

## مقایسه جنبه‌های ایمنی زیستی نانوتکنولوژی و محصولات تراریخته

شهنوش نیری<sup>۱</sup>، مسعود توحیدفر<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه شهید بهشتی، گروه بیوتکنولوژی، تهران، ایران

<sup>۲\*</sup>دانشیار بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده فناوری نوین و مهندسی انرژی، تهران، ایران

Shahnoush.nayeri@yahoo.com

### چکیده

نانوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک با کاربردهای گسترده در پزشکی، کشاورزی و صنعت از جمله کارآمدترین فناوری‌هایی هستند که در رفع نیازهای بشر مورد استفاده قرار گرفته و در کنار آن می‌توانند آثار مخرب زیست محیطی را کاهش دهند. با این وجود، استفاده از این فناوری‌ها و تولیدات آن‌ها همواره ملاحظات زیست محیطی، سلامتی انسان، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و اخلاقی را در کشورهای مختلف ایجاد کرده است. آنچه مسلم است، این فناوری‌ها همانند سایر فناوری‌های نوین، در کنار مزیت‌های فراوان خود، ملاحظات نیز می‌توانند به همراه داشته باشند. استفاده از تحقیقات پایه در زمینه ملاحظات و فواید تراریخته‌ها و اطلاع‌رسانی درست و کافی در این زمینه، باعث آشنایی جامعه با فواید مهندسی ژنتیک در کشاورزی و تغییر رویکردها خواهد شد. همچنین ملاحظات علمی تراریخته‌ها نیز با استدلال‌های علمی به راحتی قابل حل است و می‌توان ضمن اجتناب از مخاطرات احتمالی این فناوری، مردم را از مزایای آن بهره‌مند نمود. در مقایسه با گیاهان تراریخته، تولیدات نانوتکنولوژی به ظاهر ایمن و پاک، باید همراه با کنترل‌ها و پایش‌هایی جهت کاهش اثرها مخرب آن باشد، به علاوه این که جهت شناخت دقیق‌تر این اثرها، بررسی‌ها و تحقیقات جامع‌تری مورد نیاز می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ایمنی زیستی، بیوتکنولوژی، محصولات تراریخته، نانوتکنولوژی، نانوذرات

### مقدمه

فناوری بالا در جهت تامین نیازهای بشر پیدا کرده‌اند. اهمیت و توانایی بسیار بالای مهندسی ژنتیک به عنوان شاخه‌ای از بیوتکنولوژی، با ایجاد تغییر و تحول هدفمند در ژنوم گیاهان و جانوران در جهت رفع بسیاری از محدودیت‌ها، ایجاد خصوصیات جدید و بهبود کمیت و کیفیت محصولات غذایی توسط تولید

طی سال‌های گذشته، فناوری‌هایی از جمله نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک تحولی عظیم در کشاورزی، پزشکی، صنعت، محیط زیست و... ایجاد کرده‌اند و به سرعت جایگاه ویژه‌ای را در تولیدات کشورهای بزرگ تولیدکننده محصولات با

گیاهان زراعی و باغی تراریخته (GM Crops) بر کسی پوشیده نیست (۱). از طرف دیگر، نانوتکنولوژی به عنوان یک فناوری کاربردی در جهت تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در اندازه‌های مولکولی و اتمی و در دست گرفتن کنترل این سازه‌ها و استفاده از ویژگی‌های منحصر به فرد و ارتقا یافته آن‌ها با کاربرد تجاری همواره مورد توجه بوده است (۲). اگرچه نانوتکنولوژی و بیوتکنولوژی نوین به ترتیب به عنوان یکی از راهکارهای تولید محصولات نانو از جمله نانوذرات و تولید گیاهان تراریخته با کاربردهای گسترده در پزشکی، کشاورزی و صنعت، مورد قبول جوامع عمومی واقع شده است، ولی در نظر گرفتن جنبه‌های ایمنی زیستی نانوذرات و موجودات تراریخته (LMO) و فرآورده‌های حاصل از آن‌ها نیز قبل از استفاده باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد (۱). از این رو، ضمن تاکید بر اهمیت توسعه فعالیت‌های نانوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک در همه ابعاد، لازم است ضوابطی برای انجام ایمن و سالم این گونه فعالیت‌ها با هدف نهایی تضمین حفظ تنوع زیستی، سلامت انسان و محیط زیست، تهیه و تدوین شود تا براساس آن بتوان کنترل و نظارت را به درستی انجام داد. در واقع، بر اساس این قوانین و مقررات برای پیش‌برد این فناوری‌های نوین، بهره‌برداری از فواید غیرقابل انکار آن و پیشگیری از مخاطرات احتمالی بر سلامت انسان و محیط زیست، مجموعه تدابیر و مقرراتی وضع شده است که در مجموع تحت عنوان ایمنی زیستی شناخته می‌شود (۳). باید به این نکته توجه داشت که این پروتکل‌های وضع شده به معنای عامل بازدارنده‌ای بر کاربرد مهندسی ژنتیک و نانوتکنولوژی نیست، بلکه سعی بر آن دارد تا توسعه

