

## چالش‌های صنعت میوه‌کاری ایران و بهبود آن‌ها با استفاده از فناوری هسته‌ای<sup>۱</sup>

علی اکبر قاسمی سلوکلویی، مجتبی کردرستمی، سعید عشقی<sup>۲</sup> و کورش وحدتی<sup>۳</sup>

### چکیده

در راستای افزایش تولید، بهره‌وری و رشد صادرات غیر نفتی، توسعه‌ی سطح زیرکشت درختان میوه به دلیل استقبال گسترده برای احداث باغ‌های درختان میوه و زیاد بودن ارزش غذایی و صادراتی آن، در سطح برنامه‌ریزی کشور مورد توجه قرار گرفته‌است. افزون بر این، برای افزایش تولید محصول با کیفیت و یکنواخت، باید باغ‌های قدیمی اصلاح شود، باغ‌های جدید با رقم‌های برتر ایجاد شود، از شیوه‌های نوین باغداری بهره برده شود، و سیستم‌های پس برداشت توسعه یابد. همچنین بهنژادی گیاهی نوین بر مبنای ایجاد تنوع، گزینش، ارزیابی و ازدیاد ژن تأثیرهای مطلوبی داشته است. انگیزش جهش با بهره‌گیری از روش‌های هسته‌ای از جمله پرتوهای یونیزه کننده در کنار دیگر روش‌های سنتی می‌تواند ابزاری مؤثر برای بسیاری از دشواری‌های باغداری باشد. با توجه به توانمندی‌های کشور در زمینه کاربردهای صلح‌آمیز فناوری هسته‌ای و تأکید بر تأمین نیازهای کشور به صورت داخلی، بهره‌گیری از فناوری‌های هسته‌ای افزون بر باصرفه بودن می‌تواند موجب توسعه علمی، کاربردی و فناورانه در زمینه بهنژادی درختان میوه، کنترل آفت باغ‌ها، افزایش عمر انبارداری و افزایش صادرات محصول‌های باغی شود. بهره‌گیری از فناوری‌های هسته‌ای در بهنژادی گیاهان در راستای تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین جزء یکی از شاخص‌های پیشرفت در رشته کشاورزی است. این مقاله، مروری جامع بر چالش‌های صنعت میوه‌کاری ایران دارد و راهکارهای حل این چالش‌ها را با استفاده از فناوری هسته‌ای ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پس برداشت، پرتوهای یونیزه کننده، جهش، درختان میوه.

### مقدمه

بیش از ۱۵۰۰ سال پیش ایرانیان با دانش کشت و کار درختان میوه آشنایی داشتند و به همین دلیل باغ ایرانی همیشه در روح و خاطره‌های باستانی قوم ایرانی وجود داشته است. به نقل از آرتور آپهام پوپ «در گوشه ذهن هر ایرانی، باغی نهفته است» (جواهریان، ۱۳۸۳). موقعیت فلات ایران، مساحت زیاد آن، وجود کوه‌های البرز در شمال، زاگرس در غرب کوه‌های شرق و مرکزی و متأثر شدن از جریان‌های هوایی دریای خزر و خلیج فارس و دریای عمان موجب شده تا تنوع زیادی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کشور به وجود آید. اختلاف ارتفاع در ناحیه‌های مختلف این فلات نیز به سهم خود دگرگونی‌های شدید اقلیمی را موجب شده است، به گونه‌ای که از اقلیم‌های سرد در منطقه‌های مرتفع و کوهستانی تا

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: eshghi@shirazu.ac.ir

۳- به ترتیب، استادیاران پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، کرج، عضو مدعو فرهنگستان علوم ج.ا. ایران و استاد دانشگاه شیراز و عضو وابسته فرهنگستان علوم ج.ا. ایران و استاد دانشگاه تهران.

اقلیم‌های گرم در منطقه‌های کم‌ارتفاع و پست تغییر یابد. از این رو، محصول‌های باغی نیز از تنوعی چشمگیر و متناسب با نوع اقلیم در کشور برخوردار شده‌اند (بی‌نام، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر در راستای سیاست‌های افزایش تولید و رشد صادرات غیرنفتی کشور، برنامه کاشت درختان میوه نیز به دلیل استقبال عمومی برای احداث باغ‌های درختان میوه و به دلیل زیادبودن ارزش غذایی و صادراتی آن، در سطح برنامه‌ریزی کشور مورد توجه قرار گرفته است.

آسیب‌پذیرتر بودن اقتصاد تک‌محصولی و کوشش برای ایجاد تنوع در اقتصاد کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، نگاه کارشناسان اقتصادی را در سطح ملی و بین‌المللی بر بخش تولید فراورده‌های کشاورزی متمرکز کرده است. باغداری و تولید درختان گوناگون میوه یکی از اساسی‌ترین فعالیت‌های کشاورزی در ایران به‌شمار می‌رود. قسمت عمده‌ای از محصول‌های تولیدی این بخش افزون بر تأمین نیازهای داخلی کشور، صادر می‌شود. سهم ۶۲ در صدی انواع محصول‌های تولیدی درختان میوه از کل صادرات بخش کشاورزی و سهم ۲۰ در صدی انواع میوه از کل تولید بخش کشاورزی بیانگر اهمیت نقش تولیدی و صادرات بخش صنعت میوه‌کاری در بین دیگر فعالیت‌های کشاورزی است (آقاجانزاده و عبادی، ۱۳۹۰).

با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزآوری صنعت میوه‌کاری برای کشور، این صنعت شوربخانه با برخی چالش‌های اساسی روبه‌روست مانند: نبود برنامه بهنژادی مدون برای معرفی رقم‌های سازگار با تغییرهای اقلیمی ناشی از گرم شدن کره‌زمین، نداشتن تطابق برنامه‌های بهنژادی و گزینش رقم‌ها در راستای سلیقه‌های بازار هدف (صادرات جهانی)، مصرف بی‌رویه سم‌های شیمیایی، زیاد بودن مقدار پسماند تولیدی محصول‌ها و بهره نبردن از فناوری‌های جدید برای افزایش عمر پس‌برداشت و کاهش پسماند پس‌برداشت میوه‌های صادراتی.

