مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

بررسی پذیرش جهانی گیاهان تراریخته: گذشته، حال و آینده

20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3 نوع مقاله: مروری

عباس عالم‌زاده

استاد بخش تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران

alemzadeh@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶

صفحه ۷۲-۵۰

چکیده

در دهه‌های اخیر، مهندسی ژنتیک و انتقال ژن به گیاهان نقش مهمی در توسعه به‌نژادی گیاهان زراعی از طریق انتقال ژن‌های مفید و یا خاموش کردن ژن‌های درونی یک گیاه داشته است. در سال‌های اخیر، استفاده از موجودات تراریخته از جمله گیاهان تراریخته در جهان بشدت توسعه یافته است. گیاهان برای صفات مختلفی از جمله تحمل به علف‌کش، مقاومت به آفت، تحمل به تنش‌ها و بهبود صفات تغذیه‌ای مورد دستورزی ژنتیکی قرار می‌گیرند. پذیرش جهانی این گیاهان در سال‌های اخیر به طور مداوم رو به افزایش بوده است. از اولین کشت تجاری گیاهان تراریخته در سال ۱۹۹۶ تا کنون سطح زیر کشت این گیاهان به طور پیوسته رو به افزایش بوده است به گونه‌ای که از ۱/۵ میلیون هکتار در آن سال به حدود ۲۰۱۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۲۴ رسیده است. نتایج نشان می‌دهند که چهار گیاه اصلی تراریخته‌ی پنبه، سویا، ذرت و کلزا، به ترتیب بیشترین پذیرش جهانی را دارند؛ امروزه، نزدیک به ۸۰ درصد پنبه کشت شده در جهان تراریخته است. این گیاهان توسط بیش از ۱۸ میلیون کشاورز در ۲۸ کشور کشت می‌شوند. این مقاله به بررسی وضعیت گیاهان تراریخته در طی زمان می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی زیستی، انتقال ژن، گیاهان دستورزی شده ژنتیکی، مهندسی ژنتیک

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

مقدمه

جمعیت جهان در حال حاضر از مرز ۸ میلیارد و ۲۶۰ هزار نفر عبور کرده است و با نرخی تقریبی برابر با ۱۴۰ تولد در روز به سرعت در حال افزایش است (Worldometer, 2025). با این نرخ رشد انتظار می‌رود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۱۰ میلیارد نفر برسد (Worldometer, 2025). این جمعیت رو به رشد نیاز به غذا دارد و هرچند جهان، هم اکنون نیز با بحران کمبود غذای مناسب روبرو است (Chaudhari, 2023). این درحالی است که در بعضی از کشورهای جهان با اینکه به ظاهر غذا برای همه وجود دارد، اما به دلیل کیفیت پایین مواد غذایی افراد با سوتغذیه، یا همان گرسنگی پنهان، روبرو هستند و معمولا این کشورها در آمارهای غذای ناکافی لحاظ نمی‌شوند. موارد ذکر شده در سطور بالا و بسیاری از موارد دیگر نشان می‌دهد که برای تامین غذای جمعیت رو به افزایش جهان نیاز است تا چاره‌ای اندیشید. یکی از راه‌های امکان افزایش غذای با کیفیت استفاده از فناوری‌های نوین است که می‌توان با استفاده از آنها تا حدی عقب‌افتادگی بخش کشاورزی از رشد جمعیت را جبران کرد (Chaudhari, 2023). با امکان دست‌ورزی ژنتیکی گیاهان از چند دهه قبل، این امکان برای بشر بوجود آمد تا بتواند از محصولات مهندسی شده، که نسبت به گیاهان معمولی از ارزش افزوده بیشتری برخوردارند، در کشاورزی و تامین غذای با کیفیت‌تر استفاده کند (Meena et al. 2022; Saki and Mirsoleymani, 2024; Sheikholeslami et al. 2024). از سال ۱۹۹۶ که اولین گیاه تراریخته به صورت تجاری کشت شد تا به امروز به طور دائم سطح زیر کشت این گیاهان سال به سال افزایش یافته است (GM Monitor, 2024).

نیم‌قرن اولیه، شناسایی عامل انتقال ژن به گیاهان در طبیعت

اولین گزارش در ارتباط با انتقال دی‌انا به گیاهان، به سال ۱۸۹۴ برمی‌گردد که یک گیاه‌پزشک آمریکایی به نام اسمیت طی مقاله‌ای به یک بیماری که باعث برآمدگی‌های گوشتی روی گیاهان می‌شد و بعدا به آن **"گال طوقه (crown gall)"** گفته شد، اشاره کرده بود (Smith, 1894). در آن زمان کسی علت بوجود آمدن این گال‌ها را نمی‌دانست، اما اسمیت حدس زد که این گال‌ها توسط یک نوع باکتری ایجاد شده است (Smith, 1896). اگرچه این مقاله اسمیت، که در آن باکتری‌ها را عامل این بیماری گیاهی می‌دانست، با مخالفت شدید باکتریولوژیست‌های مشهور مانند آلفرد فیشر آلمانی روبرو شد که معتقد بودند باکتری‌ها باعث بیماری در گیاهان نمی‌شوند و مقالاتی در جواب اسمیت به چاپ رساندند. در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

همان زمان طی تحقیقی از گال طوقه، کپک جدا شد و برای همین ایجاد این گال در طوقه به یک کلاس از کپک لجن به نام Myxomycetes نسبت داده شد (Chamberlain, 1897).در سال ۱۹۰۵ با پیدا شدن گال طوقه روی ۲ درخت میوه بویژه در نهالستان‌های نگهداری درختان و ایستگاه‌های کشاورزی، دوباره بحث درباره گال طوقه داغ شد و تحقیقات جدیدی در این زمینه شروع شد (Hedgcock, 1905). حدود ۲ سال بعد یعنی در سال ۱۹۰۷، اسمیت توانست از گال ایجاد شده روی درخت هلو باکتری‌هایی را جداسازی کند که می‌توانستند درختان سالم را آلوده و روی آنها گال ایجاد کنند؛ او این باکتری را *Bacterium tumefaciens* نامید (Smith and Townsend, 1907). اسمیت در ادامه متوجه شد که این باکتری هم درون و هم روی گیاه رشد می‌کند و به همین دلیل به آن عنوان **"سرطان گیاهی (plant cancer)"** یا **"تومور گیاهی (plant tumor)"** داد (Smith and Townsend, 1907).در سال ۱۹۲۵ نام علمی این باکتری از *B. tumefaciens* به *Phytomonas tumefaciens* (Bergey et al. 1925) و در سال ۱۹۴۲ به *Agrobacterium tumefaciens* تغییر یافت (Conn, 1942).

در ادامه دانشمندان تحقیقات زیادی روی این باکتری و چگونگی تشکیل تومور در گیاه انجام دادند. طی تحقیقات بعدی مشخص شد که وجود باکتری برای شروع تشکیل تومور لازم و ضروری است، اما بعد از تشکیل تومور حتی اگر سلول‌های باکتری حذف شوند، باز هم تومور قادر به رشد است (White and Braum, 1941). این موضوع نشان می‌داد که سلول‌های مورد حمله باکتری دچار یک تغییر دائمی شده‌اند که حتی بدون حضور باکتری هم به رشد بی‌رویه خود ادامه می‌دهند. افزون بر این تحقیقات نشان دادند که باکتری درصورتی می‌تواند باعث تغییر در سلول‌های گیاه شود که در گیاه زخمی برای ورود سلول‌های باکتری به درون گیاه وجود داشته باشد (Braun, 1947). برای تعیین بهترین شرایط رشد سلول‌های باکتری، تحقیقات گسترده‌ای توسط دانشمندان مختلف صورت گرفت. نتایج این تحقیقات نشان داد که شرایط محیطی مختلفی روی رشد باکتری، ایجاد تومور در گیاه و رشد تومور اثر می‌گذارد (Riker, 1926). یکی از این عوامل دما بود. تحقیقات نشان دادند که بهترین دمای رشد برای باکتری *A. tumefaciens* دمای ۲۸ درجه سیلسیوس است؛ همچنین مشخص شد که دمای ۳۲ درجه سیلسیوس باعث مرگ سلول‌های باکتری می‌شود اما مانع رشد تومور نمی‌شود (Riker, 1926). حتی بعدا توسط دانشمندان دیگر نشان داده شد که دما نقش بسزایی در انتقال دی‌ان‌ای توسط باکتری به گیاه دارد (Tempé et al. 1977). یکی از دانشمندانی که روی این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

باکتری و چگونگی تشکیل تومور و رشد گال طوقه برای بیش از ۳۰ سال کار کرد، آرمین براون بود که به همین دلیل به وی لقب **"پدر تحقیقات گال طوقه"** را دادند (Chilton, 2001).