و کاربرد این فناوری به صورت ایمن باشد. در سال‌های گذشته، فناوری نانو و مهندسی ژنتیک و به ویژه محصولات آن‌ها شامل نانوذرات و محصولات گیاهی تراریخته با مباحث و مجادلاتی همراه بوده است. همچنین نگرانی‌هایی در زمینه آثار اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی، زیست محیطی و ... به وفور مطرح شده است و همچنان ادامه دارد. به خصوص در زمینه رهاسازی و تجاری‌سازی محصولات تراریخته و این که چگونه و چطور باید مورد استفاده و مصرف عموم قرار گیرند، بسیار چالش برانگیز بوده است. آنچه مسلم است، تمامی ابداعات و فناوری‌های نوین از جمله مهندسی ژنتیک و نانوتکنولوژی در کنار مزیت‌های فراوان خود، ملاحظات می‌توانند به همراه داشته باشند. این موضوع ذات هر فناوری بوده و در واقع هیچ فناوری نوینی ۱۰۰ درصد ایمن نیست. سازمان‌های نظارتی با مقایسه و تجزیه و تحلیل سود-زیان یک فناوری نوین و پذیرش درصدی از ملاحظات احتمالی، استفاده از آن را پیشنهاد می‌کنند. بدیهی است هرچه میزان فواید و سودمندی فناوری مورد نظر بر مخاطرات احتمالی آن چیرگی داشته باشد، مقبولیت آن در جامعه بیشتر و استفاده از آن با آسودگی خاطر بالاتری خواهد بود (۴). این امر در مورد نانومواد و گیاهان تراریخته که با استفاده از روش‌های جدید فناوری نانو و مهندسی ژنتیک حاوی ویژگی‌ها و صفات جدید شده‌اند نیز، صادق است. در این مطالعه ضمن بررسی سودمندی، ملاحظات و نگرانی‌های اخلاقی و زیست محیطی محصولات نانوتکنولوژی و محصولات تراریخته، مقایسه‌ای بر جنبه‌های ایمنی زیستی نانومواد و محصولات گیاهی تراریخته پرداخته خواهد شد.

## "نیری و توحیدفر، مقایسه جنبه‌های ایمنی زیستی نانوتکنولوژی و محصولات تراریخته"

### وضعیت تولیدات جهانی محصولات نانو و تراریخته

نانوتکنولوژی به مجموعه جدیدی از فناوری‌ها اتلاق می‌شود که جهت ایجاد و توسعه سازه‌ها و وسایل با ابعاد نانومتر همراه با ویژگی‌های منحصر به فرد و ارتقا یافته با کاربرد تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). در واقع اجسام در ابعاد نانومتر، ویژگی‌های جدیدی را نشان می‌دهند که این ویژگی‌ها در ابعاد ماکرو مشاهده نمی‌شود. برای مثال، موادی که در ابعاد ماکرو واکنشی ندارند، در ابعاد نانو به دلیل افزایش سطح به حجم، واکنش‌پذیرتر هستند. همچنین، ویژگی‌های وابسته به ابعاد موادی همچون کربن و فلزات متنوع، نشان‌دهنده هر دو مزیت‌ها و عیب‌ها نانوتکنولوژی در موضوعاتی همچون سلامت محیط زیست، افرادی که در ارتباط مستقیم با مواد اولیه و تولیدات نانو هستند، شامل کارکنان و مصرف‌کنندگان است. نانو مواد به دلیل داشتن ویژگی‌های الکتریکی، کاتالپستی، نوری و مغناطیسی منحصر به فرد که ناشی از اندازه، ساختار و شکل آن‌ها است، در فناوری‌ها و صنایع مختلف کاربرد گسترده دارند. هدف اصلی نانوتکنولوژی بهبود چشمگیر کیفیت زندگی بشر است و بر همین اساس میزان بالایی از سرمایه‌گذاران سهامی عام و خاص در سطح جهانی به سمت تولیدات نانوتکنولوژی جذب شده‌اند. بر اساس برآورد شرکت Future market، تولیدات جهانی نانومواد در سال ۲۰۱۱ میلادی بیش از ۲۳۰ هزار تن بوده است که این میزان در مقایسه با سال ۲۰۰۲ میلادی بیش از ۱۰ برابر افزایش داشته است. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۱۶، تقاضای ناشی از کاربردهای الکترونیک، انرژی، پزشکی، شیمیایی، پوشش‌ها و کاتالپست‌ها، حجم تولید نانومواد به ۳۵۰ هزار تن

افزایش یابد. علاوه براین، در سال‌های گذشته تولیدات نانو به سرعت وارد بازارهای جهانی شده‌اند به‌طوری که بازار تولیدات محصولات نانو تا پایان سال ۲۰۲۰ میلادی، به بیش از ۲ تریلیون دلار تخمین زده شده است. بر اساس پایگاه اطلاعات داده‌های نانوتکنولوژی (<http://www.product.statnano.com>)، تاکنون بیش از ۶۴۱۵ محصول نانوتکنولوژی در ۳۸۴ نوع مختلف محصول نانوتکنولوژی تجاری‌سازی شده‌اند که از انواع آن‌ها می‌توان به انواع تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، کودها، آفت‌کش‌های مورد استفاده در کشاورزی، مواد افزودنی به سوخت و روغن خودروها، صنایع رنگریزی، صنایع خودروسازی، تهیه لوازم آرایشی مانند انواع کرم‌های آرایشی و بهداشتی پوست و مو، تولید قطعات الکترونیک، نانومواد تولید شده در حفاظت محیط زیست در برابر آلودگی آب، خاک و هوا و دفع فاضلاب، در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی و تولید مواد معدنی و رنگ‌های مصنوعی خوراکی، صنایع تولید لوازم خانگی، تولید دارو و لوازم بهداشتی، صنایع نفت و تولید روغن‌های صنعتی، تولید لوازم ورزشی نانو، صنایع نساجی، که بیش از ۷۰ مورد از این محصولات متعلق به حوزه پزشکی و بهداشتی است (۶).

