ۱۹۸۰، ارزیابی خطرهای احتمالی گیاهان تراریخته روی محیط مورد توجه جدی قرار گرفت که در نهایت موجب شکل‌گیری ایده مورد به مورد (Case- by-case) جهت ارزیابی خطرات احتمالی شد (۲). با تولید پنبه مقاوم به آفات، تولید کننده سم Bt از باکتری *Bacillus thuringiensis*، در سال ۱۹۹۵ و سویای مقاوم به علف‌کش گلایفوزات در سال ۱۹۹٦ که به میزان زیادی در صنایع غذایی و تغذیه دام و طیور در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بحث‌های عمومی در مورد خطرات احتمالی محصولات GM نیز شروع شد (۲۸).

خطرهای احتمالی گیاهان تراریخته روی محیط زیست، ابتدا توسط Snow و Moran-Palma (٤۳) معرفی شدند که عبارت بودند از: ۱) اثرات سوء روی تنوع زیستی موجودات زنده غیرهدف، ۲) خطر جریان ژنی در بین گونه‌های مشابه و حتی دور و ۳) احتمال ایجاد مقاومت در موجود زنده غیرهدف مانند حشرات آفات مقاوم به محصولات Bt و علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها. یکی دیگر از نگرانی‌هایی که در مورد محصولات GM بیان شد، اثرهای سوء غذاهای حاصل از گیاهان تراریخته روی سلامت انسان بود که این ادعا بر سمی بودن گیاهان تراریخته یا تحریک واکنش‌های حساسیت‌زایی در بدن انسان تاکید می‌کرد (٤و ۹). بررسی سلامت غذاهای حاصل از گیاهان تراریخته، به‌ویژه زمانی که گیاه تراریخته، پروتئین جدیدی را به میزان زیاد بیان می‌کند، یا هنگامی که محصول حاصل از تراژن به‌طور معمول در رژیم غذایی انسان وجود ندارد، ضروری است. همچنین بررسی حساسیت‌زایی پروتئین حاصل از تراژن، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد که معمولا شامل میزان پایداری پروتئین در برابر واکنش‌های دمایی و هضم و نیز میزان شباهت به آلرژن‌های شناخته شده می‌باشد (۹).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

از نگرانی‌های مطرح شده دیگر از طرف مخالفان مهندسی ژنتیک، استفاده از ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک در تولید آن‌ها می‌باشد. آنتی‌بیوتیک‌ها، ترکیبات زیستی تولید شده توسط گونه‌های مختلفی از ریزسازوره‌ها می‌باشند که از رشد سایر ریزسازواره‌ها جلوگیری کرده و ممکن است موجب از بین رفتن آن‌ها شوند. رقابت میان گونه‌های میکروبی احتمال دارد به دلیل وجود آنتی‌بیوتیک‌ها بوده و ریزسازواره‌ها از طریق سازوکارهای مختلفی، صفت مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها را کسب می‌کنند. بیشتر مقاومت‌های مهم کلینیکی به آنتی‌بیوتیک‌ها در باکتری‌ها، ناشی از وجود پلاسمیدها یا سایر عناصر متحرک ژنتیکی حاوی ژن یا ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشند. به‌طور معمول پلاسمیدها به سرعت در میان باکتری‌های هم گونه و حتی میان سایر گونه‌های غیر مرتبط منتقل می‌شوند (۱۵). صفات مقاومت به آنتی‌بیوتیک در زیست فناوری گیاهی و تولید محصولات GM بسیار کاربرد داشته و به‌طور کلی ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک در ساخت پلاسمیدها و ناقلین به منظور تکثیر مواد ژنتیکی در باکتری *Escherichia coli* یا تراریزش گیاهی با استفاده از باکتری *Agrobacterium tumefaciens* مورد استفاده قرار می‌گیرند. از خطرهای احتمالی مطرح شده در مورد ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک، می‌توان به اثرات مستقیم ژن یا محصول پروتئینی روی سلامت انسان یا حیوانات، خطر انتقال افقی ژن از محصولات GM به سلول‌های انسانی، باکتری‌های فلور و ریزسازواره‌های خاک اشاره نمود (۱٦).

در این مقاله مروری، پس از بررسی وضعیت جهانی محصولات GM، خطرهای احتمالی محصولات GM روی محیط و سلامت انسان و حیوان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. انواع آنتی‌بیوتیک‌های مورد استفاده در زیست‌فناوری گیاهی و ایمنی این ژن‌ها در محصولات GM مورد بحث قرار گرفته و در بخش آخر نسل آینده محصولات GM و به‌کارگیری روش‌های جدید مهندسی ژنتیک، به‌منظور کاهش خطرهای احتمالی محصولات GM در جهت افزایش درک عمومی از این محصولات و توسعه جنبه‌های تجاری‌سازی آن‌ها توضیح داده می‌شوند.

۱- وضعیت جهانی محصولات GM

در سال ۱۹۹٤، گیاه گوجه فرنگی با صفت تغییر در زمان رسیدگی میوه به عنوان اولین گیاه تراریخته تحت نام تجاری Flavr Savr در آمریکا تولید و تجاری‌سازی شد. پس از آن با تولید پنبه مقاوم به آفات در سال ۱۹۹۵ و سویای مقاوم به علف‌کش گلایفوزات با نام تجاری Roundup Ready در سال ۱۹۹٦، تولید تجاری محصولات GM وارد مرحله تازه‌ای شد. محصولات GM در تمام شش قاره جهان به طور تجاری کشت شده و از مجموع ۲٤ کشور فعال در زمینه زیست‌فناوری کشاورزی در سال ۲۰۱۷، حدود ۱۸ کشور دارای بیش از ۵۰۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت محصولات GM هستند. حدود ۹۱ درصد از سطح زیر کشت جهانی محصولات GM در پنج کشور آمریکا، برزیل، آرژانتین، کانادا و هند قرار دارد. از ۲٤ کشور فعال در زمینه کشت محصولات GM، ۱۹ کشور جزء کشورهای در حال توسعه و ۵ تای آن به عنوان کشورهای صنعتی شناخته می‌شوند. بیش از نیمی از سطح زیر کشت جهانی محصولات GM معادل ۵۳ درصد یا ۱۰۰/٦۰ میلیون هکتار در ۱۹ کشور در حال توسعه قرار داشته و مابقی آن در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

کشورهای صنعتی واقع است (۱۸).

محصولات GM به‌طور معمول شامل چهار گونه گیاهی پنبه، سویا، ذرت و کلزا هستند که به‌ترتیب حدود ۸۰، ۷۷، ۳۲ و ۳۰ درصد از کل سطح زیر کشت جهانی را تشکیل می‌دهند. این چهار محصول GM در بیشتر موارد جهت تغذیه حیوان‌ها، تولید فیبر و اتانول و تولید محصولات غذایی از قبیل شکر، پروتئین سویا، لسیتین، روغن‌های مختلف و غیره استفاده می‌شوند (۱۸). صفاتی که به طور معمول در محصولات GM مورد مطالعه قرار می‌گیرند شامل مقاومت در برابر علف‌کش‌های گلایفوزات و گلوفوزینات و تولید سم Bt از باکتری *B. thuringiensis* جهت مقابله با لارو حشرات بال پولک‌داران و سخت بال‌پوشان هستند (۲۸). علی‌رغم گذشت دو دهه موفقیت‌آمیز از کشت و کار این گیاهان در دنیا، هنوز گروهی از محققین و به تبع آن بخشی از جامعه بشری در قالب سازمان‌های مختلف در سلامت این موجودات تردید دارند. از طرف دیگر گروهی نیز نجات جمعیت جهانی در حال رشد را منحصرا به توسعه موجودات تراریخت گره می‌زنند. در ذیل به راستی‌آزمایی ادعاهای طرفداران هر دو گروه و استنادهای آن‌ها پرداخته شده و قضاوت نهایی بر عهده خوانند گذاشته می‌شود.

۲) محصولات GM و محیط زیست

اولین ارزیابی‌های علمی در مورد خطرهای احتمالی گیاهان تراریخته روی محیط زیست در دهه ۱۹۸۰ مطرح شد و تا پایان این دهه یک توافق علمی جهت ارزیابی مورد به مورد خطرهای محیطی گیاهان تراریخته تهیه شد. در دهه ۱۹۹۰ این توافق مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت و خطرهای احتمالی به احتمال جریان ژنی در بین موجودات زنده غیر هدف، کاهش تنوع زیستی و خطر مقاومت آفات، امراض و علف‌های هرز در برابر روش‌های مبارزه تقسیم‌بندی شدند. اگرچه در آغاز دهه ۱۹۹۰، روش‌هایی جهت ارزیابی تمام انواع خطرهای احتمالی گیاهان تراریخته وجود داشتند، اما پس از این دهه تغییرات مهمی در این روش‌ها به وجود آمد (۲). در این بخش، نگرانی‌های مطرح شده و خطرهای احتمالی مطرح شده در مورد رهاسازی محصولات GM به محیط شرح داده می‌شوند. این نگرانی‌ها عبارتند از: جریان ژن و انتقال افقی ژن بین موجودات تراریخت و طبیعی، موجودات زنده غیرهدف، افزایش قدرت تهاجمی محصولات GM، اثرهای سوء روی تنوع زیستی و خطرهای مقاومت.

۱-۲- جریان عمودی ژن

جریان ژن (Gene flow) یا انتقال عمودی ژن (Vertical gene transfer) عبارت است از انتقال ژن بین گیاهان زراعی و گونه‌های خویشاوند وحشی سازگار از نظر جنسی و تشکیل گیاهان دورگ بارور و پایدار. پدیده جریان ژن یک پدیده جدید نبوده و در طول تاریخ تکاملی زمین همواره وجود داشته است. این پدیده تنها مختص به محصولات GM نبوده و بین سایر محصولات زراعی تراریخته، گیاهان وحشی، علف‌های هرز و گونه‌های بومی در زمین‌های زراعی و زیست‌گاه‌های وحشی مشاهده می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ژن‌های گیاهی از طریق دانه گرده و بذر می‌توانند مسافت‌های زیادی را طی کنند. به هر حال پدیده جریان ژن به عوامل مختلفی بستگی دارد که عبارتند از: وجود گونه‌های خویشاوند وحشی سازگار از نظر جنسی، نزدیک بودن گیاهان والدینی،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