برای افزایش تولید محصول باکیفیت و یکنواخت باید همزمان با ایجاد باغ‌هایی با رقم‌های برتر درختان میوه، باغ‌های قدیمی را اصلاح کرد. استفاده از شیوه‌های نوین باغداری و محافظت درختان از تنش‌های شدید محیطی و توسعه سیستم‌های پس‌برداشت و فراوری درست میوه‌های تولیدی از مهمترین چالش‌های تولید و صادرات این صنعت است. بی‌توجهی به فراورده‌های باغبانی و به‌ویژه منابع ژنتیکی موجود در کشور، رشد جمعیت انسانی، صنعتی شدن سریع و جنگل‌زدایی به از بین رفتن مجموعه ذخیره‌های ژنتیکی ارزشمند برای بهنژادی میوه‌ها می‌انجامد. در مورد بهنژادی درختان میوه، در برخی از گونه‌ها منابع کافی ژنتیکی مطلوب به‌منظور اجرای برنامه‌های پژوهشی و بهنژادی ویژگی‌های کمی و کیفی وجود ندارد که در نتیجه، برنامه‌های بهنژادی درختان میوه در ایران نسبت به دیگر منطقه‌های دنیا به شدت عقب افتاده است. بازار کشورهای قرارگرفته در حاشیه خلیج فارس، اروپا و آمریکا ظرفیت زیادی برای واردات میوه‌های گرمسیری، میوه‌های منطقه‌های معتدل و نیز خشکباری را دارد. این بازارها کنترل کیفی دقیقی اعمال می‌کنند و بنابراین نیاز به میوه‌هایی با کیفیت بسیار خوب دارند. روسیه یکی از بزرگ‌ترین بازارها برای واردات محصول‌های باغبانی است و سرمایه‌گذاری مشترک با این کشور برای ایجاد سیستم‌ها و ابزار تمایل آنان به خرید فراورده‌های کشاورزی ایران فرصتی برای بازرگانان ایرانی فراهم می‌کند. تلفات پس‌برداشت و ترابری ضعیف، تأثیر نامطلوبی بر کل میوه تولیدی دارد و به زیان اقتصادی برای صادرکنندگان و در نتیجه اتلاف سرمایه ارزی کشور می‌انجامد. افزون بر این، در قانون‌های صادراتی آینده جهان، به مقدار بار میکروبی کالاها توجه بیشتری می‌شود و کالاهای دارای بار میکروبی زیاد اجازه جابه‌جایی نخواهند داشت.

بهنژادی گیاهی نوین بر مبنای ایجاد تنوع، گزینش، ارزیابی و تکثیر ژن‌نمودهای مطلوب شکل گرفته است. انگیزش جهش به کمک پرتوتابی با پرتوهای یونیزه‌کننده در کنار دیگر روش‌های سنتی می‌تواند وسیله‌ای کمکی در حل مؤثر و سریع بسیاری از دشواری‌های پیش روی کشاورزی باشد. در حقیقت، جهش با ایجاد تنوع ژنتیکی، زمینه را برای ظهور

قابلیت‌های بالقوه ژنتیکی که به‌طور طبیعی بروز نمی‌یابند، فراهم می‌سازد و توانایی برداشتن مانع‌های ژنتیکی دورگه‌گیری مانند ناسازگاری، پیوستگی ژن و توارث تک‌والدی را دارد. افزون بر این، بهبود اساس ژنتیکی درختان میوه یکی از ضروری‌ترین نیازها به‌منظور افزایش تولید میوه است که در این میان، یکی از بزرگ‌ترین دشواری‌های پیش رو برای بهنژادی درختان میوه، طولانی بودن فرآیند اصلاح (حدود ۱۰ تا ۲۵ سال) به علت طولانی بودن دوره نونهالی است (IAEA, 2009). بنابراین، بهنژادی سنتی روشی بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. بر پایه داده‌های موجود در ارتباط با بهنژادی درختان میوه توسط پرتوهای یونیزه‌کننده، مشخص شده‌است که این روش بر ویژگی‌های کمی و کیفی، اندازه گیاه، خودباروری و زمان گلدهی و رسیدن میوه تأثیر می‌گذارد (IAEA, 2021). افزون بر این، پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که بهنژادی به روش انگیزش جهش می‌تواند به‌صورت گسترده موجب بهتر شدن مقاومت رقم‌ها به تنش‌های زیوا و نازیوا و بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای درختان میوه شود. امروزه در جهان به سلامت محصول‌های غذایی، به‌ویژه میوه‌هایی که به‌صورت خام مصرف می‌گردند، اهمیت زیادی داده می‌شود. برای افزایش سلامت فرآورده‌های کشاورزی و کاهش مصرف کود و سم، می‌توان از فناوری هسته‌ای برای کاهش خسارت آفت‌ها و حشره‌ها در باغ‌های درختان میوه استفاده کرد. استفاده از روش‌های هسته‌ای در مبارزه با آفت‌های باغبانی، افزون بر کاهش خسارت آفت، موجب افزایش سلامت محصول و در نتیجه کاهش مصرف سم و آلودگی محیط زیست و آلودگی منابع آب و خاک نیز می‌شود. بنابراین، با توجه به توانمندی کشور در زمینه کاربرد صلح‌آمیز فناوری هسته‌ای و تأکید بر تامین نیازهای کشور به‌صورت داخلی و وابسته نشدن به دیگر کشورها، استفاده از فناوری نوین هسته‌ای به صورت چشمگیری موجب توسعه علمی و فناوریانه کشور در زمینه بهنژادی درختان میوه، افزایش عمر انبارداری و در نتیجه افزایش صادرات فرآورده‌های باغبانی می‌گردد.

### ضرورت استفاده از فناوری هسته‌ای در بهنژادی و گزینش درختان میوه

تنوع ژنتیکی، پایه بهنژادی گیاهی است، کشاورزی و تولید غذا نیز به مواد گیاهی پر محصول وابسته است. روش‌های متداول بهنژادی در درختان میوه بر اساس گزینش نژادگان‌های<sup>۱</sup> مورد علاقه از بین مواد گیاهی متنوع موجود و دست‌ورزی همه یا تعدادی از صفت‌های مورد نیاز در یک نژادگان به‌منظور تولید یک رقم باغبانی تجاری است. دستیابی به رقم‌های جدید درختان میوه نیازی ضروری برای افزایش و حفظ تولید پایدار میوه برای عرضه در فصل‌های گوناگون سال است. از دشواری‌های عمده در مسیر بهنژادی این درختان می‌توان به این موارد اشاره کرد: در دسترس نبودن مواد گیاهی مناسب، بزرگ بودن اندازه درخت یا ارتفاع آن (مانند آوآکادو، انبه)، و دیگر مانع‌های فیزیولوژیک مانند ناسازگاری، نامیزیدن<sup>۲</sup> و سترونی (IAEA, 2009). از مهمترین روش‌های بهنژادی سنتی در درختان میوه می‌توان به بهنژادی شجره‌ای، گزینش توده‌ای، تلاقی برگشتی، گزینش دوره‌ای و به‌کارگیری دورگه‌ها، اشاره کرد، اما از عیب‌های دیگر این روش‌ها در درختان میوه می‌توان به طولانی بودن دوره بهنژادی آن‌ها اشاره کرد. بهره‌گیری از روش‌های مرسوم بهنژادی درختان میوه که سیستم گلدهی بیشتر گونه‌های آن‌ها دگرگشتی است موجب پس‌رفت ژنتیکی می‌گردد. دلیل این موضوع پس‌روی درون‌نژادی<sup>۳</sup> در اثر چند نسل خودگرده‌افشانی است (Murovec & Bohanec, 2011).