در حوزه مهندسی ژنتیک و تولید گیاهان تراریخته نیز تقریباً همه کشورها شامل کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، در این حوزه فعال هستند. در این میان کشورهای صنعتی، امریکا و بیشتر کشورهای اروپایی در این زمینه پیش‌تاز هستند. در اروپا، کشور انگلستان جزو نخستین کشورهایی است که سرمایه‌گذاری وسیعی را در بخش زیست فناوری بخصوص تولید

محصولات تراریخته انجام داده و در اواسط دهه ۱۹۸۰، شرکت‌های زیست فناوری متعددی را در این زمینه دایر کرده است. ایالات متحده آمریکا با بیش از ۱۳ میلیارد دلار سرمایه گذاری در سال ۱۹۹۸، در صدر کشورهای پیش‌تاز در توسعه زیست فناوری قرار دارد و با بیش از ۷۵ درصد کل سرمایه‌گذاری جهان، مرکز جهانی زیست فناوری و تولید محصولات تراریخته است. کشورهای در حال توسعه نیز اهمیت این فناوری برتر قرن را دریافته‌اند. به‌طوری‌که کشورهای کوبا، هند، تایوان، برزیل، کره جنوبی، آفریقای جنوبی، نیجریه و ایران از جمله کشورهای در حال توسعه هستند که برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در زمینه زیست فناوری انجام داده‌اند و حرکت رو به رشد این کشورها در تولید محصولات تراریخته همچنان ادامه دارد (۷ و ۱).

اگرچه اولین محصول تجاری تراریخته (گوجه فرنگی) در سال ۱۹۹۴ کشت شد، ولی سال ۱۹۹۶ اولین سال بود که سطح قابل‌توجهی (۱/۶۶ میلیون هکتار) از زمین‌های زراعی دنیا زیر کشت محصولات تراریخته قرار گرفت. از آن پس کشت محصولات تراریخته هر ساله افزایش قابل‌توجهی داشته، به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۷، سطح زیر کشت جهانی محصولات تراریخته با ارزش ۱۳ درصدی یا ۱۲ میلیون هکتاری برای دوازدهمین سال پیاپی به رشد پایدار خود ادامه داد و به ۱۱۴ میلیون هکتار رسید. این واقعه تحول تاریخی در زیست فناوری بوده است، چراکه برای اولین بار بیش از ۱۰۰ میلیون هکتار در یک سال به کشت محصولات تراریخته اختصاص یافت. آنچه مسلم است، سطح زیر کشت محصولات تراریخته سال به سال در حال افزایش بوده و این افزایش تا

سال ۲۰۱۵ نیز ادامه داشته و هم‌اکنون به روند صعودی خود ادامه می‌دهد. بر اساس آخرین گزارش (گزارش ۵۱) سرویس بین‌المللی دستیابی و استفاده از بیوتکنولوژی کشاورزی (ISAAA) معتبرترین پایگاه ارائه آمار جهانی رهاسازی، کشت، تولید و مصرف محصولات تراریخته، در سال ۲۰۱۵ میلادی، گیاهان تراریخته در ۲۸ کشور دنیا (۸ کشور صنعتی و ۲۰ کشور در حال توسعه) با مجموع ۱۷۹/۹ میلیون هکتار سطح زیرکشت که شامل بیش از ۱۰ درصد از زمین‌های زراعی دنیا را به خود اختصاص می‌دهد، کشت شده‌اند. کشورهای آمریکا، برزیل، آرژانتین، هند و کانادا به ترتیب به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کنندگان محصولات تراریخته جهان محسوب می‌شوند. در اروپا، پنج کشور عضو اتحادیه اروپا (اسپانیا، پرتغال، جمهوری چک، رومانی و اسلواکی) ذرت تراریخته کشت می‌کنند. در آفریقا نیز گیاهان تراریخته درخصوص پنبه تراریخته در کشورهای آفریقای جنوبی، بورکینافاسو و سودان کشت می‌شوند. با توجه به گسترش تولید و تجارت محصولات مهندسی ژنتیک و نانوتکنولوژی در دنیا و ایران، به نظر می‌رسد که در سال‌های آتی کاربرد تجاری و اقتصادی محصولات تراریخته و تولیدات نانو در کشاورزی، پزشکی و صنعت و تولید غذا بسیار تعیین‌کننده باشد (۷). بنابراین برخورد آگاهانه با این محصولات می‌تواند ضمن رفع نگرانی‌ها، کشور را در جهت استفاده ایمن از این فناوری‌ها بهره‌مند نماید.

#### ملاحظات ایمنی زیستی

رابطه بین علوم و تکنولوژی‌های جدید با محیط زیست بسیار پیچیده است. تکنولوژی‌های مختلف از انواع ساده تا پیچیده سهمی در اثرها مخرب زیست

## "نیری و توحیدفر، مقایسه جنبه‌های ایمنی زیستی نانوتکنولوژی و محصولات تراریخته"

محیطی دارند. از سوی دیگر، تکنولوژی‌های جدید نسبت به انواع قدیمی‌تر، اغلب پاک‌تر و ایمن‌تر بوده و حتی ممکن است روش‌هایی را برای بازسازی آسیب‌های زیست محیطی موجود از قبل پیشنهاد نمایند (۱). این دو دیدگاه برای مهندسی ژنتیک و نانوتکنولوژی نیز مطرح می‌شود. از سوی دیگر، شک و تردیدهایی مبنی بر ملاحظات زیست محیطی نانوتکنولوژی و بیوتکنولوژی همواره چالش‌برانگیز بوده است. بنابراین، همزمان با رشد روزافزون این فناوری‌ها، بایستی ملاحظات احتمالی ناشی از نانومواد و گیاهان تراریخته پیش‌بینی شده و راه‌حل‌های لازم جهت مقابله با آن‌ها مشخص شود.