نوع سیستم گرده‌افشانی (خودگرده‌افشان بودن یا دگرگرده‌افشان بودن)، گلدهی یا عدم گلدهی، میزان تولید دانه گرده، دامنه پراکنش دانه گرده، سازوکار انتقال دانه گرده، ماندگاری و دوام دانه گرده در محیط، احتمال تولید بذور بارور، تولید گیاهان دورگ ماندگار و بارور، شرایط محیطی و غیره. پس از انتقال دانه گرده و عمل آمیزش، پدیده ورود ژن به درون ژنوم میزبان از طریق تلاقی برگشتی رخ داده و بدین ترتیب ژن‌های جدید در طبیعت تثبیت می‌شوند. در صورتی که نسل F1 حاصل از تلاقی یک گیاه GM و یک گونه خویشاوند وحشی عقیم باشد یا ماندگاری پایین داشته باشد، نرخ جریان ژن کاهش می‌یابد (۱۳). در صورتی که تراژن‌ها مضر باشند یا اینکه از نظر ژنتیکی با ژن‌های مضر پیوستگی داشته باشند، می‌توانند وارد جمعیت‌های طبیعی شده و تثبیت شوند. با وجود این‌که انتظار می‌رود این پدیده اثرهای ناچیزی روی جمعیت داشته باشد، اما ممکن است منجر به افزایش تنوع ژنتیکی در گونه‌های وحشی شده یا موجب انقراض جمعیت‌های وحشی شود. بعلاوه تثبیت گیاهان دورگ و انتشار بعدی تراژن تحت تاثیر عواملی همچون قدرت تولید مثل گیاه دورگ، اندازه و تراکم جمعیت پذیرنده، قدرت رقابت دانه گرده، گلدهی همزمان و رانده‌شدگی ژنتیکی (Genetic drift) قرار خواهد گرفت. همچنین پراکنش بذور در اثر عملیات زراعی مانند پراکنده شدن بذور در طی حمل و نقل و فعالیت ماشین‌آلات کشاورزی می‌تواند موجب انتشار تراژن و ظهور صفات جدیدی در گیاهان تراریخته در نقاطی دور از محل کاشت آن‌ها شود (۹). وجود گونه‌های داوطلب (Volunteer) (حدواسط گونه زراعی و علف‌هرز)، جمعیت‌های وحشی و گونه‌های خویشاوند علف هرز ممکن است به عنوان مخازنی برای تراژن‌ها در طی زمان عمل کنند. گیاه ذرت به جزء در مکزیک و آمریکای جنوبی، فاقد گونه‌های خویشاوند وحشی یا علف هرز در سایر نقاط جهان بوده و بنابراین نگرانی‌هایی در مورد خطر احتمالی انتقال تراژن وجود ندارد، چون قادر به تولید داوطلب‌ها و تثبیت جمعیت‌های وحشی نیست. اما وضعیت در مورد کلزا به دلیل انتقال تراژن از طریق دانه گرده و بذر، تثبیت جمعیت داوطلب‌ها و آمیزش آن‌ها با گونه‌های خویشاوند وحشی در اروپا و آمریکای شمالی کمی پیچیده است (۵). نتیجه این‌که با اعمال مدیریت صحیح در عملیات زراعی می‌توان جمعیت داوطلب‌ها را که نقش مهمی در انتقال دانه گرده به مزارع گیاهان غیرتراریخته مجاور دارند در سطوح پایین حفظ کرد.

هر چند گزارش‌های زیادی از انتقال تراژن‌ها از گیاهان تراریخته به طبیعی وجود ندارد، ولی روش‌هایی جهت محدود کردن انتقال ژن از محصولات GM به گونه‌های وحشی یا علف هرز وجود دارد که شامل استفاده از گونه‌های خودگرده‌افشان، جداسازی و ایجاد فواصل جداسازی بین گیاهان تراریخته و غیرتراریخته، عدم تماس ناقل‌های گرده افشانی با گل‌های گیاهان تراریخته، دستکاری ژنتیکی جهت گلدهی همزمان یا بلوکه کردن فرآیند گلدهی، استفاده از مهندسی ژنتیک جهت ایجاد نر عقیمی، استفاده از مهندسی کلروپلاست و انتقال صفات اهلی مانند خواب بذر یا کاهش پراکنش بذور در گیاهان دورگ. مهم‌ترین روش جهت محدود کردن انتقال ژن، جداسازی گونه‌های زراعی از جمعیت‌های وحشی به ویژه محصولات GM از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

محصولات غیرتراریخته و ایجاد فواصل ایمن جداسازی بین آن‌ها است. نکته مهم دیگر، تعیین فواصل جداسازی با توجه به اندازه مزرعه و جهت وزش باد و سایر شرایط محیطی است که می‌تواند خلوص ژنتیکی بذور را حفظ کرده و از اختلاط مکانیکی بذور جلوگیری کند (۹).

۲-۲- انتقال افقی ژن

انتقال افقی ژن (Horizontal gene transfer) به‌عنوان انتقال غیر جنسی مواد ژنتیکی بین موجودات زنده غیر مرتبط شناخته شده و به‌ویژه بین گونه‌های باکتریایی دارای عناصر متحرک ژنتیکی بسیار شایع است. این پدیده به‌عنوان یک منبع مهم از تغییرات ژنومی در بین باکتری‌ها مطرح بوده و ممکن است یک روش مرسوم جهت تکامل جمعیت‌های باکتریایی باشد. با وجود این‌که شواهدی از رخداد چنین پدیده‌ای در یوکاریوت‌ها در دست نیست، اما به عنوان یک موضوع جدی در ارزیابی ایمنی زیستی موجودات زنده تراریخته در نظر گرفته می‌شود (۲۰). یکی از نگرانی‌های مهم در مورد محصولات GM این است که ممکن است ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک در چنین محصولاتی به سایر موجودات زنده به‌ویژه ریزسازواره‌های خاکزی یا باکتری‌های فلور انسان و حیوان منتقل شده و خطرهایی را برای آن‌ها به وجود آورد. کسب مقاومت به آنتی‌بیوتیک در بین باکتری‌ها یکی از تهدیدهای جدی برای سلامت جامعه محسوب می‌شود. مقاومت به آنتی‌بیوتیک ممکن است در اثر عواملی همچون اعمال فشار گزینشی شدید در اثر رژیم‌های غذایی غیراصولی در انسان و حیوان‌ها، ایجاد مقاومت در اثر جهش و انتقال افقی ژن در بین باکتری‌های فلور گسترش یافته و بنابراین موجب می‌شود که مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان مواد دارویی در پزشکی یا دامپزشکی کارآیی لازم را نداشته باشند (۱۹).

از نظر تئوری، انتقال افقی ژن از محصولات GM به باکتری‌ها شامل مراحل متعددی است که برای یک پدیده انتقال موفق همه این مراحل باید پشت سر هم اتفاق بیافتند. اولین مرحله در دسترس بودن تراژن است. در طی رشد و نمو، تجزیه یا مصرف محصولات GM، تراژن باید از ژنوم گیاه جداسازی شده و از واکنش‌های هضم آنزیمی مصون بماند. همچنین قطعات دی.ان.ای آزاد باید اندازه کافی و ماندگاری بالایی جهت انتقال به باکتری‌ها را داشته باشند. انتقال به داخل باکتری دومین مرحله از این فرآیند پیچیده است. جهت انتقال تراژن، وجود باکتری مستعد و سازوکاری جهت عبور تراژن از دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی باکتری ضروری است. بعضی از نژادهای باکتریایی مانند *Ralstonia solanacearum* به‌طور طبیعی در مراحلی از رشد و نمو، جهت جذب دی.ان.ای مستعد هستند. همچنین از آن‌جا که تراژن به شکل پلاسمید از محصولات GM رها نمی‌شود، بنابراین انتقال ژن به روش الحاق (Conjugation) امکان‌پذیر نبوده و احتمال دارد که انتقال افقی ژن از طریق سایر روش‌ها، مشابه با روش‌های آزمایشگاهی تراریزش باکتریایی مانند تراریزش دمایی انجام می‌گیرد. در نهایت مرحله تثبیت تراژن در ژنوم باکتری است که مستلزم مصون ماندن دی.ان.ای از وقایع هضم آنزیمی باکتریایی، موفقیت در فرآیند ورود از طریق توالی‌های مشابه و بیان تراژن در میزبان جدید است (۱۵).

مطالعات نشان داده‌اند که در خاک‌هایی که از قبل

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

محصولات GM کشت شده و به مرور زمان تجزیه شده‌اند، امکان شناسایی قطعاتی از دی.ان.ای با وزن مولکولی بالا وجود دارد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که قطعات دی.ان.ای رها شده از محصولات GM ممکن است توسط باکتری‌های مستعد موجود در خاک جذب شده و وارد ژنوم میزبان جدید شوند (۱۱). تراریزش طبیعی باکتری‌های خاکزی نیازمند وجود باکتری‌های مستعد در محیط خاک و در مجاورت محصولات GM و توالی‌های مشابه بین قطعات دی.ان.ای و ژنوم باکتری است. با این حال مستعد بودن باکتری‌ها در شرایط طبیعی مانند خاک با شرایط بهینه آزمایشگاهی متفاوت بوده و میزان مستعد بودن باکتری‌ها در محیط خاک به‌مراتب کمتر از محیط آزمایشگاهی است. همچنین از آن‌جا که ژن‌های یوکاریوتی از نظر وجود اینترون‌ها، توالی‌های تنظیمی (پیش‌بر و پایان دهنده)، تنظیم اختصاصی و تمایل کدونی از ژن‌های پروکاریوتی متفاوت‌اند، بنابراین احتمال بیان یک ژن گیاهی در یک میزبان پروکاریوتی بعید به نظر می‌رسد (۸). مطالعات نشان داده‌اند که تحت شرایط آزمایشگاهی و در صورت وجود توالی‌های مشابه در روشی به نام Marker-rescue، امکان انتقال ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک از یک گیاه تراریخته به باکتری پذیرنده وجود دارد. اما در شرایط طبیعی امکان انتقال ژن از گیاهان تراریخته به باکتری‌های خاکزی وجود ندارد (۳۰). این مطالعات نشان می‌دهند که انتقال افقی ژن با فراوانی بسیار پایین و تنها در صورت وجود توالی‌های مشابه در باکتری پذیرنده رخ می‌دهد (۸).

روش احتمالی دیگر جهت انتقال ژن از گیاهان تراریخته به باکتری‌ها، فرآیند ترانسداکسیون (Transduction) با واسطه ویروس‌های گیاهی است. ویروس‌های گیاهی قادرند بخش‌هایی از توالی ژنومی گیاه میزبان را جداسازی و با خود حمل کنند. برخلاف ویروس‌های آر.ان.ای‌دار، ویروس‌های دی.ان.ای‌دار می‌توانند مواد ژنتیکی را به گیاهان منتقل کنند (۸). تغذیه موش‌ها با فاژ M13 موجب تراریزش باکتری‌های فلور میزبان نشد، اما قطعاتی از ژنوم فاژ به طول ٤٠٠bp از مدفوع و خون موش ردیابی شد. این مطالعه نشان داد که امکان انتقال افقی ژن با واسطه ویروس بعید به‌نظر می‌رسد. به هر حال نباید فراموش کرد که یک ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تنها بخش کوچکی از دی.ان.ای ژنومی یک گیاه تراریخته را تشکیل داده و تمام قسمت‌های دی.ان.ای ژنومی می‌تواند دستخوش پدیده انتقال افقی ژن قرار بگیرد. بنابراین احتمال این‌که یک قطعه از دی.ان.ای ژنومی دستخوش پدیده انتقال افقی ژن شود، بسیار بیشتر از احتمال انتقال افقی ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک است (۸).