طی یک سری آزمایشات مشخص شد که اگر سلول‌های باکتری در معرض دمای ۳۷ درجه سانتیگراد قرار گیرند، خاصیت تومورزایی خود را از دست می‌دهند (Hamilton and Fall, 1971)؛ همچنین مشخص شد که اگر سلول‌های گیاهی را هم‌زمان با سویه‌های تومورزا و غیرتومورزا آلوده کنند و بعد باکتری‌ها را جداسازی کنند، سلول‌های سویه غیرتومورزا، تومورزا می‌شوند که این موضوع دال بر این داشت که اطلاعات ژنتیکی تومورزایی در این باکتری خارج از کروموزوم، مثلا پلاسمید، قرار دارد که می‌تواند از سلول‌های باکتریایی تومورزا به سلول‌های باکتریایی غیرتومورزا منتقل شود (Kerr, 1971). در دهه ۵۰ میلادی آزمایشات زیست‌شناسی مولکولی توسعه یافت و فن‌آوری‌های نوین در این رشته، پا به عرصه ظهور گذاشتند (Astbury, 1961) که در سال‌های بعد منتهی به امکان دست‌ورزی ژنتیکی گیاهان به صورت غیرمستقیم، عمدتا به واسطه باکتری آگروباکتریوم، و مستقیم، عمدتا به روش زیست‌پرتابی، شد (Chilton, 2001).

آیا انتقال ژن به گیاهان یک پدیده مصنوعی و غیرطبیعی است؟

همانگونه که در سطور بالا توضیح داده شد، اولین مهندس ژنتیک جهان یک باکتری است که به طور معمول در طبیعت قسمتی از دی‌ان‌ای خود را به سلول‌های گیاهی منتقل می‌کند. حدود ۲۰ سال بعد از اینکه آرمین براون حدس زده بود احتمالا دی‌ان‌ا باکتری باعث ایجاد تومور در گیاه می‌شود، راب شیل‌پرورت موفق شد دی‌ان‌ای باکتری آگروباکتریوم را از تومور ایجاد شده در توتون جداسازی کند (Schilperoort et al. 1961). این موضوع تاییدی بود بر اینکه باکتری با انتقال دی‌ان‌ای خود به درون سلول‌های گیاهی باعث تغییر در آن می‌شود یا به عبارت دیگر اطلاعات ژنتیکی سلول گیاهی را دست‌ورزی می‌کند. تحقیقات بعدی نشان داد که در حقیقت یک پلاسمید بسیار بزرگ در سویه‌های تومورزای آگروباکتریوم وجود دارد که در سویه‌های غیرتومورزا وجود ندارد و این پلاسمید در ایجاد تومور دخالت دارد (Zaenen, 1974) و بعدا این پلاسمید را پلاسمید تومورزا (Tumor-inducing plasmid, Ti plasmid) نامیدند (Engler et al. 1975). در ادامه مشخص شد که قطعه‌ای از پلاسمید تومورزا، که قبلا مشخص شده بود هر سلول باکتری تنها یک نسخه از این پلاسمید را دارد، به درون ژنوم سلول گیاهی الحاق می‌شود و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

همین موضوع باعث رشد بی‌رویه سلول گیاهی و تومورزایی می‌شود و این قطعه را دی‌ان‌ای منتقل شونده (Transferred-DNA, T-DNA) نامیدند (Chilton, 1977). با این کشفیات، این فرضیه مطرح شد که وقتی سلول باکتری می‌تواند یک قطعه از دی‌ان‌ای خودش، دی‌ان‌ای منتقل شونده، را به درون ژنوم سلول گیاهی منتقل کند، آیا این امکان وجود دارد که دانشمندان قطعه‌ای دی‌ان‌ای مورد نظر خود را جایگزین دی‌ان‌ای منتقل شونده قرار دهند و باکتری آن را به سلول گیاهی منتقل کند؟

در سال ۱۹۸۰ برای اولین بار دانشمندان توانستند یک قطعه دی‌ان‌ا، ترانسپوزون ۷ (Tn7) از کلی باسیل (*Escherichia coli*)، را درون دی‌ان‌ای منتقل شونده باکتری آگروباکتریوم قرار دهند و آن را به سلول گیاهی منتقل کنند، گرچه موفق نشدند عمل باززایی را انجام دهند و هیچ گیاه سالم حاوی دی‌ان‌ای خارجی به دست نیامد (Hernalsteens et al. 1980). در این زمان برای اولین بار موضوع ثبت اختراع موجوداتی که دی‌ان‌ا به آنها منتقل شود پیش آمد و پس از بحث‌های فراوان بالاخره با اختلاف بسیار کمی، قضات رای دادند که موجودات دست‌ورزی‌شده ژنتیکی می‌توانند ثبت اختراع شوند و همین موضوع باعث شد تا پای شرکت‌های تجاری، مونسانتو (Monsanto) به عنوان اولین شرکت، به این موضوع باز شود. چندین آزمایشگاه در جهان سعی داشتند تا با استفاده از یک فرآیند طبیعی که توسط باکتری آگروباکتریوم اتفاق می‌افتد، اولین گیاه تراریخته را تولید کنند و بالاخره در سال ۱۹۸۳ تولید اولین گیاه تراریخته جهان، که یک توتون دست‌ورزی شده حاوی ژن رمزگذار الکل دهیدروژناز مخمر نان بود، گزارش شد (Barton et al. 1983)، اگرچه این ژن، چون هیچ ناحیه تنظیمی برای بیان در سلول گیاهی همراه آن نبود، در گیاه بیان نشد (Barton et al. 1983). همین موضوع باعث شد که دانشمندان بلافاصله سیستم ناقل دوتایی (binary vector) را ابداع و معرفی کنند (Hoekema et al. 1983). در این سیستم چون ژن مورد نظر روی یک پلاسمید کوچک قرار می‌گیرد، به راحتی می‌توان آن را مهندسی کرد و برای آن نواحی تنظیمی مناسب برای بیان در گیاهان تعبیه کرد (Hoekema et al. 1983). در همین سال با استفاده از سیستم ناقل دوتایی دانشمندان توانستند اولین گیاه تراریخته‌ای که حاوی ژن رمزگذار کلرآمفیکل استیل‌ترانسفراز (*cat*) جدا شده از باکتری کلی باسیل بود و تحت پیشبر ژن نوپالین سنتاز (*nos*) قرار داده شده بود را تولید کنند. این ژن به خوبی در گیاه تراریخته بیان شد (Herrera-Estrella et al. 1983).

همانگونه که در تمام موارد بالا دیده می‌شود، فرآیند انتقال ژن، تراژن و نواحی تنظیمی همه در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

طبیعت وجود دارند و هیچ چیز ساختگی که در طبیعت وجود نداشته باشد در این مسیر استفاده نمی‌شود. در مسیر دست‌ورزی ژنتیکی گیاهان حتی ابزار انتقال ژن، باکتری آگروباکتریوم، گرفته شده از طبیعت است که در حال تغییر ژنتیکی گیاهان در طبیعت است.

کشت تجاری گیاهان تراریخته از ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴

ظهور گیاهان تراریخته درحقیقت انقلابی در کشاورزی جهان بود و به همین دلیل کشاورزان در عرض مدت کوتاهی اقدام به کشت تجاری آنها کردند. چین اولین کشوری بود که در اوایل دهه ۹۰ میلادی با معرفی یک توتون تراریخته مقاوم به ویروس، گیاهان تراریخته را تجاری کرد و به دنبال آن هم یک گوجه‌فرنگی مقاوم به ویروس را تجاری کرد (Bawa and Anilakumar, 2013). در سال ۱۹۹۴، اولین گیاه تراریخته‌ای که موفق شد از سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) مجوز مصرف برای غذا در آمریکا را بگیرد، گوجه‌فرنگی "فلاور ساور (FLAVR SAVR)" بود که توسط شرکت کالژن (Calgene)، که بعدا توسط شرکت مونسانتو خریداری شد، تولید شده بود؛ این گوجه‌فرنگی حاوی آنتی سنس ژن رمزگذار آنزیم پلی‌گالاکتوروناز بود که باعث می‌شد بعد از چیدن، ماندگاری بیشتری داشته باشد (Bruening and Lyons, 2000). این گوجه‌فرنگی از سال ۱۹۹۴، به خصوص برای تهیه رب گوجه‌فرنگی، از نظر تجاری بسیار موفق بود؛ تا اینکه از پاییز ۱۹۹۸ به طور چشمگیری محبوبیت آن بدلیل ملاحظات عمومی در مورد غذاهای دست‌ورزی ژنتیکی کاهش یافت (Bruening and Lyons, 2000). تا سال ۱۹۹۵، تنها تعداد محدودی محصول مجوز مصرف گرفته بودند که شامل کلزای تراریخته که ترکیب روغن آن بهبود یافته بود (توسط شرکت کالژن)، ذرت مقاوم به افات جاوی ژن *Bt* (توسط شرکت Ciba-Geigy)، پنبه مقاوم به علف‌کش بروموکسینیل (توسط شرکت کالژن)، پنبه مقاوم به آفات حاوی ژن *Bt* (توسط شرکت مونسانتو)، سیب‌زمینی مقاوم به آفات حاوی ژن *Bt* (توسط شرکت مونسانتو)، سویا مقاوم به علف‌کش گلیفوسیت (توسط شرکت مونسانتو)، کدوحلوایی مقاوم به ویروس (توسط شرکت Asgrow)و گوجه‌فرنگی‌های با دیررسی بیشتر (توسط شرکت مونسانتو) (Clive, 2011).