در مورد محصولات تراریخته، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و ملاحظات مربوط به زمان و چگونگی رهاسازی است. استفاده از نانوتکنولوژی و نانوذرات نیز منجر به ایجاد انقلاب بزرگی در توسعه فناوری‌های نوین و ارتقا سطح زندگی بشر بوده است. با توجه به این امر، انتظار می‌رود این فناوری بیشترین تاثیر سازنده را چه به صورت مستقیم مانند توسعه فناوری‌های نوین برای ایجاد روش‌های آلودگی، فیلترینگ و یا تولید انرژی، و چه به صورت غیر مستقیم با استفاده از کاهش مصرف انرژی و منابع از طریق تغییر در ابعاد ابزارهای مورد استفاده، بر محیط زیست داشته باشد. بررسی تاثیر تکنولوژی‌های جدید مانند نانوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک بر سلامت انسان و محیط زیست همواره چالش برانگیز بوده است. با این حال، بسیاری از مزیت‌های کاربردی این فناوری‌های نوین دقیقاً با شک و تردیدها و چالش‌های زیست محیطی و مخاطرات آن در سلامت انسان مواجه است. طی ۱۰ سال گذشته، بیشترین

تلاش‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها در رابطه با ایمنی زیستی نانومواد و گیاهان تراریخته صورت گرفته است. بنابراین، ملاحظات گیاهان تراریخته و تولیدات نانوتکنولوژی را می‌توان به صورت ذیل طبقه‌بندی نمود:

۱- ملاحظات احتمالی برای سلامتی بشر: در مورد گیاهان تراریخته مواردی همچون حساسیت‌زایی، انتقال افقی ژن، مقاومت به آنتی‌بیوتیک که ارزیابی‌های مربوطه، قبل از آزادسازی گیاه تراریخته صورت می‌گیرد (۱). در زمینه نانوتکنولوژی، پیش‌بینی مخاطرات سلامت انسان و همچنین نحوه کنترل آن به دلیل نوین بودن این فناوری بسیار دشوار است. در حال حاضر، دانسته‌های که در زمینه احتمال ملاحظات نانومواد بر سلامت انسان (تنفسی، پوستی، گوارشی) تنها در سطوح مطالعات جانوری در دسترس است. بر اساس گزارشات، اختلالات و بیماری‌های تنفسی مهم‌ترین خطر احتمالی نانومواد بر سلامت انسان است (۸). برخی از این مطالعات نشان می‌دهند که ۱- نانو ذرات بسیار بیشتر از ذراتی با ابعاد بزرگتر می‌توانند وارد سیستم تنفسی انسان شوند، ۲- دارای قابلیت نفوذ به غشای سلولی را دارند، ۳- همچنین این مواد به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، واکنش بسیار زیاد بیولوژیکی از خود نشان می‌دهند، ۴- نسبت به مواد مشابه با ابعاد بزرگ‌تر، سمیت بیشتری را از خود بروز می‌دهند، ۵- قابلیت اشتغال‌زایی، جزو لاینفک این مواد است، ۶- در صورت پخش شدن در فضا مدت زمان طولانی معلق باقی می‌مانند و ۷- قابلیت نفوذ در پوست را دارند و سمیت‌ها و حساسیت‌های حاد پوستی را برای مدت زمان مدیدی ایجاد می‌کنند (۹).

۲- ملاحظات زیست محیطی: در حوزه بیوتکنولوژی نوین و مهندسی ژنتیک شامل جریان ژنی از تراریخته به علف هرز، مقاومت به آنتی‌بیوتیک، وارد شدن پروتئین‌های اصلاح شده به خاک است که قبل از تجاری شدن ارزیابی‌های دقیق در راستای ایمنی آن‌ها صورت می‌گیرد. این درحالی است که نانوذرات حاصل از تولیدات نانوتکنولوژی، منجر به آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و فاضلاب‌ها، ایجاد انواع سم‌های جدید و توزیع تصادفی نانوذرات و نانو مواد در اکوسیستم می‌شود که تمامی این موارد باعث بروز نتایج پیش‌بینی نشده می‌شود (۸ و ۹).

#### ملاحظات زیست محیطی

به عقیده پولین بحث علمی در مورد محیط زیست یک بحث سیاسی و اقتصادی نیست، بلکه به‌نوعی ارتباط شخصی ما با محیط زیست است (۱۰). آیا محیط زیست باید به دلیل ارزش‌های اخلاقی ذاتی مورد حفاظت قرار گیرد، یا این‌که چون منبع ارزشمندی برای بشر است، باید حفظ شود؟ به طور کلی، تضاد آشکاری بین نیازهای بشری و توجه به طبیعت وجود دارد که این امر یک موضوع کلیدی در توسعه و گسترش محصولات تراریخته و تولیدات نانو فناوری محسوب می‌شود. آنچه مسلم است، استفاده از منابع تجدیدناپذیر در صنایع مختلف و همچنین کشاورزی امروزی، به‌علت استفاده بیش از حد و وابستگی به مواد شیمیایی جهت بهینه‌سازی شرایط غذایی خاک، وابستگی به بذر ارقام مناسب، استفاده از آفت‌کش‌ها و سموم شیمیایی برای کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز آثار بسیار سوئی بر محیط زیست دارد (۱۱ و ۱۲).