۳-۲- اثرات محصولات GM بر موجودات زنده غیر هدف

موجودات زنده غیرهدف، گونه‌هایی هستند که مورد هدف مستقیم گیاهان تراریخته قرار ندارند. تمام گیاهان تراریخته دارای تعدادی گونه غیر هدف هستند. این گونه‌ها به چندین گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از: ۱) گونه‌های مفید شامل دشمنان طبیعی آفات مانند زنبورهای پارازیت و کفش‌دوزک‌ها و حشرات گرده‌افشان از قبیل زنبور عسل، ۲) حشرات گیاه‌خوار غیر هدف، ۳) ریزسازواره‌های خاکزی، ٤) گونه‌های تحت حفاظت مانند گونه‌های در معرض خطر و گونه‌های با ارزش

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

مانند پروانه Monarch (*Danaus plexippus*) و ۵) گونه‌هایی که نقش مهمی در تنوع زیستی منطقه دارند. نگرانی‌هایی که در مورد اثرهای سوء محصولات GM روی موجودات زنده غیرهدف وجود دارد شامل میان‌کنش‌ها از نوع سوم (Tri-trophic) به‌معنای اثرهای سوء غیر مستقیم محصولات GM روی زنجیره غذایی موجودات غیر هدف است (۹). امروزه بیشتر مطالعات انجام شده روی اثرهای ثانویه محصولات GM مقاوم به آفات حاوی سم Bt متمرکز شده‌اند. این اثرهای شامل: ۱) اثرهای مستقیم پروتیئن Bt روی حشرات یا موجودات زنده غیر هدف، ۲) اثرهای غیر مستقیم روی حشرات یا موجودات زنده غیر هدف از طریق تاثیر روی زنجیره غذایی تحت عنوان میان‌کنش‌ها از نوع سوم هستند (۸).

سم Bt به طور اختصاصی عمل می‌کند، اما اختصاصی بودن آن بدان معنا نیست که تنها گونه خاصی از حشرات را تحت تاثیر قرار می‌دهد بلکه روی گونه‌های متعددی تاثیر خواهد گذاشت، مانند بال‌پولک‌داران و سخت‌بال‌پوشان. به هر حال مسائلی وجود دارد که باید به آن‌ها پاسخ داده شود، این‌که آیا موجودات غیر هدف با سم Bt مواجه خواهند شد؟ آیا گونه‌ای که از گیاه تغذیه می‌کند، ممکن است تحت تاثیر سم Bt قرار بگیرد؟ آیا گونه‌ای که از بخش‌های گیاه مانند دانه گرده تغذیه می‌کند ممکن است تحت تاثیر قرار بگیرد؟ یکی از آزمایش‌های انجام شده در مورد اثرهای سم Bt روی حشرات غیر هدف، پروانه Monarch تغذیه شده با دانه گرده ذرت Bt بود (۲٤). در این مطالعه، هنگامی که لاروهای پروانه Monarch از دانه‌های گرده حاوی سم Bt حاصل از یک واریته تجاری ذرت Bt در شرایط آزمایشگاهی تغذیه کردند، همگی از بین رفتند. بررسی‌ها نشان داد که در مطالعه فوق لاروهای پروانه Monarch جزء دانه‌های گرده حاوی Bt، منبع غذایی دیگری جهت تغذیه نداشتند و این موضوع می‌تواند صحت مطالعه فوق را زیر سوال ببرد، چرا که غذای اصلی لاروها، برگ‌های گیاه استبرق (*Asclepias syriaca*) بوده و در صورت وجود، به‌طور یقین از آن‌ها تغذیه می‌کردند نه از دانه‌های گرده. همچنین مطالعات بعدی نشان داد که اثر سوء دانه‌های گرده واریته تجاری ذرت Bt روی لارو پروانه Monarch بسیار ناچیز و قابل اغماض است (٤۰). گونه دیگری که ممکن است به‌طور مستقیم تحت تاثیر محصولات GM قرار بگیرد، زنبور عسل (*Apis mellifera*) است که به‌عنوان یک حشره مفید و ناقل گرده‌افشانی شناخته می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که محصولات GM و حتی سم Bt هیچ گونه خطرهای سمی و اثرهای سوء روی زنبور عسل نداشته است (۲٦).

پژوهش‌ها در مورد اثرهای غیرمستقیم محصولات GM روی موجودات زنده یا حشرات غیرهدف با مطالعه در مورد اثرهای گیاهان تراریخته Bt روی حشرات شکارگر و پارازیت سایر حشرات آفات آغاز شده است. حشرات شکارگر و پارازیت، شاخص‌های خوبی از اثرهای سوء محصولات Bt روی محیط زیست به شمار می‌روند. نگرانی‌هایی که از سوی محصولات GM مطرح هستند شامل تجمع تدریجی سم Bt و اثرهای سوء روی زنجیره غذایی، کاهش مقدار غذا (کاهش تعداد حشرات آفات در دسترس) و کاهش کیفیت غذا (تغییر ترکیب حشرات آفات در دسترس) برای حشرات شکارگر و پارازیت است (۸). با این حال بررسی‌های انجام شده در شرایط مزرعه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

نشان داده‌اند که سم Bt هیچ‌گونه اثرهای سمی روی حشرات شکارگر و پارازیت نداشته است (۲۳).
علاوه بر حشرات، نگرانی‌هایی در مورد اثرهای سوء محصولات GM روی اکوسیستم خاک و ریزسازواره‌های خاکزی نیز وجود دارد. محصولات GM تولید کننده پروتئین‌های ضد میکروبی می‌توانند جوامع میکروبی خاک را تحت تاثیر قرار داده و موجب پیامدهای سوء شوند (۸). موجودات زنده خاک از طریق ریزش برگ‌ها، ترشحات ریشه و تجزیه بقایای گیاهی تحت تاثیر گیاهان قرار می‌گیرند. خاک یک اکوسیستم پیچیده و متغیر بوده و نقش مهمی در توزیع مجدد عناصر و مواد غذایی دارد. اثرهای بالقوه محصولات GM روی موجودات زنده خاک شامل خطرهای سمیت روی دامنه وسیعی از موجودات زنده و ماندگاری بالای محصول تراژن و داشتن اثرهای ناخواسته در محیط خاک است. نیمه عمر سم Bt در محیط خاک در حدود ۳۰-۱۰ روز برآورد شده است. تجزیه سم Bt در بیشتر موارد به دلیل وجود عوامل زیستی در محیط خاک بوده و به میزان زیادی به نوع خاک بستگی دارد. به‌عنوان مثال ذرات رس با اتصال به سم Bt به‌طور برگشت‌ناپذیری آن را غیر فعال کرده و به این ترتیب در خاک تجمع نیافته و توسط سایر گیاهان جذب نمی‌شود (۳۹). ریزسازواره‌های خاکزی به میزان زیادی تحت تاثیر ترشحات ریشه گیاهان تراریخته قرار دارند. مطالعات نشان داده‌اند که هیچ گونه تغییرات در جوامع ریزسازواره‌های خاکزی تحت گیاهان تراریخته متفاوت مشاهده نشده است (۳۵).

٤-۲- ایجاد ابر آفات و ابر بیماری‌ها

رهاسازی و کشت وسیع محصولات GM مقاوم به آفات و امراض ممکن است موجب اعمال فشار گزینشی شدید بر جوامع آفات و امراض و سازگاری آن‌ها به سازوکار مقاومت شده و در نهایت سبب شکل‌گیری ابر آفات و ابر بیماری‌ها شود که کنترل آن‌ها بسیار مشکل یا غیر ممکن خواهد بود (۸). سال‌هاست که اصلاح واریته‌های مقاوم به آفات و امراض یکی از موضوعات مهم اصلاح نباتات است. تاریخچه اصلاح نباتات نشان می‌دهد که جوامع آفات و امراض می‌توانند به سرعت با واریته‌های مقاوم زراعی سازگار شوند. اگر اصلاح کنندگان، اصلاح واریته‌های مقاوم را متوقف کنند، جوامع آفات و امراض ممکن است بر سازوکار مقاومت غلبه کرده و منابع غذایی جهان را به خطر بیندازند. بنابراین سازگاری آفات و امراض به واریته‌های مقاوم به عنوان یک مشکل اساسی در کل اصلاح نباتات شناخته شده و مختص گیاهان تراریخته نیست. با این حال جهت محدود کردن تثبیت جوامع آفات و امراض مقاوم از روش‌های مدیریت زراعی ویژه‌ای مانند کاربرد ژن‌های متعدد مقاومت در یک و یا مخلوط چند واریته، لاین‌های ترکیبی، کاربرد سموم شیمیایی، عوامل کنترل زیستی و فعالیت‌های مدیریتی ویژه گیاه زراعی استفاده می‌شود (۸).
یکی از روش‌های دیگر مدیریت مقاومت در محصولات زراعی، روش دوز بالا- پناهگاه (High dose-refuse strategy) که ترکیبی از بیان بالای تراژن و پناهگاهی از گیاهان غیرتراریخته است. این روش، شکل‌گیری مقاومت در حشرات آفات را از طریق گزینش بر علیه افراد هتروزیگوس به تاخیر می‌اندازد (٤۱). پیش فرض‌های این روش عبارتند از: ۱) مشاهده مقاومت در حشرات آفات به دلیل جهش

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

برگشتی است، ۲) وجود مقاومت در جمعیت حشرات آفات بسیار نادر است، ۳) آمیزش کافی و تصادفی میان افراد موجود در پناهگاه و افراد در مزرعه گیاهان Bt وجود دارد (۲). هدف این روش، حفظ ژن‌های مقاوم به سم Bt حاصل از جهش برگشتی در سطح پایین در جمعیت حشره آفات بوده و بنابراین گسترش ژن مقاوم در کل جمعیت محدود می‌شود. بر این اساس، آمیزش تصادفی میان حشرات هموزیگوس مقاوم (RR) که در جمعیت بسیار کمیاب هستند، با حشرات حساس (SS) موجود در پناهگاه، نتاج هتروزیگوس (RS) تولید خواهد کرد که به‌دلیل بیان بالای ژن Bt نسبت به گیاهان تراریخته حساس هستند. همچنین این فرضیه وجود دارد که حشرات می‌توانند بین گیاهان تراریخته و غیرتراریخته جا به جا شوند. بنابراین افراد هتروزیگوت می‌توانند با مهاجرت به پناهگاه، از خطر کشندگی دوزهای بالای توکسین در امان بمانند (٤٢). اگرچه هیچ روش مدیریتی نمی‌تواند تضمین کند که جمعیت حشرات به سم Bt مقاوم نخواهد شد، به هرحال مدل‌های شبیه‌سازی و مطالعات آزمایشگاهی- گلخانه‌ای نشان می‌دهند که استفاده از پناهگاه‌های مناسب به همراه بیان بالای ژن توکسین، گسترش مقاومت در جمعیت حشرات را برای چند دهه به تاخیر خواهد انداخت (۱، ۱۷). Andow و Alstad (۱) نشان دادند که روش‌های دوز بالا- پناهگاه می‌تواند مقاومت به ذرت Bt را در جمعیت آفت کرم ساقه‌خوار اروپایی (*Ostrinia nubilalis*) با پناهگاهی حدود ۵۰ درصد ذرت غیر تراریخته، بیش از ۳۰ سال به تاخیر بیندازد. کارآیی این روش به عواملی همچون اندازه پناهگاه، طراحی پناهگاه (مخلوط با گیاهان تراریخته یا به عنوان یک بلوک مجزا)، میزان استفاده از آفت‌کش‌ها در پناهگاه و میزان مهاجرت حشرات بین پناهگاه و مزرعه بستگی دارد (۱). با این‌حال چنین مدیریت‌های در مزارع گیاهان اصلاح شده از طریق روش‌های سنتی و یا استفاده از سموم در کنترل آفات اعمال نشده و نمی‌شود.