پیش از این اشاره شد که بهنژادی با روش سنتی بسیار وقتگیر است و هزینه بسیار زیادی برای کشور در بر خواهد داشت. امروزه متخصصان بهنژادی گیاهی به دنبال روش‌های دیگری هستند که بتوانند این مدت و هزینه را به کمینه ممکن

برسانند. افزون بر این، بهنژادگر هنگامی می‌تواند موفقیت زیادی در برنامه‌های بهنژادی خود داشته باشد که تنوع و امکان گزینش ماده مناسب برای او موجود باشد. بهنژادی گیاهی نوین بر مبنای ایجاد تنوع، گزینش، ارزیابی و تکثیر نژادگان‌های مطلوب شکل گرفته است.

انگیزش جهش با استفاده از روش‌های هسته‌ای، همراه با گزینش، نوترکیبی یا ترکیبی از این دو، در بهنژادی گیاهان به کار گرفته می‌شود. بنابراین، در بهنژادی از راه انگیزش جهش، هم از منابع گیاهی موجود استفاده می‌شود، و هم رقم‌های باغبانی جدید تولید خواهند شد. در واقع، جهش با ایجاد تنوع ژنتیکی، زمینه را برای ظهور قابلیت‌های نهفته ژنی، که به‌طور طبیعی بروز نمی‌یابند، فراهم می‌سازد و توانایی چیرگی بر موانع ژنتیکی دورگه‌گیری مانند ناسازگاری، پیوستگی ژن و توارث تک‌والدی را دارد. رویکردهای روش‌های بهنژادی سنتی برای بهبود یک ویژگی در یک رقم تجاری، مستلزم ورود شکل‌های مختلف یک ژن مرتبط از یک والد دیگر و چندین نسل گزینش است. برای نمونه، معرفی ویژگی مقاومت به بیماری در یک رقم پرمحصول با تلاقی آن رقم با یک رقم مقاوم به بیماری آغاز می‌شود و به دنبال آن، تلاقی پشت سر هم با والد گزینش شده به منظور حفظ ظرفیت ژنتیکی رقم تجاری مورد نیاز خواهد بود که به طور معمول برای گذشتن این فرآیند و برای تثبیت شکل‌های مختلف ژن مقاومت در رقم تازه معرفی شده به چندین نسل نیاز خواهد بود (Sattar *et al.*, 2021). درحالی‌که جهش‌های انگیزشی با روش‌های بهره‌گیری از پرتوهای یونیزه کننده می‌توانند بدون برهم زدن ویژگی‌های کلی و مهم یک رقم تجاری و تنها با تغییر در یک یا چند ویژگی خاص به بهبود رقم مورد نظر کمک کنند (Lamo *et al.*, 2017). بر اساس اطلاعات موجود در ارتباط با بهنژادی درختان میوه با بهره‌گیری از پرتوهای یونیزه کننده مشخص شده که این روش بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه، اندازه گیاه، زمان گلدهی، زمان رسیدن میوه و خودباروری تاثیر زیادی دارد. افزون بر این، بررسی‌های پیشین نشان می‌دهند که بهنژادی به روش انگیزش جهش به صورت گسترده موجب ارتقای مقاومت رقم‌ها به تنش‌های زیوا و نازیوا و بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای درختان میوه می‌گردد.

در میان عامل‌های اقلیمی، بارندگی حیاتی‌ترین مورد است زیرا حدود ۷۰٪ از منطقه‌های اصلی زیر کشت گیاهان زراعی و باغبانی هنوز بدون آبیاری هستند، ضمن این‌که بارندگی نامنظم در فصل رشد موجب تنش آبی می‌شود (Zamani *et al.*, 2006). توجه به افزایش بازده کارآیی مصرف آب و ارتقای بهره‌وری ضرورتی گریزناپذیر است. در سال‌های اخیر با پیشرفت علوم هسته‌ای، کاربرد روش‌های ایزوتوپیک (پایدار و رادیواکتیو) در علوم زیستی و غیرزیستی رشد قابل توجهی داشته است. در حیطه علوم زیستی، ایزوتوپ‌های پایدار نقش مهم‌تری دارند. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی به کشورهای دنیا کمک می‌کند تا ظرفیت استفاده از روش‌های ایزوتوپی و تولید رادیوایزوتوپ‌ها و رادیوداروها را ایجاد کنند. پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه گسترش و کاربرد روش‌های ایزوتوپی به‌عنوان یکی از چندین فناوری نوین هسته‌ای در مدیریت آب در کشاورزی به‌دست آمده است. اندازه‌گیری تغییرهای طبیعی در مقدار ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، هیدروژن، کربن و نیتروژن در آب، خاک و اجزای گیاه می‌تواند منجر به تعیین منبع آب و مواد غذایی شود که توسط گیاه جذب می‌شود و تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی و آبیاری بر جریان آب در منطقه توسعه ریشه‌ها و ورای آن را مشخص می‌سازد. کربن، که بخش عمده‌ای از کربوهیدرات موجود در بافت‌های گیاهی را تشکیل می‌دهد، هم به شکل کربن ۱۲ و ایزوتوپ کربن سنگین (کربن ۱۳) موجود است. با اندازه‌گیری تغییرهای مقدار این دو ایزوتوپ در بافت‌های گیاهی می‌توانند به شکل روزافزون برای گزینش و ارزیابی گونه‌های مختلف گیاهان مقاوم در برابر خشکی بهره برد (Farquhar & Richards, 1984). بنابراین، با استفاده از این فناوری، نیازی به اندازه‌گیری بیلان آبی در تعداد زیادی از درختان نیست، زیرا در شرایط تنش