در پاسخ به ملاحظات ایمنی زیستی مطرح شده در رابطه با گیاهان، منجر به تنظیم ضبواط ایمنی زیستی توسط دولت‌ها شد تا اطمینان از ایمنی و سلامت این محصولات برای محیط زیست و انسان قبل از تجاری‌سازی آنها حاصل شود (Clive and Anatole, 1996). اولین آزمایشات مزرعه‌ای گیاهان تراریخته مربوط به توتون

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

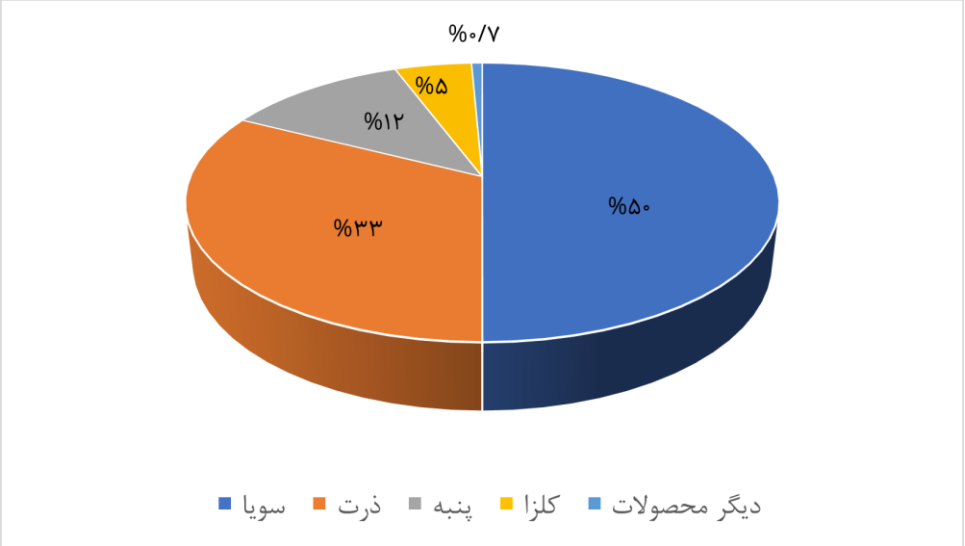
[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

تراریخته‌ای بود که نسبت به علف‌کش مقاوم شده بود و در سال ۱۹۸۶ در ایالت متحده آمریکا و فرانسه کشت شد (Clive and Anatole, 1996). در یک دوره موقت، بیش از ۳۵۰۰ آزمایش مزرعه‌ای در ۱۵۰۰۰ ایستگاه تحقیقاتی مجزا در ۳۴ کشور، که عمده آنها در آمریکای شمالی و اتحادیه اروپا بودند، روی حداقل ۵۴ محصول تراریخته انجام شد (Clive and Anatole, 1996). در این میان، ۹۱٪ در کشورهای صنعتی، ۱٪ در اروپای شرقی و روسیه، ۸٪ در کشورهای در حال توسعه، عمدتا در آمریکا لاتین و کارائیب، فقط ۲٪ آن در کشورهای درحال توسعه واقع شده در آسیا، تقریبا منحصرا در چین، و درصد بسیار ناچیزی در آفریقا، تقریبا تمام آن در آفریقای جنوبی انجام شد (Clive and Anatole, 1996). در یک نگاه کلی، عمده این آزمایش‌ها در ایالت متحده آمریکا، کانادا، فرانسه، بریتانیا و هلند و به دنبال آن در بلژیک، آرژانتین، ایتالیا، چین، آلمان، استرالیا، شیلی و مکزیک انجام شد (Clive and Anatole, 1996).

اولین بار گیاهان تراریخته در سال ۱۹۹۶ در سطح تجاری، تخمین زده می‌شود چیزی حدود ۷/۱ میلیون هکتار، کشت شده‌اند (Clive and Anatole, 1996). اولین گیاهان تراریخته که در سال ۱۹۹۶ مجوز تولید در ایالت متحده را گرفتند عبارت بودند از: گوجه‌فرنگی دیررس، پنبه حاوی ژن *Bt* که مقاوم به حشرات بود، پنبه مقاوم به علف‌کش، سویای مقاوم به علف‌کش، ذرت حاوی ژن *Bt* که مقاوم به حشرات بود، ذرت مقاوم به علف‌کش و ذرت با صفت نرعقیمی، کلزایی که کیفیت روغن آن بهبود یافته بود، سیب‌زمینی مقاوم به آفت و کدوتنبل مقاوم به ویروس (Clive and Anatole, 1996). این در حال بود که کشورهای اتحادیه اروپا تنها تولید تجاری توتون تراریخته را تایید کردند و استفاده از محصولات وارداتی تراریخته کلزا مقاوم به علف‌کش و روغن پنبه همچنین گوجه‌فرنگی دیررس برای مصرف غذایی یا خوراک دام به طور محدود تایید کردند (Clive and Anatole, 1996). در سال ۲۰۲۴ سطح زیر کشت گیاهان تراریخته حدود ۲۱۰ میلیون هکتار بوده است که نسبت به سال ۱۹۹۶، ۷/۱ میلیون هکتار، افزایشی ۱۴۰ برابری داشته است که به جرات می‌توان گفت یک روند افزایشی بی‌نظیر بوده است. در حال حاضر بیشترین سطح زیرکشت مربوط به سویا است که به تنهایی نیمی از سطح زیرکشت گیاهان تراریخته را به خود اختصاص داده است (شکل ۱) (AgbioInvestor, 2025). سطح زیرکشت گیاهان تراریخته در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۲۳ نزدیک به ۲٪ افزایش داشته است (AgbioInvestor, 2025) که این نشان دهنده استقبال بیشتر کشاورزان به کشت این گیاهان می‌باشد که به مفهوم پذیرش بیشتر این گیاهان در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]



شکل ۱- درصد کشت گیاهان تراریخته در سال ۲۰۲۴ در جهان

بین مردم است. اگر بازار مصرف این گیاهان با استقبال بیشتری از طرف مردم روبرو نمی‌شد، سطح زیرکشت این گیاهان از گذشته تا به حال تقریبا به طور دائم رو به افزایش نمی‌گذاشت. در حالی که در سال ۱۹۹۶ تنها ۶ کشور اقدام به کشت گیاهان تراریخته کردند، در سال ۲۰۲۴، ۲۸ کشور گیاهان تراریخته را کشت کردند (جدول ۱) (Clive and Anatole, 1996; AgbioInvestor, 2025). به عبارت دیگر تعداد کشورهای کشت کننده این گیاهان در یک بازه زمانی ۲۸ ساله، نقریبا ۷/۲ برابر شده است. از نظر تنوع نیز تعداد گونه‌های گیاهی بیشتری در سال ۲۰۲۴ نسبت به ۱۹۹۶ کشت شده است (جدول ۱). این موضع دلالت بر این دارد که کشت تجاری گونه‌های گیاهی تراریخته که در ابتدا کشت شدند موفقیت‌آمیز بوده است که تعداد گونه بیشتری از گیاهان تراریخته در سال ۲۰۲۴ به زیر کشت رفته‌اند. تنها گونه‌ای که در سال ۲۰۲۳ به صورت تراریخته کشت شده و در سال ۲۰۲۴ کشت آن متوقف شده، برنج می‌باشد (AgbioInvestor, 2025). فیلیپین اولین کشوری بود که در سال ۲۰۲۲ اقدام به کشت برنج طلایی، یک برنج تراریخته حاوی بتاکاروتن، کرد و کشت آن را در سال ۲۰۲۳ ادامه داد تنها کشوری که در سال ۲۰۲۳ برنج تراریخته، برنج طلایی، کشت کرده بود فیلیپین بود (AgbioInvestor, 2025).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

جدول ۱- کشورهای کشت کننده گیاهان تراریخته به طور رسمی در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۲۴. در مواردی که درصد تغییر نسبت به سال ۲۰۲۳ کاهنده بوده است، اعداد به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند

کشور (۲۰۲۴) (ha m.)	گیاه	درصد تغییر نسبت به سال ۲۰۲۳	کشور (۱۹۹۶)	گیاه
ایالت متحده آمریکا (۷۵/۴)	ذرت، سویا، پنبه، یونجه، کلزا و جغندرقند	۱/۳	ایالت متحده آمریکا	پنبه، سویا و ذرت
برزیل (۶۷/۹)	سویا، ذرت، پنبه و جغندرقند	۱/۴	کانادا	کلزا، سویا و ذرت
آرژانتین (۲۳/۸)	سویا، ذرت، پنبه و گندم	۸/۳	آرژانتین	سویا و ذرت
کانادا (۱۱/۷)	کلزا، سویا، ذرت و جغندرقند	۰/۴	چین	پنبه و گوجه‌فرنگی
هند (۱۱/۲)	پنبه	۷/۱	آفریقای جنوبی	پنبه و ذرت
پاراگوئه (۴/۴)	سویا، ذرت و پنبه	۲/۱	استرالیا	پنبه
چین (۳/۵)	پنبه، ذرت و سویا	۱۷/۹		
آفریقای جنوبی (۳/۵)	پنبه، ذرت و سویا	۰/۵		
پاکستان (۱/۹)	پنبه	۱۶/۷		
بولیوی (۱/۸)	سویا	۱/۴		
اروگوئه (۱/۵)	سویا و ذرت	۴۹/۸		
استرالیا (۱/۴)	کلزا و پنبه	۰/۳		
فیلیپین (۰/۷۱)	ذرت	۱۳/۸		
ویتنام (۰/۴۳)	ذرت	۹۳/۲		
سودان (۰/۱۹۶)	پنبه	۰		
میانمار (۰/۱۹)	پنبه	۳۹/۲		
کلمبیا (۰/۱۵)	ذرت و پنبه	۱/۸		
هندوراس (۰/۰۶۷)	ذرت	۲۱/۸		
اسپانیا (۰/۰۶۵)	ذرت	۴۰/۳		
اندونوزی (۰/۰۲)	چغندرقند و ذرت	۰		
شیلی (۰/۰۱۰۶)	ذرت، کلزا و سویا	۱۶/۲		
مکزیک (۰/۰۰۹)	پنبه	۷/۶		
اتیوپی (۰/۰۰۷)	پنبه	۰		
کنیا (۰/۰۰۶۹)	پنبه	۵۳/۳		
بنگالادش (۰/۰۰۳)	بادمجان	۲/۷		
مالاوی (۰/۰۰۲)	پنبه	۰		
پرتغال (۰/۰۰۰۹۶۳)	ذرت	۴۴/۶		
اسواتینی (۰/۰۰۰۲)	پنبه	۸۴/۹		

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

نکته‌ای که باید در اینجا به آن توجه کرد، رهاسازی برنج تراریخته ایرانی، رقم طارم مولایی، مقاوم به کرم ساقه‌خوار در ایران در سال ۲۰۰۴ است (Clive, 2006). این برنج که حاوی ژن *Bt* (cry1Ab) بود دقیقا ۲۰ سال قبل از اینکه اولین برنج تراریخته وارد بازار جهانی شود، در ایران رهاسازی شده است و منابع معتبر جهانی در این زمینه نیز آن را تایید کرده‌اند و در گزارش خود آورده‌اند (Clive, 2006; Clive, 2007). این برنج که محصول کار قره‌یاضی و همکاران (۱۹۹۷) می‌باشد در سال ۲۰۰۴ به طور رسمی توسط موسسه تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی ایران در شمال ایران در مساحتی حدود ۲۰۰۰ هکتار کشت شد (Clive, 2007). کشت این محصول در سال ۲۰۰۵ نیز ادامه یافت و در مساحتی برابر با ۴۰۰۰ هکتار در ایران کشت شد (Clive, 2006). در منابع بین‌المللی معتبر ذکر شده است که هیچ مدرک تایید شده‌ای در مورد کشت برنج تراریخته در ایران در سال‌های بعد، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، وجود ندارد؛ اگرچه این منابع ذکر می‌کنند که در کشورهایی که برای اولین بار مجوز کشت یک محصول تراریخته صادر می‌شود و سپس آن محصول کشت می‌شود، چون این محصولات مراحل پرهزینه و سختی را تا گرفتن مجوز طی کرده‌اند، معمولا در سال‌های بعد هم حداقل به همان میزان سال اول کشت می‌شوند (Clive, 2006; Clive, 2007). اگر چه ایکاردز (ICARDS) گزارش کرد که کار روی برنج تراریخته حاوی ژن *Bt* در آن سال‌ها در ایران درحال انجام بوده است و در حال گرفتن مجوز از شورای ملی ایمنی زیستی ایران برای کشت بودند (Clive, 2007)، اما بر اساس شواهد موجود بعد از تغییر دولت در سال ۲۰۰۵ (معادل ۱۳۸۴ هجری شمسی) قوانین در مورد کشت گیاهان تراریخته در ایران تغییر کرده و کشت این محصولات ممنوع شده است. به نظر می‌رسد که عدم ادامه کشت برنج تراریخته در ایران به دلیل شواهد عینی و علمی نبوده بلکه مسائل غیرعلمی در این مورد دخالت داشته است. به هر حال با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، به نظر می‌رسد که اعتبار کشت اولین برنج تراریخته را باید به ایران داد، اگرچه به دلایلی این امتیاز از ایران گرفته شده است و در حال حاضر امتیاز کشت اولین برنج تراریخته در جهان به فیلیپین داده شده است (AgbioInvestor, 2025).

غله مهم دیگر که در سال‌های اخیر به صورت تراریخته در سطح جهانی کشت می‌شود گندم می‌باشد که همانند برنج، گندم تراریخته هم برای اولین بار در جهان در سال ۲۰۲۲ کشت شد (AgbioInvestor, 2025). آرژانتین اولین کشوری است که گندم تراریخته را در مساحتی بالغ بر ۵۳۰۰۰ هکتار کشت کرده است (AgbioInvestor,

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

2025). این گندم که در سال ۲۰۲۲ کشت شده است، در حقیقت یک گندم مهندسی شده مقاوم به علف‌کش و خشکی به نام HB4 است (AgbioInvestor, 2025). کشت این گندم، در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ هم به همان میزان در آرژانتین ادامه داشته است و هنوز هم آرژانتین تنها کشوری است که گندم تراریخته را به طور رسمی کشت می‌کند (AgbioInvestor, 2025). به نظر می‌رسد که کشت گندم تراریخته از اقبال عمومی بیشتری برای کشت، نسبت به برنج تراریخته برخوردار بوده است.

نرخ پذیرش جهانی گیاهان تراریخته

در سال ۲۰۲۴ تعداد ۹ گیاه تراریخته شامل سویا، ذرت، پنبه، کلزا، چغندرقند، یونجه، نیشکر، بادمجان و گندم در جهان به صورت تجاری کشت شدند (AgbioInvestor, 2025). از میان کشورهایی که در سال ۲۰۲۴ اقدام به کشت گیاهان تراریخته کرده‌اند اسامی ۱۰ کشور اول از نظر سطح زیرکشت و پراکنش جغرافیایی آنها در شکل ۲ آورده شده است. همانگونه که در شکل ۲ مشخص است، بیشترین سطح زیرکشت گیاهان تراریخته در جهان با ۴/۷۵ میلیون هکتار مربوط به ایالت متحده آمریکا است که بیش از ۲۰ درصد زمین‌های کشاورزی در این کشور است که درصد قابل‌توجهی می‌باشد. سویا و ذرت دو تا از گیاهان زراعی مهم ایالت متحده هستند که بیش از ۹۰٪ تراریخته می‌باشند (Abbey et al. 2024). روند پذیرش و کشت گیاهان تراریخته در ایالت متحده آمریکا، به عنوان بزرگترین کشور تولید کننده گیاهان دست‌ورزی شده ژنتیکی، به طور پیوسته رو به افزایش است (جدول ۱). در شکل ۳ درصد زمین‌هایی که در هر گونه گیاهی به کشت نوع تراریخته آن گونه اختصاص داده شده است آورده شده است. همانگونه که در این جدول دیده می‌شود، بیش از ۷۰ درصد دو گیاه سویا و پنبه که در جهان کشت می‌شود، تراریخته است که در مورد پنبه نزدیک به ۸۰ درصد است. ذرت که بعد از گندم، بیشترین سطح زیرکشت را در جهان دارد، ۷/۳۳٪ آن تراریخته است. این اعداد و ارقام نشان می‌دهد که پذیرش گیاهان تراریخته در جهان به سرعت در حال افزایش است. همچنین این ارقام نشان می‌دهند که میزان پذیرش برای دو گیاه مهم سویا، که با اختلاف بیشترین سطح زیرکشت در بین گیاهان روغنی را به خود اختصاص داده است، و ذرت، که بعد از گندم بیشترین سطح زیرکشت را در میان تمام گیاهان زراعی دارد، در ایالت متحده آمریکا بیشتر از میانگین جهانی است.