۵-۲- افزایش قدرت تهاجم گیاه زراعی و تبدیل آن به یک علف هرز

از جمله نگرانی‌هایی که در مورد رهاسازی محصولات GM وجود دارد این است که ممکن است این گیاهان به علف هرز تبدیل شده و با هجوم به زیست‌گاه‌های طبیعی، تنوع زیستی را به خطر بیندازد. قبل از بحث در مورد احتمال تبدیل شدن محصولات GM به گونه‌های علف هرز، ابتدا باید علف هرز و ویژگی‌های آن را شناخت. به هر حال ممکن است یک گونه گیاهی در یک محیط به عنوان یک علف هرز جدی شناخته شود، اما در محیطی دیگر به‌عنوان یک گونه وحشی، یک گونه مهم در تنوع زیستی یا یک گونه گیاهی با اهمیت زیست محیطی یا اقتصادی در نظر گرفته شود. علف‌های هرز به طور معمول در زیست‌گاه‌های تخریب شده توسط انسان مانند زمین‌های کشاورزی و حواشی آن‌ها، باغ‌ها، حاشیه جاده‌ها و نواحی که به‌تازگی از گیاهان پاک‌سازی شده‌اند، مشاهده می‌شوند. یکی از ویژگی‌های مهم علف‌های هرز، انعطاف‌پذیری بالای فنوتیپی آن‌هاست که موجب سازگاری‌شان به شرایط محیطی مختلف می‌شود. تبدیل یک گونه گیاهی به یک علف هرز جدی در یک محیط جدید بیشتر به دلیل توانایی رشد بالا و فقدان دشمنان طبیعی مانند گیاه‌خواران، آفات و بیماری‌هاست. بنابراین در وارد کردن گونه‌های جدید

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

به یک محیط دیگر باید ویژگی‌های گونه‌های گیاهی، احتمال هجوم آن‌ها به زیست‌گاه‌های طبیعی و کشاورزی مورد ارزیابی قرار بگیرد (۸).

ویژگی‌های شاخص علف‌های هرز از قبیل خواب بذر، انعطاف‌پذیری فنوتیپی، رشد نامحدود، گلدهی مداوم، تولید بذر زیاد و پراکنش بذر، طی هزاران نسل در گیاهان زراعی اصلاح شده‌اند. این تغییرات ابتدا در فرآیند اهلی‌سازی گیاهان زراعی انجام شده و به عنوان پیامدی از چرخه‌های تکراری کاشت و برداشت گیاهان توسط تمدن‌های اولیه، بدون داشتن آگاهی در مورد گزینش در جهت اصلاح ناشی شده است. امکان بازگشت مجدد این ویژگی‌ها از طریق دست‌ورزی ژنتیکی یا اصلاح نباتات سنتی به گیاهان زراعی وجود ندارد، چون آن‌ها به میزان زیادی کارآیی زراعی یک محصول را برای فعالیت‌های نوین کشاورزی کاهش می‌دهند. به‌علاوه این ویژگی‌ها با انتقال یک ژن یا تعداد کمی ژن به گیاهان زراعی منتقل نمی‌شوند. بنابراین احتمال اینکه محصولات GM به علف هرز تبدیل شوند، بسیار بعید به نظر می‌رسد (۸).

بیشتر محصولات کشاورزی در طول تاریخ اهلی‌سازی خود از نظر فنوتیپی به‌طور چشم‌گیری تغییر کرده‌اند. تبدیل واریته‌های زراعی به گونه‌های مختلف علف هرز با یا بدون دست‌ورزی ژنتیکی، بسیار بعید به نظر می‌رسد. عدم وجود همزمان انواع مختلف علف‌های هرز درون مزارع کشاورزی به‌دلیل فقدان دورگ‌گیری تصادفی با گونه‌های وحشی در طی فرآیند تولید بذر است. بعضی از گیاهان زراعی مانند گیاهان علوفه‌ای و بقولات تاریخچه اهلی‌سازی کوتاهی داشته و ممکن است دوباره به شرایط علف هرز بازگردند. همچنین گیاه کلزا که به‌عنوان یک گیاه تازه اهلی شده شناخته می‌شود، پتانسیل فرار از وضعیت زراعی و تبدیل شدن به یک علف هرز را دارد. این وضعیت می‌تواند به دلیل تولید بالای بذر، ظهور فراوان داوطلب‌ها، به وجود آمدن نژادهای وحشی و القاء خواب بذر به علت دفن کردن زیر خاک باشد. گیاه کلزا به‌عنوان یک سیستم مدل مناسب، موضوع بیشتر پژوهش‌ها در مورد بررسی خصوصیات تهاجمی محصولات GM بوده است (۱۲).

تمام محصولات زراعی به دلیل اتلاف بذر در طی برداشت یا تخریب ناقص بقایای گیاهی قبل از کاشت بعدی به طور بالقوه دارای یک توانایی ذاتی جهت ظاهر شدن به‌عنوان داوطلب در مزارع هستند. به هر حال این فرآیند به میزان زیادی به مدیریت زراعی و شرایط محیطی بستگی دارد. از طرفی با وجود این پتانسیل، گیاهان زراعی به ندرت به‌عنوان علف هرز دیده شده و در صورت مشاهده، به‌طور معمول در خاک‌های تخریب شده درون یا حاشیه مزارع وجود داشته و تنها برای یک فصل زراعی بقاء می‌یابند. دوام و ماندگاری این گیاهان به‌طور معمول به دلیل ورود مداوم داوطلب‌های جدید است تا خود نگهداری و حفظ جمعیت. با این حال، مطالعات انجام شده با بررسی محصولات GM و محصولات غیرتراریخته در محیط‌هایی با شرایط اقلیمی مختلف در طی چندین سال نشان داده‌اند که محصولات GM در مقایسه با محصولات غیرتراریخته تمایل به هجوم یا ماندگاری بیشتر در زیست‌گاه‌های طبیعی یا کشاورزی نداشته‌اند (۱۰).

٦-۲- احتمال ظهور ابر علف‌های هرز در مزارع گیاهان تراریخت

یکی از نگرانی ها مخالفین محصولات تراریخت این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

است که محصولات GM به ویژه آن‌هایی که مقاوم به آفات، امراض و علف‌کش‌ها هستند، با گونه‌های خویشاوند علف هرز آمیزش انجام داده و با انتقال تراژن یا تراژن‌ها موجب افزایش قدرت بقاء، تولید مثل، گسترش و سازگاری آن‌ها به شرایط محیطی مختلف شده و در نهایت موجب شکل‌گیری ابر علف‌های هرز شوند. وقوع این امر ممکن است در مدیریت علف‌های هرز، بار سنگینی را بر دوش کشاورز تحمیل کرده و با هجوم به زیست‌گاه‌های طبیعی می‌تواند تنوع زیستی را به‌خطر بیندازد (۲۷). لازمه انتقال و ورود ژن از محصولات GM به گونه‌های خویشاوند علف هرز، تلاقی‌های برگشتی متعدد است تا از طریق آن آلل‌های ژن مورد نظر در جمعیت گیاهان دورگ تثبیت شوند. وقوع دورگ‌گیری و تلاقی‌های برگشتی مکرر، نقش مهمی را در اهلی‌سازی گیاهان زراعی و تکامل علف‌های هرز ایفا کرده‌اند. نکته مهم این است که رخداد انتقال و تثبیت ژن از یک گیاه تراریخته به یک علف هرز بتواند قدرت تولید مثل و ماندگاری جمعیت گیاهان دورگ را در طی چندین نسل تامین کند. وقوع تلاقی‌های برگشتی و به دنبال آن افزایش قدرت تولید مثل گیاه دورگ تولیدی، به ماهیت تراژن و شرایط محیطی بستگی دارد. به‌عنوان مثال علف‌های هرزی که دارای یک تراژن کد کننده صفت مقاومت به یک علف‌کش هستند، ممکن است در مزارع کشاورزی به عنوان یک خطر جدی مطرح باشند، اما در یک محیط غیرزراعی، به‌دلیل عدم مصرف علف‌کش چندان خطر جدی را ایجاد نکنند. اما یک علف هرز دارای ژن کد کننده توکسین Bt ممکن است از طریق کسب مقاومت در برابر یک حشره آفت مهم، یک خطر جدی برای محیط زیست طبیعی محسوب شود. در مجموع اگر تراژن‌ها، کنترل کننده صفاتی باشند که برتری را برای علف هرز فراهم کنند، می‌تواند تعادل محیط زیست را بر هم زده و اثرهای سوء به دنبال داشته باشند (۸).

وقوع آمیزش طبیعی میان محصولات زراعی و گونه‌های خویشاوند علف هرز و نیز پدیده ورود و تثبیت تراژن‌ها در جمعیت گیاهان دورگ بعید است. ورود تراژن بین دورگ‌های گیاه زراعی و علف هرز با استفاده از آلوزایم‌ها و نشانگرهای ژنتیکی دی.ان.ای، مورد بررسی قرار گرفته است. پدیده آمیزش و ورود ژن زمانی رخ می‌دهد که توزیع گونه‌های خویشاوند وحشی با کشت گیاه زراعی هم‌پوشانی داشته باشد. به این ترتیب می‌توان گیاهان دورگ بین گونه زراعی و علف هرز یا گونه وحشی را در مزارع کشاورزی مشاهده کرد. هنگامی که پدیده انتقال ژن بین محصولات GM و گونه‌های خویشاوند علف هرز مورد بررسی قرار می‌گیرد، توجه به این نکته مهم است که محصولات GM برای انتقال ژن نسبت به گیاهان غیرتراریخته، ظرفیت متفاوتی دارند. به‌عنوان مثال تغییرات ژنتیکی در رنگ گل ممکن است یک اثر مثبت یا منفی روی حشرات ناقل گرده‌افشانی داشته باشد. بسته به مدیریت زراعی، نر عقیمی ممکن است با حذف رقابت بین دانه‌های گرده، یک فرصت مناسب برای گرده‌های خارجی جهت آمیزش فراهم کند. در مجموع، محصولات GM نسبت به گیاهان غیرتراریخته در انتقال تراژن‌ها یا سایر ژن‌ها به سایر گونه‌های گیاهی، توانایی بالاتری ندارند (۸).