خشکی، کربن کمتری به شکل دی‌اکسیدکربن، به‌ویژه ایزوتوپ کربن ۱۳ (کربن سنگین)، توسط گیاه از اتمسفر جذب می‌شود، و به این ترتیب، نسبت بین مقدار کربن ۱۳ به کربن ۱۲ در بافت‌های گیاهی تغییر می‌یابد

### گزینش فناوری هسته‌ای جهش‌زا برای بهنژادی درختان میوه

از پرتوهای فرابنفش، ایکس، گاما، بتا و نوترون‌های سریع به‌عنوان عامل‌های جهش‌زای مبتنی بر فناوری هسته‌ای توسط بسیاری از پژوهشگران استفاده شده‌اند. در این میان، استفاده از پرتو فرابنفش به‌دلیل نفوذ ضعیف به کشت تعلیقی یاخته<sup>۱</sup>، تنها به دانه‌های گرده محدود شده است. در مورد پرتو بتا، تابش ایزوتوپ‌های رادیویی باید به یاخته‌های مریستم پیوندک‌ها برسد، نفوذ چنین تابشی در بافت گیاه ضعیف است. در برخورد با این گونه ایزوتوپ‌های رادیویی باید دقت بیشتری بشود و آیین‌نامه‌های ایمنی قابل اجرا باید رعایت شوند. گفتنی است که این مشکل در مورد نوترون‌ها نیز وجود دارد. بنابراین، پرتو ایکس و گاما راحت‌ترین و ساده‌ترین پرتوها برای کاربرد و مدیریت جهش در درختان میوه هستند (Ehrenberg *et al.*, 1952). از این‌رو، بیشتر جهش‌های انگیزی در درختان میوه با پرتو ایکس و گاما به‌دست آمده‌اند (جدول ۱).

از سال ۱۹۶۰، پرتو دهی گاما به مطلوب‌ترین و رایج‌ترین عامل جهش‌زا تبدیل شده است، زیرا این روش به‌طور گسترده برای بهنژادی رقم‌های باغبانی جهش‌یافته به‌کار رفته است و در مقایسه با سایر روش‌ها (دورگه‌گیری) که به نسبت زمان‌بر، پر زحمت و با تنوع ژنتیکی کمتر همراه هستند، این روش ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است. پرتو گاما به‌دلیل حذف کروموزومی زیاد و فعال شدن مجدد کروموزوم، جهش‌های ژنتیکی بسیار خوبی ایجاد می‌کند (Jain, 2010).

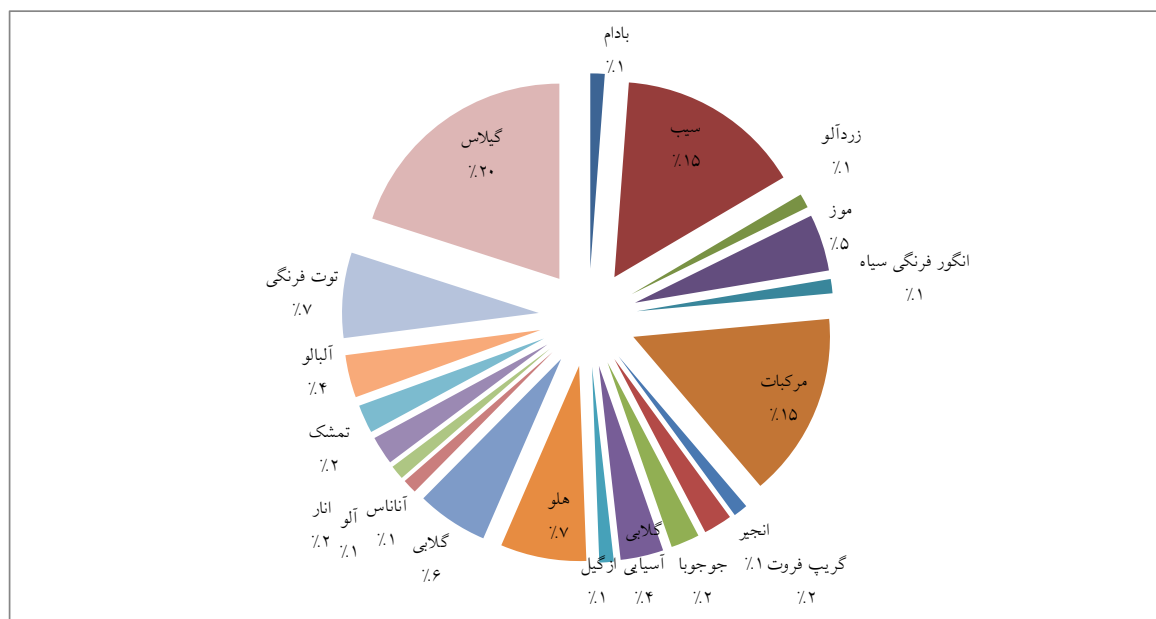
افزون بر این‌که پرتوهای مختلفی در بهنژادی درختان میوه کاربرد دارند، دو روش پرتو دهی (مزمین و سریع) با پرتو ایکس و گاما نیز وجود دارد که این پرتوها را منحصربه‌فرد می‌سازد. در پرتو دهی مزمین، مواد گیاهی با سرعت و دوز کم، اما مدت طولانی پرتو داده می‌شوند که این امر به بقای زیاد، اما کم بودن فراوانی جهش بر اساس دوز انباشته پرتو می‌انجامد. در پرتو دهی سریع، مواد گیاهی برای مدتی کوتاه‌تر زیر تابش قرار می‌گیرند، که بقای آن را کم کرده، اما فراوانی جهش بیشتری را در مقایسه با روش چندباره ایجاد می‌کند. به‌دلیل هزینه‌های بالای ساخت و ساز و مشکل نگهداری و مدیریت ایمنی تاسیسات، بسیاری از پژوهشگران نتوانسته‌اند از پرتو دهی مزمین بهره‌برند، اگرچه تفاوت کیفی بین دو روش هنوز برای درختان میوه شناخته شده نیست (Sanada & Amano, 1998).