با توجه به اینکه کشورهای مربوط به منطقه آمریکای مرکزی و جنوبی بیشترین سطح زیر کشت گیاهان تراریخته را به خود اختصاص داده‌اند و دو کشور برزیل و آرژانتین که مقام دوم

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

و سوم کشت این گیاهان در جهان را به خود اختصاص داده‌اند از آمریکای جنوبی و مرکزی هستند، می‌توان نتیجه گرفت که سطح پذیرش در کشورهای این ناحیه از جهان بیشتر از سایر قسمت‌ها است (AgbioInvestor, 2025). براساس آمار منتشر شده، کشورهای اتحادیه اروپا کمترین سطح زیرکشت این گیاهان را دارند و از میان آنها تنها دو کشور اسپانیا و و پرتغال آن هم در سطحی کمتر از ۱۰۰۰۰۰ هکتار اقدام به کشت گیاهان تراریخته کرده‌اند که نشان دهنده کمترین میزان پذیرش این گیاهان در کشورهای این قاره است (جدول ۱). این در حالی است که در آسیا تعداد بیشتری از کشورها اقدام به کشت گیاهان تراریخته کرده‌اند و با ۹ کشور همراه با منطقه آمریکای مرکزی و جنوبی دو منطقه‌ای هستند که بیشترین

ده کشور اول	سطح زیرکشت	درصد	ده کشور اول	سطح زیرکشت	درصد
آمریکا (۱)	۷۵/۴ هکتار	۱/۳	پاراگوئه (۶)	۴/۴ هکتار	۲/۱
برزیل (۲)	۶۷/۹ هکتار	۱/۴	چین (۷)	۳/۵ هکتار	۱۷/۹
آرژانتین (۳)	۲۳/۸ هکتار	۸/۳	آفریقای جنوبی (۸)	۳/۵ هکتار	۰/۵
کانادا (۴)	۱۱/۷ هکتار	۰/۴	پاکستان (۹)	۱/۹ هکتار	۱۶/۷
هند (۵)	۱۱/۲ هکتار	۷/۱	بولیوی (۱۰)	۱/۸ هکتار	۱/۴

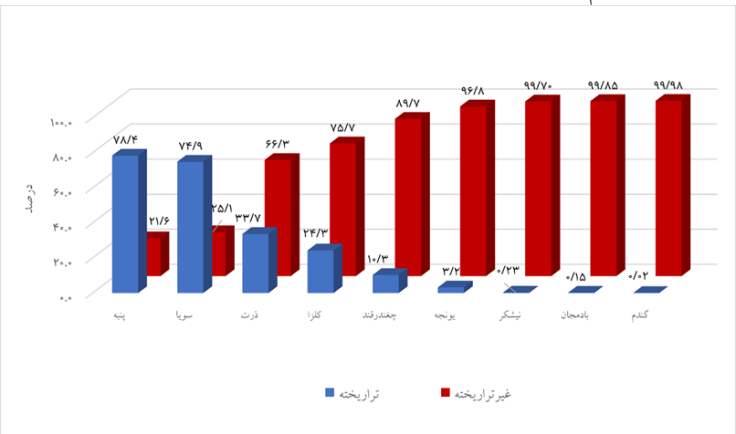
شکل ۲- سهم ده کشور اول کشت کننده گیاهان تراریخته در سال ۲۰۲۴ در جهان (بر حسب میلیون) و پراکنش جغرافیایی آنها

کشورهای کشت کننده گیاهان تراریخته را در خود جا داده‌اند (جدول ۱). نکته قابل توجه این است که از زمان کشت اولین گیاهان تراریخته در سطح تجاری در سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۱ سطح زیر کشت این گیاهان در کشورهای صنعتی بیشتر از کشورهای در حال توسعه بود، اما از سال ۲۰۱۱ به بعد سطح زیرکشت این گیاهان در کشورهای در حال توسعه بیشتر از کشورهای صنعتی شده است

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

(Clive, 2017). علت این امر این است که مانند هر فناوری نوظهور دیگر، انتظار می‌رفت که در ابتدا گیاهان دست‌ورزی شده ژنتیکی در کشورهای توسعه یافته و صنعتی مورد استفاده واقع شوند و سپس با یک فاصله زمانی، کشورهای در حال توسعه به سراغ این فناوری بروند که عملا هم، چنین اتفاقی افتاده است. در سال ۲۰۲۴، بیشترین درصد افزایش سطح زیرکشت نسبت به سال ۲۰۲۳ مربوط به کشور ویتنام با ۲/۹۳ بود که بسیار قابل توجه است (جدول ۱). این موضوع نشان می‌دهد که نه تنها کشورهایی که بیشترین زمین‌های کشاورزی در آنها واقع است، مثل هند و ایالت متحده آمریکا که به ترتیب مقام اول و دوم را در این زمینه دارند، بلکه کشورهای دیگر هم به دنبال استفاده از این فناوری هستند و میزان پذیرش گیاهان تراریخته در آنها به سرعت در حال افزایش است.



شکل ۳- میزان پذیرش جهانی گیاهان تراریخته در سال ۲۰۲۴

در ایران، با اینکه به طور رسمی در سال ۲۰۲۴ هیچ گیاه تراریخته‌ای کشت نشده است، اما نظر سنجی‌های انجام شده در سال‌های قبل در نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که میزان پذیرش این محصولات در اکثر نقاط ایران توسط مردم زیاد می‌باشد (Rastgoo and Alemzadeh, 2010; Zare MAdab and Alemzadeh, 2011; Izadi and Alemzadeh, 2010). با توجه به نظر مثبت مردم درباره گیاهان تراریخته در ایران، اگر روند کشت تجاری برنج تراریخته ایرانی ادامه یافته بود، شاید امروز شاهد بیشترین نرخ پذیرش گیاهان تراریخته در ایران؛ آن هم برای برنج تراریخته ایرانی بودیم؛ حتی می‌توانستیم نرخی بالاتر از نرخ بالای پذیرش سویا و ذرت تراریخته در ایالت متحده را در ایران شاهد باشیم. طبق نظرسنجی که از کشاورزان شهرستان‌های مختلف استان فارس به عمل آمده، اکثر کشاورزان از کشت گیاهان تراریخته‌ای که منتهی به سودآوری بیشتر برای آنها

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

شود، استقبال می‌کنند (نتایج چاپ نشده). به عبارت دیگر اکثر کشاورزان در این استان، به عنوان نمونه‌ای از کشاورزان ایرانی، دغدغه‌ای در مورد ملاحظات ابراز شده در مورد این گیاهان ندارند. به نظر می‌رسد در صورتی که گیاهان تراریخته موفق شوند در ایران مجوز کشت بگیرند، خیلی زود سطح زیرکشت آنها افزایش می‌یابد و نرخ پذیرش بالایی خواهند داشت.

مزایای محصولات تراریخته

هنگامی که در مورد پذیرش محصولات تراریخته صحبت می‌شود، نمی‌توان به مزایای این محصولات اشاره‌ای نکرد؛ زیرا آن چیزی که در نهایت باعث پذیرش یا عدم پذیرش این محصولات می‌شود، ارزش آنها برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان است. مزایای این محصولات را می‌توان به چند بخش تقسیم‌کرد که در ذیل آورده شده است.

۱.مزایای کشاورزی: بدون شک گیاهان تراریخته باعث افزایش تولید غذا در جهان شده‌اند، برای مثال طبق برآوردی که طی دوره ۱۶ ساله از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ انجام شده است، مشخص شده که در این دوره محصولات تراریخته باعث افزایش ۳۷۰ میلیون تن محصول غذایی در جهان شده‌اند (Amanullah et al. 2024). با روش‌های سنتی برای تولید این میزان غذا، حدود ۱۵۰ میلیون هکتار زمین، کود و آبیاری بیشتری لازم بود (Amanullah et al. 2024). در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳، گیاهان تراریخته ۱۳۸ میلیون تن سویا، ۲۷۴ میلیون تن ذرت، ۲۱/۷ میلیون تن الیاف پنبه و ۸ میلیون تن کلزا به تولید جهانی افزوده‌اند (Amanullah et al. 2024).

۲.مزایای اقتصادی: تخمین‌ها و برآوردهای متعددی از مزایای اقتصادی این محصولات وجود دارد؛ برای مثال طی تحقیقی مشخص شده است که بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ از نظر اقتصادی درآمد حاصل از کشت این محصولات به طور معنی‌داری افزایش یافته است به طوری که کسانی که از این فن‌آوری استفاده کرده‌اند حدود ۲۶۰ میلیارد دلار آمریکا در جهان سود کرده‌اند (Brookes, 2022). این معادل ۱۱۲ دلار به ازای هر هکتار است که مبلغ قابل توجهی است (Brookes, 2022).