اگر تراژن‌های کد کننده مقاومت به آفات، امراض، علف‌کش‌ها یا تنش‌های محیطی به علف‌های هرز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

خویشاوند منتقل شوند، این نگرانی وجود خواهد داشت که ممکن است قدرت سازگاری و تولید مثل علف هرز در شرایط محیطی مختلف افزایش یابد. به هر حال اصلاح نباتات مدت‌هاست که در حال اصلاح و معرفی ارقام مقاوم به آفات، امراض و تنش‌های محیطی و رهاسازی آن‌ها به محیط است. هر گونه اثر سوء ناشی از انتقال و تثبیت این صفات به درون علف‌های هرز برای محصولات حاصل از روش‌های کلاسیک اصلاح نباتات و محصولات GM یکسان است. استفاده از ژن‌های مقاومت در محصولات حاصل از روش‌های کلاسیک در جهت افزایش قدرت بقاء و گسترش علف‌های هرز در طول تاریخ اصلاح نباتات هرگز مورد توجه قرار نگرفته است. هنگامی که علف‌های هرز جدی به دنبال آمیزش محصولات زراعی و گونه‌های وحشی به وجود می‌آیند، ماهیت تهاجمی آن‌ها از ترکیب صفات مورفولوژیک کنترل کننده ویژگی‌های علف هرز و همزمانی رشد و نمو با محصولات زراعی ناشی می‌شود، نه از طریق ژن‌های مقاومت (۲۷).

رهاسازی محصولات GM با مقاومت به علف‌کش، اغلب نگرانی‌هایی را در مورد افزایش احتمالی در قدرت بقاء علف‌های هرز به وجود می‌آورد. در صورت استفاده مداوم از علف‌کش انتخابی در جمعیت علف هرز، این نگرانی ممکن است به واقعیت تبدیل شود. به هرحال باید یادآوری کرد که توسعه جوامع علف هرز با مقاومت به علف‌کش یک وضعیت جدید برای کشاورزی نیست، چرا که گیاهان مقاوم به علف‌کش سال‌هاست که توسط روش‌های سنتی اصلاح نباتات تولید شده‌اند. واضح است که کاشت محصولات مقاوم به علف‌کش با توانایی آمیزش با گونه‌های خویشاوند علف هرز می‌تواند خطر این وضعیت را افزایش دهد. همچنین در مناطق جغرافیایی که محصولات زراعی با گونه‌های اجدادی‌شان در یک ناحیه قرار دارند، خطرهای احتمالی از مزیت‌های آن ممکن است بیشتر باشد (۸).

۷-۲- اثر گیاهان تراریخته بر تنوع زیستی

کنوانسیون تنوع زیستی (Convention on Biological Diversity, CBD)، تنوع زیستی را به‌عنوان تنوع موجود میان موجودات زنده شامل تنوع درون گونه‌ای و بین گونه‌ای در زیست‌گاه‌های مختلف خشکی و آبی تعریف می‌کند (٦). اثر محصولات GM روی تنوع زیستی یک موضوع پیچیده بوده و این محصولات ممکن است موجب از بین رفتن تنوع زیستی شوند. سوال اینجاست که آیا محصولات GM تهدیدی جدی برای تنوع زیستی محسوب می‌شوند؟ ارزیابی اثر محصولات GM روی تنوع زیستی باید شامل مقایسه بین مزیت‌ها و خطرهای احتمالی این محصولات با محصولات سنتی باشد (۲۷). نظرهای مختلفی در مورد اثر محصولات GM روی تنوع زیستی وجود دارد. برخی معتقدند که محصولات GM اثرهای فاجعه‌بار برگشت‌ناپذیری بر تنوع زیستی دارند، اما پژوهشگران دیگر این فرضیه را قبول ندارند. تنها مطالعه مورد به مورد می‌تواند ارزیابی درستی از اثرهای احتمالی محصولات GM روی تنوع زیستی داشته باشد. محصولات GM ممکن است خاستگاه تنوع محصول زراعی را تهدید کرده یا موجب بزرگ‌تر شدن فلور محلی و ایجاد خسارت به گونه‌های بومی شوند. به هر حال گسترش کشاورزی نوین بر اساس اصلاح گیاهان زراعی و توسعه جوامعی از گیاهان دورگ یک شکل نسبت به انتقال

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

تراژن‌ها به واریته‌ها از طریق مهندسی ژنتیک می‌تواند یک تهدید بزرگتر برای تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی باشد (۲۵). محصولات GM مقاوم به تنش‌های غیر زنده مانند شوری یا خشکی می‌توانند به شرایط محیطی مختلف سازگار شده و با افزایش توسعه، جوامع گیاهی بومی را به خطر اندازند. این حالت در مورد محصولات سنتی نیز وجود دارد. امکان سازگاری محصولات GM به شرایط محیطی سخت می‌تواند مزیت‌های زیادی برای حفظ تنوع زیستی داشته باشد. یکی از تهدیدهای بزرگ تنوع زیستی، کاهش زیست‌گاه‌ها به دلیل تبدیل اکوسیستم‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی در واکنش به نیاز غذایی است. تولید محصولات GM با عملکرد بالا در واحد سطح و کشت و کار روی خاک‌های کمتر حاصل‌خیز می‌تواند خطر از دست رفتن زیست‌گاه‌ها را کاهش داده و به حفظ تنوع زیستی کمک کند (٤٦). به عقیده برخی از طرفداران محیط زیست، محصولات GM ممکن است تنوع زیستی کشاورزی را به روش‌های مختلف تحت تاثیر قرار دهد. گیاهان تراریخته مقاوم به آفات و علف‌کش‌ها ممکن است با حذف آفات و علف‌های هرز موجب زوال اکوسیستم‌های کشاورزی شوند. برای مثال، کاربرد علف‌کش‌ها می‌تواند منجر به کاهش جمعیت علف‌های هرز و به‌تبع آن بی‌مهره‌گان تغذیه کننده از آن‌ها شده و به این ترتیب موجب انقراض جمعیت‌های وحشی شوند. ولی طرفداران فن‌آوری تراریخته بر این باورند که استفاده از محصولات GM با کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، مانع از کاهش تنوع زیستی حشرات مفید و غیرآفت می‌شود. مهندسی ژنتیک به‌عنوان یک ابزار با ارزش می‌تواند نقش مهمی در حفظ، استفاده و ایجاد تنوع زیستی داشته باشد. در طی اصلاح واریته‌های جدید به روش کلاسیک، بیشتر ژنوتیپ‌ها در فرآیند گزینش حذف می‌شوند. اما مهندسی ژنتیک با ارزیابی مجدد ژنوتیپ‌ها و انتقال ژن‌های مفید به آن‌ها موجب احیاء واریته‌های بومی و حفظ تنوع زیستی می‌شود. مهندسی ژنتیک از طریق تولید لاین‌های مخلوط یا لاین‌های ایزوژنیک که از نظر ژنتیکی به‌طور کامل مشابه هستند، جزء در یک یا دو ژن مقاوم، می‌تواند از شکسته شدن مقاومت در برابر آفات و امراض جلوگیری کند. مهندسی ژنتیک از طریق شناسایی مجدد و بهبود ژنوتیپ‌ها و واریته‌های قدیمی و نیز توسعه محصولات جدید، می‌تواند موجب افزایش تنوع زیستی شود. همچنین مهندسی ژنتیک می‌تواند ژن‌های مفیدی را از سایر موجودات زنده ناسازگار از نظر جنسی به گونه پذیرنده انتقال دهد (۸). به نظر می‌رسد که خطرهای احتمالی محصولات GM روی تنوع زیستی، بیشتر در حد یک فرضیه باشد. توسعه تمدن‌ها و فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و صنعت خود یک عامل مهم در کاهش تنوع زیستی است. مصرف بیش از حد در کشورهای ثروتمند و افزایش جمعیت در کشورهای فقیر، فشار شدیدی را به اکوسیستم‌ها وارد می‌آورد. در این حالت محصولات GM نسبت به سایر عوامل موثر، تنوع زیستی را کمتر تحت تاثیر قرار می‌دهند.

۳- تاثیر محصولات GM بر سلامتی انسان

امروزه میلیون‌ها نفر در سراسر جهان غذاهای تولید شده از گیاهان تراریخته مانند ذرت، سویا و کلزا را مصرف می‌کنند اما تاکنون هیچ گزارشی از اثرهای سمی یا زیان‌آور مصرف این گونه غذاها روی انسان و حیوان‌ها ارائه نشده است (۲۹). در ارزیابی ایمنی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

محصولات GM، نکته مهم این است که آیا ژن یا صفت جدید، تغییراتی را در محصول به وجود آورده است. یکی از روش‌های اتخاذ شده جهت پاسخ‌گویی به این سوال، ارزیابی مقایسه‌ای گیاه GM با گیاه غیرتراریخته والدی از نظر ترکیب و غلظت عناصر غذایی و ترکیبات ضد تغذیه‌ای است (۹). وجود تغییرات معنی‌دار در این عوامل می‌تواند پیامدهای سوء بر سلامت انسان داشته باشد. ارزیابی مقایسه‌ای یا آزمون این‌همانی (Substantial equivalence) محصولات GM بر اساس تجزیه و تحلیل عناصر غذایی و ترکیبات ضد تغذیه‌ای برای بیشتر متابولیت‌ها ارزیابی می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: ۱) متابولیت‌های اصلی شامل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، فیبر و عناصر معدنی، ۲) عناصر غذایی مانند عناصر پر مصرف و کم مصرف ضروری، ۳) ترکیبات سمی و ضد تغذیه‌ای در گونه‌های ویژه مانند بازدارنده‌های آنزیم‌های گوارشی، لکتین‌ها، ساپونین‌ها و گلوکوزیدها، ٤) تمایل به تحریک واکنش‌های حساسیت‌زا، ٥) دانسته‌های بدست آمده از آزمایش‌های تغذیه‌ای و مطالعات سمیت‌زایی روی حیوان‌ها (٤٢). در صورت شناسایی هر گونه نگرانی ایمنی با استفاده از بررسی‌های فوق، خطر احتمالی آن در ارتباط با سلامت انسان باید مشخص شود. مهمترین نگرانی‌های مخالفین مهندسی ژنتیک از اثرهای نامطلوب محصولات GM روی سلامتی انسان خطر سمی بودن و حساسیت‌زا بودن غذاهای حاصل از محصولات GM است.

۱-۳- سمی بودن محصولات GM بر سلامت انسان

هر گونه ترکیب وارد شده به محصولات غذایی باید از نظر ایمنی غذایی مورد بررسی قرار بگیرد. به‌عنوان مثال، یک پروتئین بالقوه سمی مانند سم Bt موجود در محصولات GM مقاوم به آفات باید از نظر ایمنی ارزیابی شود. به هر حال ممکن است استثناهایی در این زمینه وجود داشته باشد، به‌ویژه زمانی که محصول ژن بیان شده در گیاهان تراریخته با ترکیب موجود در گیاه غیرتراریخته مشابه باشد، مانند ویتامین‌ها. اما لازم است که این گیاهان تراریخته برای هر گونه اثرهای ناخواسته‌ای که ممکن است در طی فرآیند تراریزش رخ دهد، مورد ارزیابی این‌همانی قرار بگیرند (۱۲).