### برنامه‌های موفق بهنژادی درختان میوه با استفاده از فناوری هسته‌ای در جهان

در سال‌های نخستین دهه ۱۹۹۰، اولین پروژه همکاری مشترک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) با استفاده از فناوری جهش و زیست‌فناوری جهت ایجاد نژادگان‌های جدید درختان میوه گرمسیری و نیمه‌گرمسیری برای افزایش کمیت و کیفیت درختان میوه آغاز شد و نتایج این همکاری نشان داد که بهنژادی به کمک جهش با استفاده از کشت‌های درون‌شیشه‌ای و برون‌شیشه‌ای در درختان گرمسیری و نیمه گرمسیری موجب ایجاد رقم‌هایی با ویژگی‌های مطلوب، باردهی بهتر و افزایش کمیت و کیفیت میوه می‌شود (IAEA, 2009).

در حال حاضر، چندین درخت میوه به کمک جهش در موسسات مختلف دنیا بهنژادی شده‌اند، اما سهم هر یک از میوه‌ها از این روش اصلاحی بسیار متفاوت است. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده از داده‌های آژانس انرژی اتمی (۲۰۲۳) بیشترین درصد رقم‌های معرفی شده به ترتیب مربوط به درخت گیلاس (۲۰٪)، سیب (۱۵٪) و مرکبات (۱۵٪) است (شکل ۱). برای نمونه، لیموی مکزیکی برای افزایش اندازه میوه و کاهش تعداد دانه، انبه برای بهبود کیفیت میوه و

رسیدگی یکنواخت؛ آواکادو برای کاهش ارتفاع درخت و آگاو برای گزینش نتاج متحمل به پوسیدگی نرم ساقه در حال گسترش جمعیت هستند (Cruz et al., 2008).



شکل ۱- سهم هر یک از درختان میوه در رقم‌های تجاری معرفی شده با روش‌های هسته‌ای.

یکی از چالش‌های اصلی به‌نژادگران درختان گیلاس و آلبالو، کنترل ارتفاع درخت در کنار دستیابی به دیگر ویژگی‌های مهم اقتصادی مانند زودرسی محصول و بهبود کیفیت و کمیت میوه بوده است؛ این چالش مهم با استفاده از انگیزش جهش در بیشتر رقم‌های باغبانی جهش‌یافته انجام شده است. رقم‌های جهش‌یافته تجاری متعددی در گیلاس و آلبالو با استفاده از پرتو گاما و ایکس از سال ۱۹۶۴ در کانادا، ایتالیا، روسیه، ژاپن و ترکیه معرفی شده‌اند. براساس گزارش پایگاه داده رقم‌های جهش‌یافته آرژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA, 2021)، برخی از شناخته‌شده‌ترین رقم‌های گیلاس جهش‌یافته مانند 'Compact Stella'، 'Stella' و 'Compact Lambert' در کانادا معرفی شده‌اند. چهار رقم جهش‌یافته سیب از جمله 'McIntosh 8F-2-32'، 'Lysgolden'، 'Belren' و 'Blackjon BA2 520' در فرانسه و کانادا در شش دهه اخیر معرفی شده‌اند (جدول ۱). افزون بر این، در دو دهه اخیر رقم‌های جهش‌یافته‌ای در هلو مانند 'Shimizu Hakutou' که به بیماری لکه سیاه مقاوم هستند نیز معرفی شده‌اند. رقم جهش‌یافته موز 'AL-BEELY' در سال ۲۰۰۷ به دلیل افزایش محصول زیاد (۳۰٪ نسبت به والد) به‌طور رسمی در سودان معرفی شد (IAEA, 2021). در ترکیه، رقم گیلاس جهش‌یافته با محصول زیاد ('Burak') در سال ۲۰۱۴ معرفی شد. در این میان، پاکستان رقم نارنگی جهش‌یافته 'NIAB Kinnow' را با موفقیت معرفی کرد که مقاومت متوسط تا زیادی به بیماری‌های شانکر مرکبات، اسکب و پژمردگی فوزاریومی داشت. میانگین محصول این رقم در پاکستان، ۱۲ تا ۱۴٪ بیشتر از محصول والد آن بود (IAEA, 2021).

در سال ۱۹۸۷ در روسیه، اثر پرتوتابی گاما بر بذر انگور با مقدار پرتو ۵۰ گری (واحد اندازه‌گیری دوز جذبی پرتوهای یونیزه و عبارت است از یک ژول انرژی جذب شده در هر کیلوگرم ماده) به‌منظور انگیزش جهش و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه ارزیابی شد. این آزمایش منجر به معرفی رقم 'Fikreti' شد. از ویژگی‌های مهم این رقم می‌توان به محصول زیاد و

زودرسی آن اشاره کرد (Rodrigues *et al.*, 2012). پرتوتابی گاما بر برخی از ویژگی‌های مهم انگور از جمله محصول، زودرسی، اندازه، تعداد و رنگ حبه، مقاومت به بیماری سفیدک پودری و شکل و اندازه برگ تاثیر داشته است (Surakshitha & Soorianathasundaram, 2017). استفاده از فناوری جهش‌زایی درون‌شیشه‌ای، به‌ویژه برای گیاهانی که از راه رویشی قابلیت تکثیر دارند، همراه با امکان غربالگری و گزینش در شرایط درون‌شیشه‌ای کارایی انگیزش جهش را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. از آن جمله می‌توان به مقاومت به لکه‌برگی آلترناریایی در سیب با استفاده از پرتو ایکس و گاما، تحمل به شوری در پایه‌های رویشی مرکبات با استفاده از پرتو گاما و انگیزش پاکوتاهی در پایه‌های F-12/1 گیلان و موز با استفاده از پرتو گاما اشاره کرد (Theiler-Hedtrich, 1989; Abdulhafiz *et al.*, 2018). برآورد دقیقی از سطح زیرکشت این رقم‌های جهش‌یافته در کشورهای مختلف به آسانی در دسترس نیست، اما اطلاعات محدود جمع‌آوری شده نشان می‌دهند که این رقم‌های معرفی شده نقش بسیار مهمی در حل دشواری‌های امنیت غذایی و تغذیه در کشورهای مختلف دنیا داشته‌اند.

جدول ۱- برخی از رقم‌های تجاری معرفی شده در درختان میوه با استفاده از فناوری‌های هسته‌ای.