اصلاح ژنتیکی گیاهان زراعی با وارد کردن ژن‌های

مربوط به تحمل تنش‌های زنده و غیرزنده، بهبود عملکرد و کیفیت محصولات گیاهی، تولید فرآورده‌هایی همچون دارو، واکسن، هورمون‌های موردنیاز در عرصه پزشکی ضمن افزایش و بهبود تولیدات کشاورزی و تامین نیازهای صنعتی و پزشکی از نظر اخلاقی هم سازگاری بالایی با محیط زیست دارد (۱). از جمله منافع محیط زیستی محصولات تراریخته می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: ۱- افزایش عملکرد محصولات زراعی، جنگل‌ها و اراضی حاشیه‌ای و تبدیل آن‌ها به مزارع کم بازده را کاهش می‌دهد، ۲- امکان از بین بردن بقایای محصول قبلی توسط علف‌کش‌های زیست تخریب‌پذیر و کشت بذور مقاوم به علف‌کش، امکان کشت بدون شخم را فراهم می‌کند، ۳- بهبود کیفیت آب شرب و جلوگیری از آلودگی رودخانه‌ها به دلیل کاهش مصرف سم و دفع آفات نباتی، ۴- کاهش مسمومیت ناشی از سموم و ۵- افزایش تنوع ژنتیکی به دلیل امکان ورود دوباره واریته‌هایی که به علت حساسیت به آفات و بیماری‌ها حذف شده‌اند (۱۱ و ۱۳). یکی دیگر از ملاحظات، همان‌طور که اشاره شد، در خصوص مقاوم شدن عوامل بیماری‌زا و یا حشرات آفت به ژن منتقل شده به گیاه و در نتیجه شکسته شدن مقاومت گیاه به آفات مورد نظر پس از چند نسل و ایجاد ابرحشرات است. لازم به توضیح است که دورگ‌گیری خارجی محصولات تراریخته، مشابه ارقام اصلاح شده با روش سنتی است و بنابراین تاثیر فرار ژن بستگی به خود صفت ژنتیکی دارد و ارتباطی به روش اصلاحی ندارد (۱۴). از طرف دیگر به‌نظر می‌رسد که مهمترین خطر احتمالی زیست محیطی، مربوط به استفاده از مصرف بالای علف‌کش در کشاورزی سنتی است که

## "نیری و توحیدفر، مقایسه جنبه‌های ایمنی زیستی نانوتکنولوژی و محصولات تراریخته"

باعث ایجاد گیاهان مقاوم به علف‌کش می‌شود. در ضمن به طرفداران محیط زیست می‌توان به این نکته اشاره کرد که بر اساس آمار منتشره توسط مرکز ملی سیاست‌گذاری غذا و کشاورزی در ایالات متحده امریکا، میزان مصرف آفت‌کش‌ها شامل حشره‌کش و علف‌کش در گیاهان تراریخته، نسبت به محصولات غیرتراریخته در طول سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۶ حدود ۳۷ درصد کاهش یافته است. در حالی که میزان عملکرد محصولات در حدود ۲۲ درصد افزایش داشته است (۱۵ و ۱۶). گزارش‌های گذشته در اروپا هم نشان داده است که میزان مصرف آفت‌کش در این کشورها در اغلب موارد به نصف کاهش یافته است (۱۶). بنابراین، اصل این ادعا که گیاه تراریخته مقاوم به علف‌کش و حشره‌کش موجب افزایش این نوع سموم خواهد شد، بی‌اساس و پایه است. همچنین، در مهندسی گیاهان برای ایجاد مقاومت به علف‌کش، به‌طور طبیعی و منطقی، گیاهان به علف‌کش‌هایی مقاوم می‌شوند که براساس مطالعات و گزارش‌ها از کم‌خطرترین، سالم‌ترین نوع علف‌کش‌های زیست تخریب‌پذیر مثل گلایفوسیت هستند. بنابراین، علف‌کش‌های استفاده شده برای محصولات زراعی مقاوم به علف‌کش، در بسیاری موارد نسبت به علف‌کش‌هایی که برای گیاهان معمولی استفاده می‌شود، مشکلات زیست محیطی کمتر و کارایی بالاتری دارند. مقاومت به آفات و بیماری‌ها یکی دیگر از زمینه‌های فناوری تراریخته است که نگرانی‌هایی را به همراه داشته است. به‌علت آثار سوء آفت‌کش‌ها بر سلامتی انسان و محیط زیست و از طرف دیگر به علت بی‌اثر بودن کنترل شیمیایی آفات، استفاده از آفت‌کش‌هایی شیمیایی از نظر زیست محیطی و

اخلاقی مطلوب نیست (۱). با انتقال ژن *Bt* از باکتری *Bacillus thuringiensis* به گیاهانی مانند پنبه، ذرت، برنج و ... تنها در مقابل آفت هدف مقاومت نشان می‌دهند. بدین‌ترتیب بر خلاف روش سمپاشی که تمامی موجودات زنده (مفید و مضر) مزرعه در اثر سم از بین می‌روند، در این روش فقط آفت مورد نظر از بین رفته و سایر موجودات در امان می‌مانند. بنابراین، این فناوری علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه سمپاشی، بسیار سازگار با محیط زیست است. از دیگر نگرانی‌هایی محصولات تراریخته می‌توان به کاهش تنوع زیستی اشاره نمود. این در حالی است که توسعه محصولات تراریخته به‌علت افزایش نیاز به ژن‌های خارجی باعث افزایش تنوع زیستی می‌شود. برای مثال با استفاده از این فناوری می‌توان ژن‌های مقاوم به بیماری را به‌جای بانک‌های ژنی، از گیاهان باستانی وارد انواع نوین نمود، بدون آن‌که کیفیت و میزان محصول تغییر یابد (۱). به هر حال در تصمیم‌گیری‌های اخلاقی در مورد استفاده از محصولات تراریخته به تمامی این موارد بایستی توجه نمود.