در غذاهایی که روزانه مصرف می‌کنیم، تعداد بسیار زیادی پروتئین وجود دارد که بدون اثرهای سوء مورد مصرف قرار می‌گیرند. اما تعداد کمی از این پروتئین‌ها ممکن است اثرهای نامطلوب بر سلامت انسان داشته باشند. همان‌طور که پروتئین‌ها دارای نقش‌های کارکردی زیادی در بدن موجودات زنده هستند، اثرهای سوء احتمالی پروتئین‌های جدید نیز باید مد نظر قرار بگیرند. به‌عنوان مثال، فعالیت آنزیم‌ها یا اثر بازدارندگی آن‌ها ممکن است سبب سنتز ترکیبات سمی، ایجاد اثرهای ضد تغذیه‌ای از طریق اتصال به ترکیبات غذایی ویژه یا مختل کردن فعالیت پروتئین‌های ناقل و هورمون‌ها شود. بسیاری از گیاهان به‌طور طبیعی ترکیبات سمی و عوامل ضد تغذیه‌ای را به منظور دفاع در برابر عوامل بیرونی تولید می‌کنند، مانند سولانین در سیب زمینی، لینامارین در ریشه‌های کاساوا و لکتین در بقولات. بنابراین این نگرانی وجود دارد که محصولات GM ممکن است سطح بیان این ترکیبات را تغییر داده و یا با فعال‌سازی مسیرهای متابولیکی این ترکیبات، اقدام به تولید مواد سمی و ترکیبات ضد تغذیه‌ای کنند. روش‌های مختلفی جهت بررسی سمیت پروتئین‌ها وجود دارد مانند تست حاد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

یا مزمن روی حیوان‌های آزمایشگاهی (موش و موش صحرایی) یا گونه‌های جانوری اهلی مانند طیور (۹). بررسی و ارزیابی محصولات GM زمانی ضروری است که یک گیاه تراریخته، محصولی را به میزان زیاد تولید کرده یا این‌که احتمال سمی بودن محصول تولیدی وجود داشته باشد، مانند پروتئین‌های تولیدی در گیاهان تراریخته مقاوم به آفات و امراض. این پروتئین‌ها جهت بیان بالا در گیاه بسیار مطلوب هستند، چون موجب مقاومت در برابر گونه‌های مختلفی از آفات و امراض می‌شوند. به هر حال باید توجه کرد که این پروتئین‌ها به‌عنوان ترکیبات طبیعی و ضد زیستی شناخته شده و ارزیابی آن‌ها جهت ایمن بودن برای سلامت انسان ضروری است. ارزیابی سمیت برای پروتئین‌هایی که در رژیم غذایی انسان یافت نمی‌شوند، نیز ضروری است، مانند پروتئین فلئورسنت سبز (Green Fluorescent Protein, GFP) (۱۲). خطر سمی بودن تنها مختص محصولات GM نیست، بلکه محصولات سنتی نیز می‌توانند حاوی مقادیر بالایی از ترکیبات سمی باشند. به‌عنوان مثال اصلاح گیاهان زراعی جهت مقاوت به آفات منجر به گیاهانی با مقادیر سمی لکتین شده است که برای انسان نیز خطرناک است. Paarlberg (۳۲) با بررسی دانسته‌ها و شواهد موجود در سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) و سازمان FAO (Food and Agriculture Organization) بیان داشته‌اند که تاکنون هیچ گزارشی در مورد اثرهای سمی و خطرناک محصولات GM و غذاهای حاصل از آن‌ها روی سلامت انسان و حیوان‌ها ارائه نشده است (۱٤).

۲-۳- حساسیت‌زا بودن محصولات GM

حساسیت غذایی در بین ۲-۱ درصد از بزرگسالان و ٦-۸ درصد از کودکان مشاهده می‌شود. اگر چه حساسیت شدید به غذا (Anaphylaxis) در جمعیت به‌طور نسبی کمیاب است، اما به‌طور تقریبی در بین ۳/۲ نفر به ازاء هر ۱۰۰۰۰۰ نفر در سال وجود دارد (۳۸). حساسیت‌زایی نسبت به غذا از طریق تحریک سیستم ایمنی بدن و شناسایی یک ترکیب ویژه به عنوان آنتی‌ژن تعیین می‌شود. به‌طور تقریبی تمام مواد حساسیت‌زای شناخته شده پروتئینی بوده و از طریق اندازه بزرگ‌تر، پایداری در برابر حرارت و واکنش‌های هضم آنزیمی، ماندگاری بالا و تحریک سیستم ایمنی بدن میزبان شناسایی می‌شوند. محصولات GM ممکن است از دو روش موجب تحریک واکنش‌های حساسیت‌زا در انسان شوند: ۱) پروتئین جدید بیان شده در گیاهان تراریخته ممکن است یک ماده حساسیت‌زای جدید بوده و با سایر مواد حساسیت‌زا اثر متقابل داشته باشد، ۲) حساسیت‌زایی طبیعی گیاه میزبان ممکن است در اثر دست‌ورزی ژنتیکی تغییر کند (۲۲). پروتئین‌هایی که به‌طور ذاتی حساسیت‌زا نیستند، پس از بیان در گیاه تراریخته نیز حساسیت‌زا نخواهند بود. به‌عنوان مثال، از آن‌جایی که شواهدی در مورد حساسیت‌زایی پروتئین فریتین وجود ندارد، بنابراین برنج تراریخته غنی شده با آهن منجر به واکنش‌های حساسیت‌زا نخواهد شد. اما پروتئینی که به‌طور ذاتی به‌عنوان یک ماده حساسیت‌زا شناخته می‌شود، در گیاه تراریخته نیز به‌طور یقین حساسیت‌زا خواهد بود. برای مثال، انتقال آلبومین از بادام زمینی برزیلی به سویا به‌منظور افزایش محتوی متیونین. از آن‌جا که آلبومین یک ماده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

حساسیت‌زا محسوب می‌شود، بنابراین افرادی که پیش‌تر به سویا حساس نبودند، هم اکنون به سویای تراریخته حساس شده‌اند (۱۲).

ارزیابی حساسیت‌زایی محصولات GM هنگامی که خصوصیت حساسیت‌زایی پروتئین جدید ناشناخته باشد، بسیار پیچیده خواهد بود. به‌عنوان مثال، پروتئین GFP که هیچ شناختی از حساسیت‌زا بودن آن وجود ندارد ممکن است واکنش‌های حساسیت‌زایی را در انسان به وجود آورد. همچنین آزمون مشخصی برای تعیین حساسیت‌زا بودن پروتئین‌ها وجود ندارد. روش مورد استفاده شامل مقایسه پروتئین جدید با مواد حساسیت‌زای شناخته شده و بررسی میزان پایداری دمایی و هضم آنزیمی آن است. اگر پروتئین جدید در برابر دما ناپایدار بوده و به آسانی در واکنش‌های آنزیمی هضم شود، احتمال حساسیت‌زا بودن آن بسیار پایین خواهد بود. در غیر این صورت می‌تواند به عنوان یک ماده حساسیت‌زا مطرح شود (۹). به‌منظور بررسی احتمال حساسیت‌زایی، یک دستورالعمل عمومی براساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد حساسیت‌زای شناخته شده، توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر بررسی پروتئین‌های جدید، ارزیابی تحریک سیستم ایمنی میزبان نیز ضروری است. این ارزیابی شامل یک روش دو مرحله‌ای است: ۱) مطالعه اتصال IgE به پروتئین جدید در افراد حساس، ۲) مطالعات ایمنی‌زایی در موش. توسعه مدل‌های حیوانی مناسب، شناسایی و توصیف مواد حساسیت‌زای غذایی و تاسیس بانک سرم کلینیکی از جمله نیازهای ضروری به منظور پیش‌بینی و ارزیابی حساسیت‌زایی پروتئین‌های جدید در غذاهای حاصل از محصولات GM است (۲۲). با این‌حال تاکنون شواهدی در مورد حساسیت‌زایی محصولات GM و غذاهای حاصل از آن‌ها برای انسان و حیوان‌ها گزارش نشده است (٤٥).

٤- نگرانی‌هایی در مورد ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک در محصولات GM

معمول‌ترین ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک مورد استفاده جهت گزینش سلول‌های تراریخته گیاهی، ژن *nptII* رمزگردان آنزیم نئومایسین فسفو ترانسفراز II (Neomycin phosphotransferases II) است. این آنزیم، آنتی‌بیوتیک‌های آمینوگلیکوزیدی مانند نئومایسین و کانامایسین را غیرفعال می‌کند. ژن‌های دیگری که ممکن است در پژوهش‌های گیاهی مورد استفاده قرار بگیرند شامل ژن *hpt* رمزگردان آنزیم هیگرومایسین فسفو ترانسفراز (Hygromycin phosphotransferase) غیرفعال کننده آنتی‌بیوتیک هیگرومایسین و ژن *cat* رمزگردان آنزیم کلرامفینیکل استیل ترانسفراز (Chloramphenicol acetyl transferase) غیرفعال کننده آنتی‌بیوتیک کلرامفینیکل هستند. در گذشته ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک درون محصولات GM باقی می‌ماندند اما امروزه به دلیل نگرانی‌هایی که در مورد انتقال این ژن‌ها به سایر موجودات زنده وجود دارد، با استفاده از روش‌های ویژه‌ای از محصولات GM تجاری‌سازی شده حذف می‌شوند. ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک جهت گزینش باکتریایی عبارتند از: ژن *bla* رمزگردان آنزیم بتالاکتاماز (β-Lactamase) غیر فعال کننده آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین و ژن *aadA* رمزگردان آمینوگلیکوزید آدنیل ترانسفراز(Aminoglycoside adenyl transferase) غیر فعال کننده آنتی‌بیوتیک‌های اسپکتینومایسین و استرپتومایسین (١٦).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

۱-٤- اثرهای مستقیم ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک و محصولات پروتئینی آن‌ها بر سلامت انسان و حیوان‌ها

ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک، به فراوانی در باکتری‌های روده وجود داشته، با سایر مولکول‌های دی.ان.ای با منشا گیاهی یا حیوانی از نظر خصوصیات بیوشیمیایی هیچ‌گونه تفاوتی نداشته و مشابه با مولکول‌های دی.ان.ای دیگر در دستگاه گوارش هضم می‌شوند (۱۹). مقدار دی.ان.ای نوترکیب هضم شده در مقایسه با کل دی.ان.ای هضم شده از منابع گیاهی یا جانوری بسیار اندک است. برای مثال، در گاوهای تغذیه شده با ذرت Bt، نسبت دی.ان.ای نوترکیب جذب شده (٥٤µg) در مقایسه با کل دی.ان.ای جذب شده (٥٤g) بسیار ناچیز و تنها حدود 1×10^{-6} یا ۰/۰۰۰۱ درصد بود (۳). پروتئین‌های رمز شده توسط این ژن‌ها نیز به فراوانی توسط باکتری‌های روده انسان تولید شده و انسان‌ها همواره در معرض این پروتئین‌ها قرار دارند. این پروتئین‌ها به‌طور معمول در زیست فناوری گیاهی استفاده شده و با سایر پروتئین‌هایی که روزانه توسط انسان به عنوان غذا مصرف می‌شوند، تفاوتی ندارند. این پروتئین‌ها توسط آنزیم پپسین دستگاه گوارش هضم شده، در برابر حرارت ناپایدار بوده و هیچ‌گونه شباهتی با ترکیبات حساسیت‌زای غذایی شناخته شده ندارند. سازمان FAO گزارش کرد که تمام مولکول‌های دی.ان.ای و محصولات پروتئینی آن‌ها از موجودات تراریخته و غیرتراریخته جهت استفاده به عنوان غذا یا دارو به‌طور معمول ایمن شناخته شده و تاکنون شواهدی در مورد اثرهای سوء ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک برای سلامت انسان، حیوان‌ها و محیط گزارش نشده است (١٤).