انواع درختان میوه	رقم‌های تجاری معرفی شده	سال معرفی	عامل جهش‌زا	ویژگی‌های بهبود یافته
سیب	'Golden Haidegg'	۱۹۸۶	پرتو گاما	میوه بزرگ
	'Lysgolden'	۱۹۷۰		مقاومت به زنگار
	'Courtavel'	۱۹۷۲		پاکوتاه
	'Senbatsu-Fuji-2-Kei'	۱۹۸۵		رنگ میوه
هلو	'Magnif 135'	۱۹۸۶	پرتو گاما	سایز میوه
	'Plovdiv 6'	۱۹۸۱		عملکرد
موز	'AL-BEELY'	۲۰۰۷	پرتو گاما	عملکرد
پرتقال	'Valencia 2 INTA'	۱۹۸۷	پرتو ایکس	تشکیل میوه و کیفیت
گلابی	'Kotobuki shinsui'	۱۹۹۶	پرتو گاما	مقاوم به بیماری
زردآلو	'Early Blenheim'	۱۹۷۹	نوترون	زودرسی
پاپایا	'Pusa nanha'	۱۹۸۶	پرتو گاما	پاکوتاهی
نارنگی	'زرین'، 'نارین'	۲۰۱۱	پرتو گاما	زمان رسیدن و بی‌بذری
انگور	'Fikerti'	۱۹۸۶	پرتو گاما	زودرسی
بادام	'Supernova'	۱۹۸۷	پرتو گاما	دیرگل و خودبارور
آلبالو	'Plodorodnaya Michurina'	۱۹۷۷	پرتو ایکس	تشکیل میوه
	'Karlik Samorodka'	۱۹۷۹	پرتو گاما	پاکوتاهی
	'Polukarlik Orlovskoi Rannei'	۱۹۷۹	پرتو گاما	پاکوتاهی
گیلاس	'Compact Lambert'	۱۹۸۳	پرتو گاما	رشد فشرده
	'BURAK'	۱۹۹۲	پرتو ایکس	پاکوتاهی
	'Stella'	۱۹۷۴	پرتو ایکس	رشد فشرده

در بررسی استفاده از روش تبعیض ایزوتوپی در کیوی در چین مشخص گردید که تبعیض ایزوتوپی کربن برگ می‌تواند شاخصی مفید برای تعیین کارایی مصرف آب در کیوی به‌کار رود. افزون بر این، در پژوهشی در زیمباوه روی هلو و *Ziziphus*

*mauritiana* در شرایط تنش خشکی، مشخص شد که تنش خشکی موجب افزایش مقدار کربن ۱۳ در هلو می‌شود، در حالی که در گیاه *Ziziphus mauritiana* مقدار کربن ۱۳ زیر شرایط خشکی با شرایط عادی تفاوت معنی‌داری نداشت (Arndt et al., 2000). بررسی‌ها در کشور پرتغال روی انگور در شرایط کم‌آب‌باری نشان داد که کربن ۱۳ در پوست میوه انگور همبستگی زیاد با کارایی مصرف آب و ظرفیت اسمزی دارد (de Souza et al., 2005). در پژوهش دیگری در اسپانیا روی درخت هلو به‌منظور ارزیابی ارتباط شرایط آبی با تبعیض ایزتوبی کربن مشخص گردید که ایزتوپ کربن ۱۳ میوه به‌عنوان یک نشانگر غیر مستقیم برای نمایش شرایط آبی، فیزیولوژی گیاه و کارایی مصرف آب در درخت هلو مطرح است (Pascual et al., 2013). در پژوهشی دیگر روی سیب در مجموعه سیب کشور قزاقستان در زمینه تبعیض ایزتوبی در شرایط کم‌آب‌باری نشان داده شد که ایزتوپ کربن ۱۳ می‌تواند به‌صورت دقیق کارایی مصرف آب را در سیب نشان دهد و افزون بر این گزارش مشخص شد که تغییرهای فصلی در کارایی مصرف آب همبستگی منفی با دلتا ایزوتوپ کربن دارد (Glenn & Bassett, 2011).

### سابقه اجرای برنامه‌های به‌نژادی درختان میوه با استفاده از فناوری هسته‌ای در ایران

در زمینه انگیزش جهش با استفاده از پرتوتابی گاما در درختان میوه در کشور گزارش‌های اندکی وجود دارد. در بیشتر پژوهش‌ها روی درختان میوه، به جز یک مورد برنامه به‌نژادی موفق در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی روی نارنگی، دیگر گزارش‌ها تنها به تعیین بهترین دوز پرتوتابی بسنده کرده‌اند. رحیمی و همکاران (۱۳۸۵) با هدف ایجاد تنوع ژنتیکی و تولید رقم‌های جهش‌یافته نارنگی با ویژگی‌های کیفی برتر، از پرتو گاما استفاده کردند و نشان دادند که این پرتوتابی موجب ایجاد تعدادی از درختچه‌های نارنگی زودرس و دیررس با میوه‌های بدون هسته شده است. در نهایت دو رقم جدید نارنگی به نام‌های نارین و زرین توسط سازمان انرژی اتمی و موسسه تحقیقات باغبانی کشور معرفی گردیدند. گورچینی و همکاران (۱۳۸۴) انگیزش جهش با استفاده از پرتوتابی گاما را در گیاه موز بررسی و گزارش کردند که دوزهای ۲۵ تا ۴۰ گری برای ایجاد جهش در نوک ساقه گیاه موز مناسب و مقدار ۳۹/۸ گری نقطه LD50 (دوزی از پرتو گاما که باعث مرگ و میر ۵۰٪ نمونه‌های گیاهی می‌شود) در موز است. در پژوهش ودادی و همکاران (۱۳۹۳) که در آن اثر پرتوتابی گاما بر انگیزش جهش در قلمه‌های چوبی انار بررسی شده‌است مشخص شد که مقدار ۴۵ گری نقطه LD50 و دوز مناسب پرتوتابی به‌منظور انگیزش جهش، ۳۶ گری است. رزمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی، امکان انگیزش جهش و ایجاد تنوع ژنتیکی در توت‌فرنگی رقم کردستان را با پرتو دهی گاما بررسی کردند و گزارش دادند که با افزایش شدت پرتو گاما، سطح برگ، طول میوه، قطر میوه، وزن تر و خشک میوه، حجم میوه و شکل و مقدار آب‌میوه کاهش و پُربریگی و کوتولگی در گیاهان پرتودیده افزایش می‌یابد. مشاهده شد که مقدار مناسب پرتو دهی برای ایجاد جهش در توت‌فرنگی رقم کردستان بین ۶۵ تا ۷۰ گری قرار دارد. در بررسی‌های Ghasemi-Soloklui et al., (2023) روی رقم انگور یاقوتی گزارش شده است که تابش ۳۰ گری پرتو گاما دوز بهینه برای بررسی‌های اولیه جهش‌زایی در رقم انگور یاقوتی است.