از اوایل سال ۲۰۱۱ تاکنون بیش از ۱۳۰۰ محصول مصرفی نانوتکنولوژی از جمله مانیتورهای لمسی، دوچرخه، لوازم آرایشی، حافظه‌های کامپیوتری و راکت‌ها تنیس و ... در سراسر جهان وارد بازار جهانی شده است. بسیاری از اشیائی که امروزه ما از آن‌ها استفاده می‌کنیم و در تماس با آن‌ها هستیم، در مقیاس نانو هستند. برخی از این نانوذرات به صورت طبیعی ایجاد می‌شوند از جمله ذرات و گرد و غبارهای آتش‌فشانی، بخارات آب اقیانوس‌ها، ذرات خاک و هسته‌های یخی و یا به طریق مصنوعی توسط

دخال انسان و تولیدات ذرات نانو تولید می‌شوند. برای نمونه، نانوکربن‌ها (Carbon Black)، مشخصات مکانیکی تایرها را ارتقاء می‌دهند و یا نانوذرات نقره، کیفیت فیلم‌های عکاسی را افزایش داده و همچنین ذرات نانو اصلی‌ترین کاتالیزورها در صنعت پتروشیمی هستند. نانوتکنولوژی همچنین دارای پتانسیل مناسبی جهت حفاظت از محیط زیست به شکل جلوگیری از آلودگی، حذف و برگشت‌پذیری آن است. بخشی از فواید عبارت است از بهینه‌سازی تشخیص و آشکارسازی آلودگی‌ها، حذف آلاینده‌ها از محیط هوا، آب و خاک و همچنین فرآیندهای صنعتی جدید که در آن‌ها ضایعات به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته و تبدیل به یک فرآیند سبز شود (۱۷). از سوی دیگر نانوتکنولوژی می‌تواند مخاطرات زیست محیطی قابل‌توجهی نیز ایجاد نماید. به عنوان مثال نانوذرات نقره یکی از محصولات نانوتکنولوژی است که به دلیل خصوصیات ضد میکروبی به عنوان آفت‌کش و میکروب‌کش مورد استفاده قرار می‌گیرد. حال سوال این‌جا است که چه اتفاقی برای اشیا و البسه دارای نانوذرات نقره پس از شستشو رخ می‌دهد؟ در پژوهشی که روی سلول‌های جنینی ماهی کپور (Zebrafish) انجام گرفته، غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره به همراه یک نمونه کنترل از نیترات نقره که با اهداف درمانی مورد استفاده قرار گرفت است. بر اساس نتایج به دست آمده درصد بالای از مرگ، نقص در رشد جنین و سایر صدمات فیزیکی در ماهی‌ها با توجه به افزایش غلظت نانوذرات نقره مشاهده می‌شود (۱۸ و ۱۹). یکی دیگر از نگرانی‌های زیست محیطی نانوذرات نقره را می‌توان تخریب میکروب‌های مفید و مضر نام برد. احتراق یکی از

منابع مهم ایجاد نانوذرات در محیط زیست است. بشر همواره در معرض برخی از این نانوذرات که حاصل آتش سوزی جنگل‌ها و فیتوشیمی اتمسفر هستند، قرار دارد. احتراق صنعتی و سوخت خودروها بیشترین سهم را در تولید و نشر نانوذرات طبیعی دارد. از طرفی، ذکر این نکته لازم است که انتشار نانوذرات طراحی شده در طبیعت نسبت به نانوذرات طبیعی، دارای ملاحظات احتمالی بیشتری است. زیرا این مواد جدید بوده و در نتیجه ممکن است موجود زنده‌های انسانی سازوکار دفاعی لازم در برابر آن‌ها را نداشته باشند. از سوی دیگر دانسته‌ها پیرامون این مواد محدود است، ولی با اقدامات پیشگیرانه و اندازه‌گیری‌های مناسب می‌توان نشر نانوذرات طراحی شده را کنترل کرده و پراکندگی آن‌ها در محیط زیست را نسبت به نانوذرات طبیعی به حداقل رساند (۲۰). آنچه مسلم است، پس از یک دهه کشت گیاهان تراریخته در مقیاس وسیع در جهان، هیچ موردی از مشکل ایمنی غذایی محصولات تراریخته‌ای که امروزه تولید می‌شوند ذکر نشده است، واقعیتی که امروزه حتی بوسیله منتقدان این فناوری هم تایید می‌شود (۲۱). طبق قوانین، در مرحله ارزیابی مخاطرات احتمالی محصولات تراریخته، پژوهشگران باید به سوالات متعددی پاسخ دهند. پس از گذراندن مراحل سخت ارزیابی است که اجازه رهاسازی و استفاده از این محصولات صادر می‌شود. در خصوص نانوتکنولوژی و تولیدات حاصل از این فناوری شامل نانوذرات کربن، نقره، دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی ... نیز نگرانی‌ها و شک و تردیدهایی بر سلامت انسان مطرح است. اندازه بسیار کوچک نانوذرات، این فرضیه را تقویت می‌نماید که ذرات