۲-٤- انتقال افقی ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک به سلول‌های انسان و باکتری‌های فلور

انسان در طول تاریخ تکاملی خود همواره در معرض مولکول‌های دی.ان.ای با منشا گیاهی و جانوری و به ویژه دی.ان.ای از باکتری‌های روده‌ای قرار داشته است. با این‌حال، هیچ گونه گزارشی در مورد انتقال، ورود و بیان ژن‌های گیاهی یا باکتریایی به سلول‌های انسانی وجود ندارد. اگر انتقال افقی ژن از گیاهان به سلول‌های انسانی مقدور باشد، در این صورت سلول‌های انسانی به ویژه سلول‌های اپیتلیال روده هم اکنون حاوی ژن‌های خارجی زیادی مشابه با ژن‌های گیاهی بودند (١٦). مطالعات نشان داده‌اند که انتقال دی.ان.ای خارجی به سلول‌های انسانی یا حیوانی بسیار بعید به‌نظر می‌رسد، چرا که مولکول‌های دی.ان.ای در اثر فرآوری‌های غذایی و تحت تاثیر محیط هضم کننده دستگاه گوارش تجزیه می‌شوند. انتقال دی.ان.ای به سلول‌های اپیتلیال روده به دلیل ریزش مداوم آن‌ها و انتقال به سلول‌های ایمنی بدن به دلیل تحریک پاسخ ایمنی غیر محتمل به نظر می‌رسد. همچنین در صورت انتقال دی.ان.ای به سلول‌های انسانی، تکثیر سلول‌های تراریخته به‌دلیل عدم ارائه مزیت گزینشی از سوی ژن‌های خارجی غیر ممکن خواهد بود (٣٦).

به‌منظور انتقال ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک از گیاهان تراریخته به باکتری‌های دستگاه گوارش، ژن مورد نظر باید از ژنوم گیاهی جدا شده، از واکنش هضم آنزیمی سلول گیاهی مصون مانده، درون محیط هضم کننده دستگاه گوارش بقاء یافته، از دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی باکتری مستعد عبور کرده، از وقایع هضم آنزیمی باکتری در امان مانده و وارد ژنوم

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

باکتری پذیرنده شده و به طور فعال بیان شود. هنگامی که ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک وارد ژنوم یک باکتری پذیرنده می‌شود، یک فشار گزینشی به‌منظور تکثیر باکتری‌های تراریخته مورد نیاز خواهد بود. در غیر این صورت تعداد باکتری‌های تراریزش شده کاهش یافته و به دلیل وجود باکتری‌های فلور حذف خواهند شد. در مجموع، احتمال وقوع انتقال ژن از گیاهان تراریخته به باکتری‌ها به دلیل تخریب مولکول‌های دی.ان.ای در اثر فرآوری‌های غذایی، تخریب آن‌ها در محیط تجزیه کننده دستگاه گوارش و عدم وجود فشار گزینشی در دستگاه گوارش بسیار بعید به‌نظر می‌رسد (۳۱).

۵- امیدهای تازه در تولید محصولات GM

محصولات GM حدود ۲۲ سال است که به‌طور تجاری مورد کشت و کار قرار می‌گیرند، اما هنوز به ویژه در اروپا، مورد پذیرش عمومی قرار نگرفته‌اند. به‌ویژه محصولات GM مقاوم به علف‌کش‌ها و آفات که به‌دلیل فقدان مزیت‌های مستقیم برای مصرف کنندگان از نظر تغذیه‌ای، تنها از سوی کشاورزان مورد استقبال قرار گرفته‌اند. مطالعات نشان داده‌اند که غذاهای حاصل از محصولات GM، به‌دلیل فراهم کردن مزیت سلامت برای مصرف کنندگان، مطلوب‌تر خواهد بود (۳۷). به هرحال با ورود نسل جدید محصولات GM به بازار در جهت منافع مصرف کنندگان، به زودی این وضعیت تغییر خواهد کرد. مهم‌ترین صفات موجود در نسل جدید محصولات GM عبارتند از: ۱) ترکیبات غذایی کم مصرف (ویتامین A، آهن، فولات و آسکوربات)، ۲) اسیدهای چرب سالم از لحاظ تغذیه‌ای (اولئیک اسید و اسید چرب امگا۳)، ۳) نشاسته مقاوم، ٤) ضد اکسنده‌ها (Antioxidant) (آنتوسیانین‌ها) و غیره. به‌طور کلی، در این گونه گیاهان یک یا چند ژن مهم درگیر در مسیرهای متابولیکی با استفاده از مهندسی ژنتیک و به‌منظور تحریک تجمع متابولیت‌های حیاتی به گیاه منتقل شده و یا خاموش می‌شوند. تعدادی از محصولات GM نسل جدید، تولید شده و تقریبا آماده رهاسازی هستند، مانند برنج طلایی که حاوی مقادیر بالایی بتاکاروتنوئید در آندوسپرم خود است (۳۳). مصرف برنج طلایی می‌تواند از کمبود ویتامین A، شایع در بین افراد دارای سوء تغذیه در کشورهای در حال توسعه، جلوگیری کند. همچنین محصولات GM نسل جدید می‌توانند خطرهای ناشی از بیماری‌های مزمن مانند چاقی مفرط، بیماری قلبی، دیابت نوع ۲ و بسیاری از سرطان‌ها را در جوامع کاهش دهند. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که تجاری‌سازی نسل جدید محصولات GM، موجب افزایش بهبود پذیرش عمومی و خرید و فروش آن‌ها ظرف ۵ تا ۱۰ سال آینده خواهد شد (۷).

همزمان با گسترش محصولات GM، روش‌های جدیدی در مهندسی ژنتیک جهت کاهش خطر این محصولات توسعه یافته‌اند. برخلاف روش‌های مرسوم تغییر ژنتیکی، این روش‌های جدید، انتقال عناصر ژنتیکی یا پروتئین‌های جدید به گیاهان زراعی را در بر نداشته و بنابراین ضمن کاهش خطرهای احتمالی گیاهان تراریخته، موجب بهبود درک عمومی از محصولات GM می‌شوند. سازوکار پیرایش ژنومی ویژه جایگاه با کارآیی بالا (Site-specific genome editing with high efficiency) به‌عنوان یکی از روش‌های زیست‌فناوری نوین شناخته شده و شامل سه روش مجزا است: ۱) نوکلئاز انگشت روی (Zinc

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

(Finger Nuclease, ZFN)، ۲) نوکلئاز فعال مشابه با یک فعال کننده نسخه‌برداری (Transcription Activator Like Effector Nuclease, TALEN) و ۳) تکرارهای پالیندرومیک کوتاه به صورت خوشه‌ای با فواصل منظم (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, CRISPR/Cas) (۷).

نتیجه‌گیری

نزدیک به دو دهه از کشت و کار محصولات GM به‌طور تجاری سپری می‌شود. با وجود عدم گزارش از اثرهای سوء آن‌ها بر سلامتی انسان، حیوان‌ها و محیط، همچنان بحث‌های متعصبانه در مورد خطرهای احتمالی آن‌ها وجود دارد (٤). شرکت‌های خصوصی تولید کننده سموم شیمیایی، سازمان‌های خبری و افرادی که منافع خود را در خطر می‌بینند از جمله مخالفان سرسخت محصولات GM به شمار می‌آیند. محصولاتی که با هدف کاهش سوء تغذیه، افزایش عملکرد و در نهایت بهبود کشاورزی تولید شده‌اند، هم‌اکنون تنها به دلایل متعصبانه و ناروا مورد تاخت و تاز قرار گرفته‌اند. مانند تولید برنج طلایی که به دلایل واهی همچون داشتن طعم نامطلوب و مصرف بیش از حد برای داشتن اثرهای مفید در کودکان مورد مخالفت قرار گرفته است (۳٤). کشت پنبه مقاوم به آفات حاوی سم Bt در هندوستان موجب کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و افزایش عملکرد در واحد سطح در مقایسه با پنبه غیر تراریخته شده است. با این‌حال منتقدان محصولات GM بر این باورند که کشت پنبه Bt، حشرات شکارگر و پارازیت آفات طبیعی پنبه را تحت تاثیر قرار داده، موجب افزایش سایر آفات شده و در نهایت سبب شکل‌گیری آفات مقاوم به پنبه Bt خواهد شد (٤٤). یک سوال اساسی اینجا مطرح می‌شود و آن این است که آیا خطر سموم شیمیایی که هیچ‌گونه گزینشی ندارند، بر حشرات پارازیت و غیر آفت کشنده‌تر است یا گیاهان Bt که گزینشی عمل می‌کنند؟ این درحالی است که پیش‌تر باکتری Bt به‌عنوان یک آفت‌کش زیستی به‌طور وسیعی توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گرفت بدون آن‌که اثرهای سوء روی انسان و محیط داشته و موجب به وجود آمدن آفات مقاوم شود (۲۱).

خطرهای احتمالی مطرح شده در مورد محصولات GM می‌تواند در محصولات حاصل از روش‌های اصلاح سنتی و نیز روش‌های اصلاحی از طریق ایجاد جهش‌های شیمیایی یا پرتوی نیز مشاهده شود. در روش‌های مهندسی ژنتیک و اصلاح نباتات سنتی، هدف و نتیجه کار مشابه بوده و تنها نوع روش مورد استفاده متفاوت است. یکی از بحث‌های مطرح شده در مورد محصولات GM، غیر طبیعی بودن آن‌هاست. به هرحال طبیعی بودن هرگز به‌معنای کامل بودن و بی‌عیب بودن نیست. از طرفی بسیاری از واریته‌های تجاری ارقام زراعی، در حالت طبیعی قابل مصرف نبوده و توسط روش‌های سنتی اصلاح شده‌اند. همچنین بحث سمی بودن و حساسیت‌زایی نیز تنها مختص محصولات GM نبوده و در محصولات سنتی حاصل از روش‌های اصلاح سنتی نیز قابل مشاهده است (۲۱).