۳. مزایای تغذیه‌ای: بر اساس یک برآورد حدود ۸۰۰ میلیون نفر در جهان دچار سوتغذیه هستند که ۹۸٪ آنها در کشورهای درحال توسعه زندگی می‌کنند (Sinha et al. 2019) و حدود ۲ میلیارد نفر هم در جهان نوع دیگری از گرسنگی که به آن گرسنگی پنهان می‌گویند، که ناشی از دریافت ناکافی ریزمغذی‌های ضروری در رژیم غذایی روزمره است، را تجربه می‌کنند (Muthayya et al. 2013). یکی از راه‌های موثر و سازگار با محیط

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

زیست برای مبارزه با سوتغذیه استفاده از غنی‌سازی‌زیستی است. غنی‌سازی‌زیستی گیاهان زراعی به مفهوم تولید این گیاهان با ارزش غذایی افزوده شده است (Malik and Maqbool, 2020). امروزه با استفاده از مهندسی ژنتیک این امکان فراهم شده است که به طور موثر و با کارآیی بالاتری نسبت به روش‌های کلاسیک ارزش غذایی محصولات زراعی را به صورت طبیعی افزایش داد. تا امروز گیاهان تراریخته غنی شده زیستی به نحو موثری توانسته‌اند کیفیت محصولات گیاهی را افزایش دهند. برنج تراریخته غنی شده از لحاظ آهن که میزان آهن دانه آن تا ۴/۴ برابر افزایش یافته است (Ishimaru et al. 2010)، گندم تراریخته غنی شده از لحاظ آهن و روی (Liu et al. 2016)، گوجه‌فرنگی غنی‌شده از لحاظ آیودین (Halka et al. 2019)، برنج غنی شده با بتا کاروتن، پیش‌ساز ویتاومین A، (Patrykus, 2001) و گندم، ذرت، کاساوا و خردل غنی شده با بتا کاروتن، پیش‌ساز ویتاومین A (Shewmaker et al. 1999; Aluru et al. 2008; Welsch et al. 2010; Wang et al. 2014) مثال‌های موفقی از استفاده از مهندسی ژنتیک برای افزایش ارزش غذایی گیاهان زراعی هستند.

۴. بهبود فرآوری مواد غذایی: اولین گیاه تراریخته‌ای که تولید شد، یعنی گوجه‌فرنگی فلاور ساور، در راستای این هدف بود. این گوجه‌فرنگی که دیررس‌تر است ماندگاری بیشتری دارد و برای تهیه رب گوجه‌فرنگی مناسب‌تر است. بیماری سلیاک یک آلرژی نسبت به گلوتن گندم است و امروزه مشخص شده است که تعداد قابل توجه‌ای از افراد با شدت‌های مختلف با این بیماری دست به گریبان هستند. به‌نژادی کلاسیک در راستای کاهش حساسیت‌زایی گندم موفقیت قابل توجه‌ای نداشته است اما محققین با استفاده از مهندسی ژنتیک و خاموش کردن ژن‌های رمزگذار گلیادین موفق به تولید گندم‌های تراریخته‌ای شده‌اند که به میزان قابل توجه‌ای حساسیت‌زایی آنها کاهش یافته است (Altenbach et al. 2015). با استفاده از مهندسی ژنتیک سیب‌زمینی‌های تراریخته‌ای تولید شدند که آکریل‌آمید کمتری در آنها تولید می‌شود و از این طریق کمک شایانی به صنعت چیپس شده است (Pinhero et al. 2012).

۵. تولید محصولات درمانی: تولید گیاهان تراریخته‌ای که پروتئین‌های دارویی را تولید می‌کنند، می‌توانند به عنوان یک سیستم ایمن‌تر در مقایسه با تولید دارو در انسان یا حیوانات، به دلیل عدم انتقال بیماری‌های انسانی یا بیماری‌های مشترک انسان و دام و اقتصادی‌تر در برابر سیستم‌های تخمیری مطرح باشد (Mason and Arntzen, 1995). اخیرا نشان داده شده است ژن‌هایی که آنتی‌ژن‌هایی علیه باکتری و ویروس تولید می‌کنند می‌توانند در گیاه تولید شوند به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

شکلی که خواص ایمنی‌زایی خود را حفظ کنند (Mason and Arntzen, 1995). در همین زمینه تا کنون داروهای مختلفی در گیاهان تولید شده است که می‌توان به واکسن علیه ویروس ابولا در *Nicotiana benthamiana* (Phoolcharoen et al. 2011)، واکسن علیه ویروس HIV (Strasser et al., 2009) و واکسن علیه هپاتیت B (Li et al. 2011) اشاره کرد.

۶.راهکاری علیه تغییرات اقلیمی: می‌توان از گیاهان تراریخته به عنوان ابزاری برای مقابله با تغییرات اقلیمی استفاده کرد. تغییرات اقلیمی عمدتا به دلیل تجمع گازهای گلخانه‌ای و افزایش درجه حرارت کره زمین رخ داده است. با کشت گیاهان تراریخته متحمل به آفات و بیماری‌ها، نیاز کمتری برای استفاده از ماشین‌الات کشاورزی برای سم‌پاشی وجود خواهد داشت یا با تولید گیاهان تراریخته متحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، می‌توان از آنها در سیستم‌های کشاورزی حفاظتی استفاده کرد که نیاز به استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بسیار کمتر است. تمام این موارد منتهی می‌شود به کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی که درنتیجه گازهای گلخانه‌ای کمتری تولید خواهد شد (Arvas, 2025).

بدون شک مزایایی که در بالا ذکر شد از دلایل اصلی پذیرش این گیاهان در بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان است. برای یک تولید کننده قبل از هرچیز مسائل اقتصادی در درجه اول اهمیت است و برای یک مصرف کننده هم افزون بر مسائل اقتصادی، کیفیت محصول نیز از اهمیت زیادی برخوردار است.

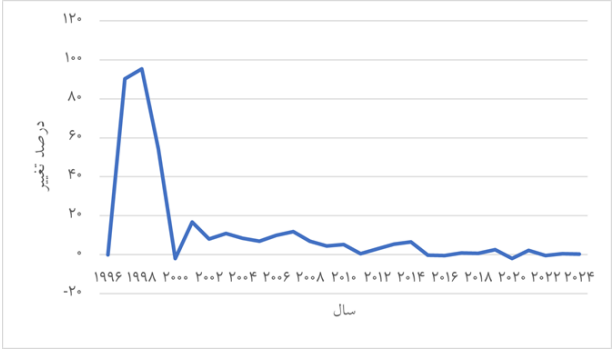
آینده پذیرش محصولات تراریخته

با توجه به روندی که پذیرش گیاهان تراریخته در بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی داشته است، به نظر می‌رسد که در آینده هم این روند رو به رشد ادامه داشته باشد، اما احتمالا روند آن در بین جوامع مختلف متفاوت خواهد بود. کشورهایی که قسمت قابل‌توجهی از زمین‌های کشاورزی خود را به این گیاهان اختصاص داده‌اند، مانند ایالت متحده آمریکا یا برزیل، این روند رشد در آنها کند، متوقف و حتی ممکن است گاهی منفی شود (شکل ۴) (Dodson, 2025). درصورتی که، کشورهایی که تازه به جمع کشورهای تولید کننده گیاهان تراریخته پیوسته‌اند، سطح زیر کشت این گیاهان در این کشورها با شیب شدیدتری افزایش خواهد یافت. کشورهای اتحادیه اروپا هنوز هم ملاحظات بیشتری نسبت به کشورهای قاره آمریکا و بقیه جهان دارند (Arvas, 2025) و همین موضوع می‌تواند به عنوان چالشی بر سر راه کشت و کار گیاهان تراریخته در اتحادیه اروپا مطرح باشد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

نکته قابل تاملی که در مورد گیاهان تراریخته وجود دارد این است، که کشت تجاری این گیاهان با گیاهانی شروع شد که سطح زیر کشت آنها، بجز ذرت، در جهان خیلی زیاد نیست و جز چند گیاه اول جهان از لحاظ سطح زیرکشت به حساب نمی‌آیند. از سال ۲۰۲۲ دو گیاه گندم و برنج که از لحاظ سطح زیرکشت جز سه گیاه زراعی اول جهان هستند (FAOSTAT, 2023)، به صورت تراریخته کشت شدند. سطح زیر کشت این دو گیاه به تنهایی در جهان تقریبا ۲ برابر سطح زیرکشت کل گیاهان تراریخته در جهان در سال ۲۰۲۴ است. اگر روند پذیرش گندم و برنج تراریخته همان مسیری باشد که گیاهانی مثل سویا، ذرت و پنبه طی کردند، بزودی شاهد یک شیب

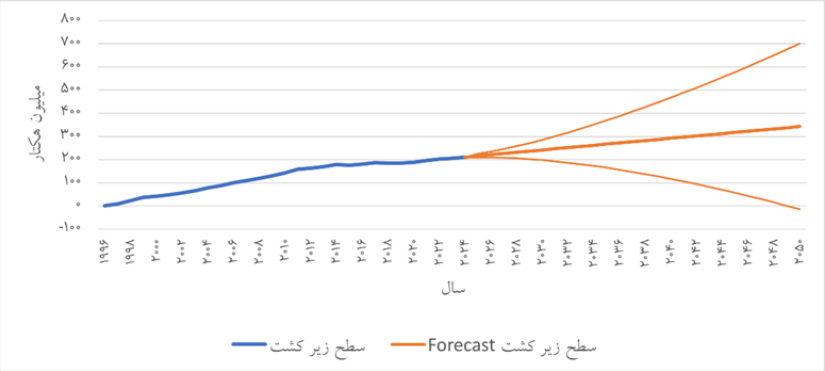


شکل ۴- درصد تغییر سطح زیرکشت گیاهان تراریخته در ایالت متحده آمریکا از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۴