مذکور می‌توانند از سیستم دفاعی بدن عبور نمایند. برخی ذرات تنفس شده می‌توانند وارد ریه شده و از این طریق وارد سیستم گردش خون شوند. گلبول‌های سفید نیز دارای مشکلاتی در شناسایی ذرات با قطر کوچک‌تر از ۷۰ نانومتر بوده و ممکن است توسط بسیاری از این قبیل ذرات مغلوب شوند و برخی شواهد نیز این استدلال را تقویت می‌کنند. به‌طور مثال، نانوذراتی نظیر دی اکسید تیتانیوم و Carbon black که به‌علت استفاده روزافزون صنایع از این مواد، جزیی از آلوده کننده‌های هوا شده‌اند، باعث التهاب و آسیب‌های مخاطی شده و در ریه تجمع پیدا می‌کنند (۳). تحقیقات نشان می‌دهد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی موجود در کرم‌های ضد آفتاب، باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد در سلول‌های پوستی شده و به DNA آسیب می‌رساند. آسیب رسیدن به DNA نیز باعث ایجاد تغییرات و دگرگونی در ساختار پروتئین‌ها و عملکرد آن‌ها شده که می‌تواند موجب توسعه سلول‌های سرطانی و تومورها شود (۲۲). معدن‌کاران و کارگرانی که در معرض نانوذرات کانی‌های کوارتز- که عامل ایجاد سرطان است- قرار دارند، مستعد ابتلا به بیماری‌های مهمی هستند. در حقیقت، قرار گرفتن به مدت چند سال در معرض ذرات کوارتز در حد چند میکرومتر و با غلظتی در حد میلی‌گرم در متر مکعب از حجم هوا، پتانسیل ابتلا به فیروز ریه‌ای را در پی دارد. (۹). از سوی دیگر نانوذرات کربن فرآوری شده، نظیر Fullerene باعث تخلیه گلوتن و اکسیداسیون در مغز ماهی‌ها و تغییر در عملکرد ژن‌ها می‌شود. یکی دیگر از مشکلاتی که ممکن است توسط نانوذرات برای سلامتی به وجود

آید، انتقال آن‌ها از مادر به جنین است. (۲۳). لذا بدیهی است که برای درک صحیح اثرهای مخرب نانوذرات بر ارگانیسم‌های زنده، تحقیقات کامل‌تری نیاز می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در قرن گذشته نیاز به تامین مهم‌ترین نیازهای بشر از جمله تامین غذا، دارو، انرژی حفاظت محیط زیست منجر به توسعه فناوری‌هایی نوین و با کارایی بالا در زمینه کشاورزی، پزشکی و صنعت شده است. نانوتکنولوژی و بیوتکنولوژی نوین و مهندسی ژنتیک از جمله به روزترین و کارآمدترین فناوری‌های هستند که بشر تا به امروز توانسته است به کمک آن‌ها نیازهای غذایی و دارویی خود را تامین کرده و در کنار آن آثار مخرب زیست محیطی را با کاهش مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر کاهش دهد. ولی مساله اینجا است که همانند هر فناوری جدیدی، استفاده از محصولات نانوتکنولوژی و گیاهان تراریخته، ملاحظات از جنبه زیست محیطی، سلامت انسان، اقتصادی، اجتماعی و اخلاقی در کشورهای مختلف ایجاد کرده است. آنچه مسلم است هر فناوری در کنار مزایا و فواید خود، معایب و نگرانی‌هایی نیز به همراه دارد. با آنالیز سود-زیان یک فناوری و مقایسه آن با سایر فناوری‌های موجود و به‌کارگیری روش‌های مناسب برای به حداقل رساندن مخاطرات، می‌توان از مزایای بی‌شمار فناوری‌های نوین بهره‌مند شد. زمانی که یک فناوری جدید می‌تواند مشکلی از مشکلات بشر را حل کرده و نسبت به سایر فناوری‌ها مشکل خاصی ایجاد ننماید، بدیهی است بهره‌گیری از آن اخلاقی خواهد بود و برعکس،

ادامه تحقیقات پایه در زمینه مخاطرات و فواید تراریخته‌ها و اطلاع‌رسانی درست و کافی در این زمینه است که جامعه با فواید مهندسی ژنتیک در کشاورزی آشنا شده و رویکردها تغییر خواهد یافت. گفتنی است، نگرانی‌های علمی در مورد این دسته از محصولات هم با استدلال‌های علمی به‌راحتی قابل حل است. اتخاذ سیاست‌های منطقی و آینده‌نگر در سطح بین‌المللی و ملی می‌تواند ضمن اجتناب از مخاطرات احتمالی این فناوری، مردم را از مزایای آن بهره‌مند نماید. در مقایسه با گیاهان تراریخته، تولیدات نانوتکنولوژی به ظاهر ایمن و پاک باید همراه با کنترل‌ها و پایش‌هایی جهت کاهش اثرها مخرب آن باشد. به‌علاوه این که جهت شناخت دقیق‌تر این اثرها، بررسی‌ها و تحقیقات جامع‌تری نیاز می‌باشد.