در ایران، بیشتر پژوهش‌ها در مورد تولید گیاهان نیمگان<sup>۱</sup>، مربوط به گیاهان زراعی است؛ گزارش‌ها در مورد درختان میوه در کشور بسیار محدود است. در گزارشی توسط Sadat Hoseini Grouh et al., (2011) موفق به تولید پنج گیاه نیمگان در گردو به روش انگیزش بکرزایی با دانه‌گرده پرتوتابی شده با پرتو گاما از منبع کبالت ۶۰ شدند. در این پژوهش، از شدت پرتوهای صفر، ۵۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ گری استفاده شد و نژادگان‌های Z30 و Z53 به‌عنوان والد پدری و



هارتلی، پدرو، جمال و دماوند به‌عنوان والد مادری گزینش شدند. نتیجه این پژوهش نشان داد که کاربرد پرتو گاما با دوزهای ۳۰۰ و ۶۰۰ گری بهترین تیمار پرتویی برای تولید گیاهان نیمگان در درخت گردو است. در پژوهشی، Arab et al., (2020) تبعیض ایزوتوپی را روی دانه‌های گردوی ایرانی بررسی و گزارش کردند که اعمال تنش کم‌آبایی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش تبعیض ایزوتوپی و رشد برگ می‌شود، درحالی‌که مقدار ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ در شرایط تنش خشکی و آبیاری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. حکم‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش داده‌اند که تنش شوری موجب کاهش تبعیض ایزوتوپی در برگ و ساقه می‌شود، اما پایه‌های مورد پژوهش از نظر این شاخص تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

### ضرورت استفاده از فناوری هسته‌ای در مدیریت آفت‌های درختان میوه

امروزه پرتوهای یونیزان به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم به‌کار می‌روند. در روش مستقیم، تابش دوزهای زیاد پرتو، مرگ آفت‌ها را سبب می‌شود که بیشتر برای مدیریت آفت‌های انباری و قرنطینه‌ای است و در روش غیرمستقیم از پرتو گاما برای سترون‌کردن جنس نر حشره استفاده می‌شود. روش سترون‌سازی بدین صورت است که ابتدا حشره‌ها در آزمایشگاه به‌صورت انبوه پرورده می‌شوند و افراد نر را زیر تأثیر دوزهای سترون‌کننده قرار می‌دهند. آنگاه حشره‌های سترون‌شده را در طبیعت و در محیط‌های آلوده رها می‌کنند تا پس از جفت‌گیری با ماده‌های طبیعی، این افراد تخم‌های بارور نشده تولید کنند. این روش در درازمدت روی جمعیت آفت مؤثر واقع می‌شود (سوفباف و همکاران، ۱۳۹۶).

کنترل مگس‌های میوه با این روش در استرالیا (۱۹۶۲ تا ۱۹۹۰)، مکزیک، گواتمالا، ژاپن و فلسطین اشغالی از دهه ۸۰ میلادی تاکنون نمونه‌هایی از موفقیت این روش در مدیریت آفت باغ‌ها در دنیا است. پروژه یاد شده در مکزیک و گواتمالا اولین پروژه بزرگ مدیریت تلفیقی آفت با استفاده از روش SIT در دنیا به حساب می‌آید. تاسیسات تولید حشره‌های نابارور در گواتمالا بزرگ‌ترین تاسیسات مربوط به این فناوری در دنیا هستند (سوفباف و همکاران، ۱۳۹۶).

گزارش‌های فنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که افزون بر مگس‌ها، در مورد راسته مهم و اقتصادی بال‌پولک‌داران نیز کارهای بسیار مهمی شده است. از جمله این کارها می‌توان به رهاسازی کرم سیب در ایالت بریتیش کلمبیای کانادا در سال ۱۹۹۴ اشاره کرد که به‌عنوان روشی بسیار مهم در کاهش جمعیت تلقی می‌شود (Hathaway, 1966). کشور ایران در حال حاضر بزرگترین تولیدکننده انار ارگانیک در جهان است. ایران ۴۰٪ تولید انار در جهان را دارد و کرم گلوگاه انار سالانه ۳۰ تا ۶۰٪ این محصول را از گردونه بازار داخلی و بین‌المللی خارج می‌کند. بنابراین استفاده از فناوری هسته‌ای در سترون‌سازی این آفت می‌تواند در تولید انار بسیار مفید باشد.

### برنامه‌های موفق مدیریت آفت درختان میوه با استفاده از فناوری هسته‌ای در جهان

برنامه موفق مدیریت مگس میوه مدیترانه‌ای در سال ۱۹۵۵ در جزایر هاوایی به اجرا گذاشته شد. شفیقه‌های آفت با دوز ۱۰۰ گری پرتو دهی شدند. این پروژه در ۱۳ ماه با رهاسازی ۱۸/۷ میلیون مگس پرورشی سترون شده با موفقیت به اتمام رسید (Katiyar & Ramirez, 1970). همچنین در سال ۱۹۷۸ در مکزیک ۵۰۰ میلیون مگس سترون در هفته و در گواتمالا ۳۵۰۰ میلیون مگس سترون در هفته تولید می‌شد که موجب ریشه کنی این آفت در سال ۱۹۸۲ شد و بعد از آن برای بیش از ۲۵ سال، این برنامه مکزیک، ایالات متحده آمریکا و نیمی از گواتمالا را بدون آفت نگه داشت (Villasenor et al., 1998).

کرم سیب نخستین نمونه از حشره‌های راسته بالپولکداران است که اندیشه به‌کارگیری روش سترون‌سازی در مورد آن شکل گرفت. پرووریز<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردند که قرار دادن شفییره‌های کامل این آفت در برابر ۴۰۰ گری پرتو گاما موجب انگیزش جهش‌کننده در اسپرم‌ها تا حدود ۹۹٪ می‌شود بی آن‌که بر پدیدار شدن حشره‌های کامل، طول عمر و قدرت جفتگیری آن‌ها تأثیری بگذارد. هاتاوی<sup>۲</sup> (۱۹۶۶) نیز در آزمایش‌هایی نسبت‌های ۱۰:۱:۱ و ۲۰:۱:۱ (به عبارتی ۲۰ نر سترون در برابر ۱ نر طبیعی و ۱ ماده طبیعی) را ارزیابی کرد که به ترتیب موجب ۸۵٪ و ۹۷٪ کاهش در تعداد نتاج شد. از سال ۱۹۷۰ پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه کاربرد روش سترون‌سازی برای کنترل کرم سیب در کانادا آغاز شد. عمده پژوهش‌ها در زمینه بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی روی آفت، پرورش انبوه، پرتودهی حشره و ارزیابی نتایج حاصل از رهاسازی بود. تیم عملیاتی در سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۷۶ ناحیه‌ای به وسعت ۵۰۰ هکتار را به عنوان پایلوت گزینش کرد و نتیجه موفقیت آمیزی به‌دست آوردند (Proverbs *et al.*, 1982). گذشته از کرم سیب، آفت‌های مهم دیگر در راسته بالپولکداران نیز در برنامه روش استفاده از حشره‌های سترون قرار گرفته‌اند.