افزایشی قابل توجه در سطح زیرکشت گیاهان تراریخته در جهان خواهیم بود. اگر با داده‌های ۲۸ سال گذشته نمودار پیشبینی‌خطی را تا سال ۲۰۵۰ با حدود اطمینان ۹۵٪ ترسیم کنیم، سطح زیرکشت گیاهان تراریخته تا ۲۰۵۰ از مرز ۳۰۰ میلیون هکتار خواهد گذشت (شکل ۵). این پیش‌بینی با توجه به این است که گیاهانی مانند گندم و برنج که سطح زیرکشت جهانی آنها حدود ۳۹۰ میلیون هکتار است، را مانند سایر گیاهان درنظر بگیریم، که مسلما با توجه به سطح زیرکشتی که این گیاهان دارند اگر روند افزایش سطح زیرکشت برنج و گندم تراریخته در جهان حتی شبیه روندی طی شده توسط ذرت، حدود ۳۳٪، باشد نه مانند سویا و پنبه، که بیش از ۷۵٪ است، تنها سطح زیرکشت تراریخته این دو گیاه در آینده نه چندان دور از مرز ۱۲۵ میلیون هکتار خواهد گذشت و شیب افزایش سطح زیرکشت جهانی گیاهان تراریخته که در شکل ۵ آورده شده است شدیدتر خواهد شد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]



شکل ۵- پیش‌بینی سطح زیرکشت جهانی گیاهان تراریخته تا سال ۲۰۵۰

از طرف دیگر باید این واقعیت را پذیرفت که ملاحظاتی که در زمان ظهور یک پدیده جدید وجود دارد به مرور زمان کمتر خواهد شد و همین موضوع باعث پذیرش بیشتر آن فناوری در میان جوامع خواهد شد. لیو و همکاران (۲۰۲۵) با استفاده از مدل تصادفی مارکوف سعی کردند که تغییر ادراک عمومی جامعه نسبت به یک پدیده نوظهور را شبیه‌سازی کنند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ادراک ریسک به سرعت تثبیت می‌شود و به مرور حساسیت مردم نسبت به یک پدیده نوظهور کاهش یافته و به مرور تعداد افرادی که ریسک آن پدیده را زیاد می‌دانستند، کمتر خواهد شد. با توجه به اینکه حدود ۳۰ سال از کشت تجاری اولین گیاه تراریخته گذشته است، حساسیت جامعه جهانی نسبت به این گیاهان و محصولات آنها رو به افول است و محصولات تراریخته دیگر یک واژه ناشناخته و هراس‌انگیز نیستند. این موضوع هم به نوبه خود کمک می‌کند تا نرخ پذیرش گیاهان تراریخته در جوامع مختلف افزایش یابد و غیرمنتظرانه نخواهد بود که این نرخ حتی در مورد گیاهانی که کشت نوع تراریخته آنها مدت‌ها است به صورت تجاری در سطح جهان کشت می‌شوند، نیز افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

گیاهان تراریخته به عنوان یکی از محصولات بیوتکنولوژی مدرن و مهندسی ژنتیک طی نزدیک به سه دهه گذشته علی‌رغم ملاحظات محدود مطرح شده علیه آنها، اما به دلیل مزایای زیادی که برای بشر داشته‌اند، توانسته‌اند جای خود را درسیستم‌های کشاورزی کشورهای مختلف باز کنند. به نظر می‌رسد با توجه به کاهش حساسیت افراد نسبت به این فناوری و ورود گیاهان اصلی تامین کننده انرژی مردم جهان مانند گندم و برنج به جرگه گیاهان تراریخته تجاری، در آینده نه چندان دور سطح زیرکشت این گیاهان با شیب بیشتری نسبت به چند سال گذشته افزایش یابد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

References فهرست منابع

Abbey M, Smith AG, Yue C, Marson C, Lai Y, Stowers C. 2024. Measuring specialty crop grower willingness to pay for genetic modification and genetic editing. Agribusiness. 41(3): 615-632. https://doi.org/10.1002/agr.21911.

AgbioInvestor-GM manitor. 2025. https://gm.agbioinvestor.com.

Altenbach SB, Tanaka CK, Pineau F, Lupi R, Drouet M, Beaudouin E, Morisset M, Denery-Papini S. 2015. Assessment of the allergenic potential of transgenic wheat (Triticum aestivum) with reduced levels of Ω5-gliadins, the major sensitizing allergen in wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 63: 9323–9332. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03557.

Aluru M, Xu Y, Guo R, Wang Z, Li S, White W, Wang K, Rodermel S. 2008. Generation of transgenic maize with enhanced provitamin a content. Journal of Experimental Botany. 59: 3551–3562. https://doi.org/10.1093/jxb/ern212.

Amanullah M, Nahid M, Zahid Hosen SM. 2024. Global overview of genetically modified foods and its benefits: A review. Health Dynamics. 1(7): 236-243. https://doi.org/10.33846/hd10703.

Arvas YE. 2025. Genetically modified crops combating climate change and environmental protection. In: Faiz S, Ashraf U, Attia KA, Amir RM. (Eds.) Climate smart agriculture for future food security. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4499-5_19.

Astbury WT. 1961. Molecular biology or ultrastructural biology? Nature. 190: 1124-1124. https://doi.org/10.1038/1901124a0.

Barton KA, Binns AN, Matzke AJM, Chilton Md. 1983. Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA, and transmission of T-DNA to R1 progeny. Cell. 32: 1033–1043. https://doi.org/10.1016/0092-8674(83)90288-x.

Bawa AS, Anilakumar KR. 2013. Genetically modified foods: safety, risks and public concerns—a review. Journal of Food Science and Technology. 50(6): 1035-1046. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1.

Bergey DH, Harrison FC, Breed RS, Hammer BW, Huntoon FM. 1925. Bergey's manual of 502 determinative bacteriology. The Williams & Wilkins Company, Baltimore, USA.

Braun AC. 1947. Thermal studies on the factors responsible for tumor initiation in crown gall. American Journal of Botany. 34: 234-240. https://doi.org/10.2307/2437424.

Brookes G. 2022. Farm income and production impacts from the use of genetically modified (GM) crop technology 1996-2020. GM Crops & Food. 13(1): 171-195. https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2105626.

Bruening G, Lyons J. 2000. The case of the FLAVR SAVR tomato. California Agriculture. 54(4): 6-7. https://doi.org/10.3733/ca.v054n04p36.

Chamberlain CJ. 1897. Contribution to the life history of salix. Botanical Gazette. 23(3): 147-179.

Chaudhari SK. 2023. Natural resource management for nutritional security. In: Bansal KC, Lakra WS. Pathak H (Eds.) Transformation of agri-food systems. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8014-7_8.

Chilton MD, Drummond MH, Merlo DJ, Sciaky D, Montoya AL, Gordon MP, Nester EW. 1977. Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis. Cell. 11: 263–271. https://doi.org/10.1016/0092-8674(77)90043-5.

Chilton MD. 2001. Agrobacterium. A memoir. Plant Physiology. 125(1): 9-14. https://doi.org/10.1104/pp.125.1.9.

Clive J, Anatole FK. 1996. Global review of the field testing and commercialization of transgenic plants: 1986 to 1995. The first decade of crop biotechnology. ISAAA Briefs No. 1. ISAAA, Ithaca, 31.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

Clive J. 2006. Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAAA Briefs 35. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca.

Clive J. 2007. Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAAA Briefs 37. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca.

Clive J. 2011. Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAAA Briefs 43. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca.

Clive J. 2017. Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAAA Briefs 53. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca.

Conn HJ. 1942. Validity of the genus Alcaligenes. Journal of Bacteriology. 44:353-360.

Dodson L. 2025. Adoption of genetically engineered crops in the United States - recent trends in GE adoption. United States Department of Agriculture. Economic Research Service.

Engler G, Holsters M, Montagu MCE van, Schell J, Hernalsteens JP, Schilperoort RA. 1975. Agrocin 84 sensitivity: a plasmid determined property in *Agrobacterium tumefaciens.* Molecular and General Genetics. 138: 345–349. https://doi.org/10.1007/BF00264804.

FAOSTAT. 2023. https://www.fao.org/faostat/en/#home.

Ghareyazie B, Alinia F, Menguito CA, Rubia LG, dePalma JM, Liwanag EA, Cohen MB, Khush GS, Bennett J. 1997. Enhanced resistance to two stem borers in an aromatic rice containing a synthetic cryIA(b) gene. Molecular Breeding. 3: 401-414. https://doi.org/10.1023/A:1009695324100.

GM Monitor. 2024. Global GM Crop Area review. https://gm.agbioinvestor.com.

Halka M, Smolen S, Czernicka M, Klimek-Chodacka M, Pitala J, Tutaj K. 2019. Iodine biofortification through expression of HMT, SAMT and S3H genes in *Solanum lycopersicum* L. Plant Physiology and Biochemistry. 144: 35–48. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.028.

Hamilton RH, Fall MZ. 1971. The loss of tumor-initiating ability in *Agrobacterium* 559 tumefaciens by incubation at high temperature. Experientia. 27: 229–230. https://doi.org/10.1007/BF02145913.