با وجود طرح خطرهای احتمالی در مورد محصولات GM، ارزیابی این خطرها و نظارت دقیق بر گیاهان تراریخته تحت روش‌های محدودسازی زراعی و سازوکارهای مهندسی ژنتیک در چارچوب قانون ایمنی زیستی کارتاهنا (Cartagena protocol) انجام می‌گیرد، در حالی که چنین ملاحظاتی به‌هیچ وجه در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

مورد محصولات سنتی رعایت نمی‌شود. کاشت و تجاری‌سازی محصولات GM علاوه بر حفظ تنوع زیستی از طریق کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، حفظ حشرات مفید غیرآفت و احیاء ارقام بومی، مزیت‌های دیگری نیز دارد. تولید سوخت‌های زیستی، استفاده از گیاهان تراریخته به منظور حذف آلاینده‌های زیست محیطی، افزایش عملکرد در واحد سطح به دلیل بالا بودن کمیت و کیفیت محصولات GM و ممانعت از توسعه کشاورزی به اکوسیستم‌های وحشی از مزیت‌های دیگر محصولات GM به شمار می‌روند. بنابراین به نظر می‌رسد که در بحث تولید و استفاده از محصولات GM، علاوه بر پرهیز از ارائه نظرات فاقد ارزش علمی و متعصبانه، باید فرهنگ‌سازی لازم انجام گیرد تا ضمن افزایش درک عمومی از گیاهان تراریخته، پذیرش عمومی و تجارت‌سازی وسیع آن‌ها با استقبال جوامع روبرو شود.

فهرست منابع

References

1- **Andow, D.A. and Alstad, D.N. 1998.** F2 screen for rare resistance alleles. Journal of Economic Entomology, 91, 572–578.

2- **Andow, D.A. and Zwahlen, C. 2006.** Assessing environmental risks of transgenic plants. Ecology Letters, 9, 196–214.

3- **Aumaitre, A., Aulrich, K., Chesson, A., Flachowsky, G. and Piva, G. 2002.** New feeds from genetically modified plants: substantial equivalence, nutritional equivalence, digestibility, and safety for animals and the food chain. Livestock Production Science, 74, 223–238.

4- **Barrows, G., Sexton, S. and Zilberman, D. 2014.** Agricultural biotechnology: The promise and prospects of genetically modified crops. Journal of Economic Perspectives, 28, 99–120.

5- **Cantamutto, M. and Poverene, M. 2007.** Genetically modified sunflower release: Opportunities and risks. Field Crops Research, 101, 133–144.

6- **CBD (Convention on Biological Diversity) (1992).**'Preamble 'and' Article 2: Use of terms' Montreal, Canada: United Nations Environment Program (UNEP), Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

7- **Chen, H. and Lin, Y. 2013.** Promise and issues of genetically modified crops. Current Opinion in Plant Biology, 16, 255–260.

8- **Conner, A, J., Glare, T.R. and Nap, J.P. 2003.** The release of genetically modified crops into the environment. The Plant Journal, 33, 19–46.

9- **Craig, W., Tepfer, M., Degrassi, G. and Ripandelli, D. 2008.** An overview of general features of risk assessments of genetically modified crops. Euphytica, 164, 853–880.

10- **Crawley, M.J., Brown, S.L., Hails, R.S., Kohn, D.D. and Rees, M. 2001.** Transgenic crops in natural habitats. Nature, 409, 682–683.

11- **de Vries, J., Heine, M., Harms, K. and Wackernagel, W. 2003.** Spread of recombinant DNA by roots and pollen of transgenic potato plants, identified by highly specific biomonitoring using natural transformation of an *Acinetobacter* sp. Applied and Environmental Microbiology, 69, 4455–4462.

12- **Devos, Y., Aguilera, J., Diveki, Z., Gomes, A., Liu, Y., Paoletti, C., du Jardin, P., Herman, L., Perry, J.N. and Waigmann, E. 2014.** EFSA's scientific activities and achievements on the risk assessment of genetically modified organisms (GMOs) during its first decade of existence: looking back and ahead. Transgenic Research, 23, 1–25.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

13- **Devos, Y., Hails, R.S., Messe, A., Perry, J.N., Squire, G.R. 2012.** Feral genetically modified herbicide tolerant oilseed rape from seed import spills: Are concerns scientifically justified? Transgenic Research, 21, 1–21.

14- **Ellstrand, N.C. 2014.** Is gene flow the most important evolutionary force in plants? American Journal of Botany, 101, 737–753.

15- **Gay, P.B. and Gillespie, S.H. 2005.** Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: A risk to human health? Lancet Infectious Diseases, 5, 637–46.

16- **Goldstein, D.A., Tinland, B., Gilbertson, L.A., Staub, J.M., Bannon, G.A., Goodman, R.E., McCoy, R.L. and Silvanovich, A. 2005.** Human safety and genetically modified plants: A review of antibiotic resistance markers and future transformation selection technologies. Journal of Applied Microbiology, 99, 7–23.

17- **Ives, A.R. and Andow, D.A. 2002.** Evolution of resistance to *Bt* crops: directional selection in structured environments. Ecology Letters, 5, 792–801.

18- **James, C. 2015.** Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014. ISAAA Brief No. 49. ISAAA: Ithaca, NY.

19- **Keeney, K.M., Yurist-Doutsch, S., Arrieta, M.C. and B. Brett Finlay, B.B. 2014.** Effects of antibiotics on human microbiota and subsequent disease. Annual Review of Microbiology, 68, 217-235.

20- **Keese, p. 2008.** Risks from GMOs due to horizontal gene transfer. Environmental Biosafety Research, 7, 123–149.

21- **Key, S., Ma, J.K.C. and Drake, P.M.W. 2008.** Genetically modified plants and human health, Journal of the Royal Society of Medicine, 101, 290–298.

22- **Kleter, G.A., Peijnenburg, A.A.C.M. and Aarts, H.J.M. 2006**. Health considerations regarding horizontal transfer of microbial transgenes present in genetically modified crops. Journal of Biomedicine and Biotechnolog, 4, 326–352.

23- **Li, Y.H., Romeis, J., Wu, K.M. and Peng, Y.F. 2014.** Tier-1 assays for assessing the toxicity of insecticidal proteins produced by genetically engineered plants to non-target arthropods. Insect Science, 21, 125–134.

24- **Losey, J.E., Rayor, L.S. and Carter, M.E. 1999.** Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature, 399, 214.

25- **Louwaars, N.P., Visser, B., Nap, J.P. and Brandenburg, W. 2002.** Transgenes in mexican maize landraces: Analysis of data and potential impact. Policy brief, Wageningen, the Netherlands: Plant Research International, pp. 4.

26- **Malone, L.A. and Pham-Dele`gue, M.H. 2001.** Effects of transgene products on honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus* sp.). Apidologie, 32, 278–304.

27- **Megha, K. and Kaur, S.G. 2013.** Ecological impact of genetically modified crops. Research Journal of Recent Sciences, 2, 1-4.

28- **Meyer, H. 2011.** Systemic risks of genetically modified crops: the need for new approaches to risk assessment. Environmental Sciences Europe, 23, 7.

29- **Nielsen, K.M., van Elsas, J.D. and Smalla, K. 2000.** Transformation of *Acinetobacter* sp. strain BD413 (pfg4dnptII) with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of kanamycin on selection of transformants. Applied and Environmental Microbiology, 66, 1237–1242.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

30- Nordgrd, L., Brusetti, L., Raddadi, N., Traavik, T., Averhoff, B. and Nielsen, K.M. 2012. An investigation of horizontal transfer of feed introduced DNA to the aerobic microbiota of the gastrointestinal tract of rats. BMC Research Notes, 5, 170.

31- Paarlberg, Robert. 2010. GMO Foods and Crops: Africa's Choice. New Biotechnology, 27, 609–13.

32- Paine, J.A., Shipton, C.A., Chaggar, S., Howells, R.M., Kennedy, M.J., Vernon, G., Wright, S.Y., Hinchliffe, E., Adams, J.L., Silverstone, A.L. et al. 2005. A new version of golden rice with increased pro-vitamin A content. Nature Biotechnology, 23, 482–487.

33- Potrykus, I. 2001. Golden Rice and beyond. Plant Physiology, 125, 1157–61.

34- Rahman, M., Shaheen, T., Irem, S. and Zafar, Y. 2015. Biosafety risk of genetically modified crops containing CRY genes, Environmental Chemistry for a Sustainable World, 5, 307-334.

35- Rizzi, A., Raddadi, N., Sorlini, C., Nordgard, L., Nielsen, K.M. and Daffonchio, D. 2012. The stability and degradation of dietary DNA in the gastrointestinal tract of mammals: implications for horizontal gene transfer and the biosafety of GMOs. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52, 142–161.

36- Rommens, C.M. 2010. Barriers and paths to market for genetically engineered crops. Plant Biotechnology Journal, 8, 101–111.

37- Royal Society 2002. Genetically modified plants for food use and human health–an update. The Royal Society, London, UK.

38- Saxena, D. and Stotzky, G. 2001. Bt toxin uptake from soil by plants. Nature Biotechnology, 19, 199.

39- Sears, M.K., Hellmich, R.L., Stanley-Horn, D.E., Oberhauser, K.S., Pleasants, J.M., Mattila, H.R., Siegfried, B.D. and Dively, G.P. 2001. Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 98, 11937–11942.

40- Shelton, A.M., Tang, J.D., Roush, R.T., Metz, T.D. and Earle, E.D. 2000. Field tests on managing resistance to Bt engineered plants. Nature Biotechnology, 18, 339–342.

41- Shewry, P.R., Baudo, M., Lovegrove, A., Powers, S., Napier, J.A., Ward, J.L., Baker, J.M. and Beale, M.H. 2007. Are GM and conventionally bred cereals really different? Trends Food Science and Technology, 18, 201–209.

42- Snow, A.A. and Morán-Palma, P. 1997. Commercialization of Transgenic Plants: Potential Ecological Risks. BioScience, 47, 86–96.

43- Taverne, D. 2005. The new fundamentalism. Nature Biotechnology, 23, 415–6.

44- Taylor, S.L. 2006. Review of the development of methodology for evaluating the human allergenic potential of novel proteins. Molecular Nutrition & Food Research, 50, 604–609.

45- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D., Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D. and Swackhamer, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science, 292, 281–284.

46- USA FDA, 2002. Evaluation of allergenicity of proteins introduced into bioengineered foods. Discussion paper.

47- USA National Research Council. 2004. Safety of genetically engineered foods: approaches to assessing unintended health effects. Committee on Identifying and Assessing Unintended Effects of Genetically Engineered Foods on Human Health, USA National Research Council. The National Academies Press, Washington, D.C., USA

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]

Genetically modified plants: concerns and facts

Reza Heidari Japelaghi[1] and Ebraheem Dorani[2]*

1- PhD student of Plant Biotechnology, Breeding and Plant Biotechnology, Agricultural Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.

2- Assistant Profosor of Breeding and Plant Biotechnology, Agricultural Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.

uliaie@yahoo.com.

Abstract

The principle crops grown are soybean, cotton, maize and canola although rice and sweet potato are also on the increase. The production of Roundup Ready soybean in 1996 that being exported worldwide as basic ingredient for the feed and food industry, initiated the worldwide public debate on the environmental risks of genetically modified (GM) crops. The kinds of environmental risks include: gene flow to non-target effects, risk of superpests, superdiseases and superweeds, impact on biodiversity, antibiotic resistance markers (ARMs) from GM crops to environment and the concerns related to food safety and their impacts on human, livestock and poultry health. In addition to GM crops resistant to herbicides and pests, new-generation GM crops are now also being developed for the production of recombinant proteins, industrial enzymes and biopolymers, biofuels and micronutrients.

Keywords: GM crops, Biosafety, Biological diversity, Antibiotic resistance markers, Horizontal gene transfer

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-02-20]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1395.9.4.1.9]