استدلال‌های غیرمنطقی و غیرعلمی جهت مخالفت با یک فناوری جدید نیز، به‌همان اندازه غیراخلاقی می‌باشد. آنچه مسلم است، تولید غذا در آینده باید افزایش پیدا کند و محصولات تراریخته به عنوان تنها راه‌حل ذکر نشده‌اند، اما به‌عنوان یک عامل مهم در حل این مشکلات مطرح هستند. از طرفی محصولات تراریخته به هر طریقی می‌توانند اثرهای سوء افزایش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی و مکانیزاسیون را بر محیط زیست کاهش دهند، بدون این‌که خودشان مشکلات دیگری ایجاد نمایند. بنابراین از نظر فنی و اخلاقی، استفاده از گیاهان تراریخته ارجحیت خواهد داشت. انقلاب تراریخته هر چند ممکن است چندان شاخص نباشد، ولی تا زمانی که ترس و نگرانی عمومی در این زمینه کاهش پیدا نکند، همچنان چالش برانگیز خواهد بود. تنها با

## References

- 1- Jouzani SG, Tohidfar M, Sadeghi A. 2010. Biosafety aspects of genetically modified plants. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Tehran, Iran, 1: 9-109.
- 2- Murashov V, Howard J. 2007. Biosafety, Occupational Health and Nanotechnology. Applied Biosafety, 12(3): 158-167.
- 3- The Secretariat of the Convention on Biological Diversity and the United Nations Environment Programme. 2003. Introduction to the Cartagena Protocol on Biosafety, GE.03-01836/E.
- 4- Brookes G, Barfoot P. 2007. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2006. PG Economics Ltd. UK, 118.
- 5- NSTC. 2004. National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan. NNCO. Available at: [www.nano.gov/html/res/pubs.html](http://www.nano.gov/html/res/pubs.html)
- 6- WWICS. 2006. The Nanotechnology Consumer Products Inventory. Washington, DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars. Available at: [www.nanotechproject.org/consumer\\_products](http://www.nanotechproject.org/consumer_products)
- 7- Clive J. 2015. 20th Anniversary (1996 to 2015) of the Global Commercialization of Biotech Crops and Biotech Crop Highlights in 2015. ISAAA BRIEF No. 51. ISAAA: Ithaca, NY.
- 8- Kühnel D, Marquardt C, Nau K, Krug HF, Paul F, Steinbach C. 2016. Environmental benefits and concerns on safety: communicating latest results on nanotechnology safety research the project DaNa2.0. Environmental Science Pollution Research. DOI 10.1007/s11356-016-6217-0

## فهرست منابع

- 9- **Nanotechnology safety and health program. 2014.** National Institutes of Health Office of Research Services Division of Occupational Health and Safety, NewYork, USA.
- 10- **Pullin A. 1996.** The science of the environment. In, Birth to death, science and bioethics. Eds. D.C. Thomasma and T. Kushner, Cambridge University Press, Cambridge, 1: 339- 347.
- 11- **Carson R. 1963.** Silent spring. Hamish Hamilton. London, 304.
- 12- **Mellanby K. 1967.** Pesticides and pollution. William Collins Sons and Co., Glasgow, 219.
- 13- **FAO. 2009.** Biosafety of genetically modified organisms: basic concepts, methods and issues., Rome, Italy, 1: 50-105.
- 14- **Rifkin J. 1998.** The biotech century. Victor Gollanz, London, 272.
- 15- **Klümper W, Qaim M. 2014.** A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. PLoS ONE 9(11): e111629.
- 16- **Brookes G, Barfoot P. 2016.** Pocket K No. 5: Documented Benefits of GM Crops. 51. ISAAA: Ithaca, NY.
- 17- **Handy RD, Owen R, Valsami-Jones E. 2008.** The Ecotoxicology of Nanoparticles and Nanomaterials: Current Status, Knowledge Gaps, Challenges, and Future Needs. Ecotoxicology 17(5): 315-25.
- 18- The Project on Emerging Nanotechnologies Consumer Product Inventory. Available at <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>. NewYork, USA
- 19- **Asharani PV, Lian WY, Gong Z, Valiyaveettil S. 2008.** Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models. Nanotechnology 19(25): 255102.
- 20- **Moghimi SM, Hunter AC. 2001.** Capture of Stealth Nanoparticles by the Body's Defenses. Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems 18: 527-550.
- 21- **Hardon JJ. 1997.** Ethical issues in plant breeding, biotechnology and conservation. In Ethics and equity in conservation and use of genetic resources for sustainable food security. Proceedings of a workshop to develop guidelines for the CGIAR, 21-25 April. Foz do Iguacu. Brazil. IPGRI, 43-50.
- 22- **Poirier MC. 2004.** Chemical-Induced DNA Damage and Human Cancer Risk. National Review of Cancer 4: 630-637
- 23- **Oberdorster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C. 2004.** Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain. Inhalation Toxicology. 16: 437-445.

## Comparative Assessment of Biosafety Aspects Between Nanotechnology and GMOs

Shahnoush Nayeri<sup>1</sup>, Masoud Tohidifar<sup>2\*</sup>

- 1- PhD student of plant biotechnology, Department of Biotechnology, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
- 2- Associate Professor of plant biotechnology, Department of Biotechnology, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Shahnoush.nayeri@yahoo.com

### Abstract

Nanotechnology and genetic engineering with broad applications in medicine, agriculture and industry fields are the most efficient technologies that are used to meet human being needs and reduce their environmental impacts. However, these technologies and their productions lead to make several concerns about environmental, human health, economics, social, cultural and ethical issues in all countries. Furthermore, these technologies, like other new technologies, can provide several efficient benefits as well as their several potential risks, which are seemed to be making them almost unsafe. Nevertheless, using the basic researches and sufficient and informative awareness of human societies associated with benefits and concerns of genetically modified organisms (GMOs) leads to make some social familiarities with benefits of genetic engineering in agriculture and change the social approaches. On the other hand, several GMO concerns can be solved by scientific logics and people who consumers GMO products can enjoy the benefits. In contrast, nanotechnology products, which are seemed to be secure and safe, should be contained with biological and environmental controls to reduce their collateral negative effects. However, to obtain more information about these effects, the comprehensive researches are needed.

**Keywords:** Biosafety, Biotechnology, GMO, Nanoparticles, Nanotechnology