Hedgcock CG. 1905. Some of the results of three years' experiments with crown gall. Science. 22(552): 120-122. https://doi.org/10.1126/science.22.552.120.b.

Hernalsteens JP, Vliet F Van, Beuckeleer M D, Depicker A, Engler G, Lemmers M, Holsters M, Montagu MV, Schell J. 1980. The Agrobacterium tumefaciens Ti plasmid as a host vector system for introducing foreign DNA in plant cells. Nature. 287: 654–656. https://doi.org/10.1038/287654a0.

Herrera-Estrella L, Depicker A, Montagu MCE, Schell J. 1983. Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. Nature. 303: 649 209–213. https://doi.org/10.1038/303209a0.

Hoekema A, Hirsch PR, Hooykaas PJJ, Schilperoort RA. 1983. A binary plant vector strategy based on separation of vir- and T-region of the *Agrobacterium tumefaciens* Ti- plasmid. Nature. 303: 179–180. https://doi.org/10.1038/303179a0.

Ishimaru Y, Masuda H, Bashir K, Inoue H, Tsukamoto T, Takahashi, Takahashi M, Nakanishi H, Naohiro A, Hirose T, Ohsugi R, Nishizawa NK. 2010. Rice metal-nicotianamine transporter, OsYSL2, is required for the long-distance transport of iron and manganese. Plant Journal. 62: 379–390. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04158.x.

Izadi M, Alemzadeh A. 2010. Do people agree with the genetic modification of organisms in East Azarbayjan Province? Journal of Biosafety. 3(1): 9-24.

Kerr A. 1971. Acquisition of virulence by non-pathogenic isolates of *Agrobacterium radiobacter*. Physiological Plant Pathology. 1: 241–246. https://doi.org/10.1016/0048-4059%2871%2990045-2.

Li T, Sun JK, Lu ZH, Liu Q. 2011. Transformation of HBsAg (hepatitis B surface antigen) gene into tomato mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 47(2): 69-77.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

Liu DJ, Wang YB, Guo CH, Cong Q, Gong X, Zhang HJ. 2016. Enhanced iron and zinc accumulation in genetically engineered wheat plants using sickle alfalfa (Medicago falcata L.) ferritin gene. Cereal Research Communications. 44: 24-34. https://doi.org/10.1556/0806.43.2015.039.

Malik KA, Maqbool A. 2020. Transgenic crops for biofortification. Frontiers in Sustainable Food Systems. 4. 571402. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.571402.

Mason HS, Arntzen CJ. 1995. Transgenic plants as vaccine production systems. Trends in Biotechnology. 13(9): 388-392. https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)88986-6.

Meena RK, Koli DK, Koli GK, Meena RK. 2022. Transgenic approach for biofortification. Biotica Research Today. 4(5): 388-391.

Muthayya S, Rah JH, Sugimoto JD, Roos FF, Kraemer K, Bleak RE. 2013. The global hidden hunger indices and maps: an advocacy tool for action. PLoS One. 8: e67860. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067860.

Patrykus I. 2001. Golden rice and beyond. Plant Physiology. 125(3): 1157-1161. https://doi.org/10.1104/pp.125.3.1157.

Pinhero R, Pazhekattu R, Whitfield K, Marangoni A, Liu Q, Yada R. 2012. Effect of genetic modification and storage on the physico-chemical properties of potato dry matter and acrylamide content of potato chips. Food Research International. 49: 7-14. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.013.

Rastgoo L, Alemzadeh A. 2010. Transgenic organisms: What is the public opinion in Khorasan Razavi Province? Journal of Biosafety. 2(4): 15-28. (In Farsi with English abstract)

Riker AJ. 1926. Studies on the influence of some environmental factors on the development of crown gall. Journal of Agricultural Research. 32: 83-96.

Saki M, Mirsoleymani Z. 2024. Application of new small RNA-based approaches in plant disease control. Journal of Biosafety. 16(4): 1-16.

Schilperoort RA, Veldstra H, Warnaar SO, Mulder G, Cohen JA. 1967. Formation of complexes between DNA isolated from tobacco crown gall tumours and RNA complementary to *Agrobacterium tumefaciens* DNA. Biochimica Biophysica Acta. 145: 523–525. https://doi.org/10.1016/0005-2787(67)90075-5.

Sheikholeslami N, Mirzaet H, Khandaghi J, Nami Y, Javadi A. 2024. Investigation of CRISPR-Cas diversity in *Clostridium botulinum* via genome mining approach. Journal of Biosafety. 16(4): 17-34.

Shewmaker CK, Sheehy JA, Daley M, Colburn S, Ke DY. 1999. Seed-specific overexpression of phytoene synthase: increase in carotenoids and other metabolic effects. Plant Journal. 20: 401–412. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1999.00611.x.

Sinha P, Davis J, Saaj L, Wanke C, Salgame P, Mesick J, Horsburgh CR, Hochberg NS. 2019. Undernutrition and tuberculosis: Public health implications. The journal of infectious diseases. 219(9): 1356-1363. https://doi.org/10.1093/infdis/jiy675.

Smith EF. 1894. Field notes, 1982. The Journal of Mycology. 7(4): 373-377. https://doi.org/10.2307/3752770.

Smith EF. 1896. The bacterial diseases of plants: A critical review of the present state of our knowledge. The American Naturalist. 30(359): 912-924.

Smith EF, Townsend CO. 1907. A plant-tumor of bacterial origin. Science. 25(643): 671-673. https://doi.org/10.1126/science.25.643.671.

Strasser R, Castilho A, Stadlmann J, Kunert R, Quendler H, Gattinger P, Jez J, Rademacher T, Altmann F, Mach L, Steinkellner H. 2009. Improved virus neutralization by plant-produced anti-HIV antibodies with a homogeneous β1,4-galactosylated N-glycan profile. The Journal of Biological Chemistry. 284(31): 20479-20485. https://doi.org/10.1074/jbc.m109.014126.

Tempé J, Petit A, Hosters M, van Montagu M, Schell J. 1977. Thermosensitive step associated with transfer of Ti-plasmid during conjugation: possible relation to transformation in crown gall. Proceedings

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

of the National Academy of Sciences of the United States of America. 74: 2848–2849. https://doi.org/10.1073/pnas.74.7.2848.

Phoolcharoen W, Bhoo SH, Lai H, Ma J, Arntzen CJ, Chen Q, Mason HS. 2011. Expression of an immunogenic Ebola immune complex in Nicotiana benthamiana. Plant Biotechnology Journal. 9(7): 807-816. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2011.00593.x.

Wang C, Zeng J, Li Y, Hu W, Chen L, Miao Y, Deng P, Yuan C, Ma C, Chen X, Zang M, Wang Q, Li K, Chang J, Wang Y, Yang G, He G. 2014. Enrichment of provitamin A content in wheat (*Triticum aestivum* L.) by introduction of the bacterial carotenoid biosynthetic genes CrtB and CrtI. Journal of Experimental Botany. 65: 2545–2556. Https://doi.org/10.1093/jxb/eru138.

White RR, Braum AC. 1941. Crown gall production by bacteria-free tumor tissues. Science. 94(2436): 239-241. https://doi.org/10.1126/science.94.2436.239.

Welsch R, Arango J, Bär C, Salazar B, Al-Babili S, Beltrán J, Chavarriaga P, Ceballos H, Tohme J, Beyer P. 2010. Provitamin A accumulation in cassava (Manihot esculenta) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. Plant Cell. 22: 3348–3356. https://doi.org/10.1105/tpc.110.077560.

Worldometer. 2025. https://www.worldometers.info/world-population.

Zaenen I, Van Larebeke N, Montagu MCE van, Schell J. 1974. Supercoiled circular DNA in 572 crown-gall inducing Agrobacterium strains. Journal of Molecular Biology. 86: 109–127. https://doi.org/10.1016/S0022-2836(74)80011-2.

Zare Madab S, Alemzadeh A. 2011. Public perception of people in Bushehr abot GMOs. Journal of Biosafety. 4(1): 87-98. (In Farsi with English abstract)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]

A Survey of Global Adoption of Transgenic Plants: Past, Present, and Future

Abbas Alemzadeh

Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
alemzadeh@shirazu.ac.ir

Abstract

In recent years, genetic engineering and plant genome manipulation have had a key role in improvement of crop breeding through useful genes or endogenous genes silencing. The use of genetically modified organisms such as transgenic plants was dramatically advanced in the world in recent decades. Plants were genetically modified for a wide range of traits like herbicide-tolerant, pest-resistant, biofortified, and stress-tolerant. Recently, global adoption of these plants continuous to increase, caused by advances in new technology and rule regulatory. Since the first commercialization in 1996, the area planted to these plants has increase every year, from 1.5 million hectares in 1996 to around 2010 million hectares in 2024. The data indicate that four main crops, cotton, soybean, maize, and canola, contain the highest rate of GM% utilization in the world, respectively. Transgenic plants were planted by more than 18 million farmers in 28 countries. The article provides details on commercialized GM crops over time.

Keywords: Biosafety, Gene transformation, Genetically modified plants, Genetic engineering

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.2.3.3]