بررسی منبع‌ها بیانگر اجرای آزمایش‌های مقدماتی در زمینه کنترل کرم گلوگاه انار با استفاده از روش SIT در کشور تونس است (Dhouibi & Abderahmane, 2002). پژوهشی در مورد اثر پرتوهای گاما بر کرم گلوگاه انار انجام شد و پرتوهای گاما با دوز ۲۰، ۲۵، و ۳۰ کیلو راد را روی شفییره‌های نر ۵ تا ۶ روزه و حشره‌های کامل نر آزمایش و تعداد تخم بارور و نابارور شمارش شد. در این آزمایش مشخص شد جفتگیری نرهای پرتودهی شده با ماده‌های طبیعی اثر چندانی روی رفتار جفتگیری ندارد ضمن اینکه این کار به کاهش باروری تخم‌ها نیز می‌انجامد (Al-Izzi *et al.*, 1993).

### برنامه‌های موفق کنترل آفت باغ‌های درختان میوه با استفاده از فناوری‌های هسته‌ای در ایران

در همین راستا (Soufbaf *et al.*, 2015) با استفاده از فناوری سترون‌سازی به طور موفق در سطح باغ‌های تجاری در دو منطقه عقدا و مهریز واقع در استان یزد موفق شدند خسارت کرم گلوگاه انار را نسبت به باغ شاهد (که ۴۲ تا ۵۰٪ خسارت داشت) از ۳۲ تا ۳۸٪ کاهش دهند.

مگس میوه مدیترانه‌ای<sup>۳</sup> از آفت‌های مهم و خطرناک مرکبات است و در شرایط مساعد می‌تواند در سراسر سال بازتولید کند و خسارت‌های زیادی به‌ویژه به مرکبات وارد آورد. این آفت زیرپوست میوه تخم‌ریزی می‌کند. با تفریح تخم، لاروها بی‌درنگ به درون میوه می‌روند و از گوشت آن تغذیه می‌کنند. میوه‌های آلوده دچار گندیدگی و پوسیدگی می‌شوند و زودتر از موعد ریزش می‌کنند. این آفت بیشتر در استان‌های مازندران، گرگان، گیلان و فارس پراکنده است و به درختان مرکبات آسیب می‌زند. در استان‌هایی همچون اصفهان، یزد، خراسان، کرمانشاه و گلستان به دیگر درختان میوه خسارت وارد می‌کند. پروژه کنترل مگس میوه مدیترانه‌ای با استفاده از تلفیق روش هسته‌ای نابارورسازی با روش‌های رایج از تیرماه سال ۹۹ با همکاری پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، بنیاد مستضعفان و شرکت دشت‌ناز ساری در باغ مرکبات بهشهر آغاز شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش تجاری‌سازی شده نشان داد که پرتودهی نرها با ۸۰ تا ۱۰۰ گری نسبت به شاهد (پرتودهی نشده) توانست موجب کاهش جفتگیری حشره‌ها و در نتیجه کنترل جمعیت این آفت در باغ‌های مرکبات بررسی شود (Ahmadi *et al.*, 2021). در گذشته به علت نبود سیستم تولید تجاری حشره‌های نرسترون این روش در کشور به صورت گسترده‌تر نیافته بود، اما به تازگی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی با همکاری شرکت

کاربرد پرتوها به عنوان یکی از شرکت‌های زیرگروه سازمان انرژی اتمی در حال راه‌اندازی سایت تجاری تولید حشره نر سترون به عنوان یک راه‌حل مناسب برای کنترل آفت‌های درختان میوه در کشور در حال فعالیت است.

### ضرورت استفاده از فناوری نوین هسته‌ای در حفظ ویژگی‌های پس برداشت میوه

سالانه در جهان حدود ۴ میلیارد تن مواد غذایی تولید می‌شود که از این مقدار حدود ۱/۲ تا ۲ میلیارد تن به پسماند تبدیل و از دسترس مصرف‌کننده خارج می‌شود (معادل حدود ۵۰٪ محصول‌های تولید شده در جهان و ارزش بیش از یک تریلیون دلار در سال بر اساس گزارش فائو). سهم کشورهای در حال توسعه در این میان معادل ۳۱۰ میلیارد دلار است. پسماندهای کشاورزی و هدر رفت مواد غذایی در ایران بر پایه برآوردها حدود ۳۰٪ در سال تخمین زده می‌شود که این مقدار حدود ۳٪ از کل پسماندهای کشاورزی و دور ریز مواد غذایی در جهان است (Kummu et al., 2012). آمارهای جهانی نشان می‌دهند که در کشورهای در حال توسعه، به‌طور میانگین ۲۴٪ از میوه‌ها در فاصله تولید تا رسیدن به دست مصرف‌کننده از بین می‌روند. در ایران نیز براساس آخرین برآوردها، ۲۸٪ از فراورده‌های باغبانی در مرحله‌های مختلف تولید تا مصرف از بین می‌رود (میرمجیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

بررسی‌ها نشان می‌دهند مقدار برآورد شده ضایعات محصول‌های باغبانی و زراعی اولویت‌دار مورد اشاره در سند برنامه مدیریت کنترل و کاهش ضایعات محصول‌های کشاورزی (شامل: گندم، گوجه فرنگی، سیب زمینی، چغندر قند، انگور، گیاهان علوفه‌ای، دانه‌های روغنی، سیب، ذرت دانه‌ای، پرتقال، سبزی‌ها، شلتوک، جو، پیاز، هندوانه، نارنگی، یونجه، خرما، لیمو شیرین و خربزه) حدود ۹۰٪ پسماندها را تشکیل می‌دهند. در این میان، تلفات میوه‌ها حدود ۲۸٪ است که در بین درختان میوه ارزیابی شده بیشترین هدررفت‌ها مربوط به انگور ۳۴٪ و نارنگی ۳۱٪ و کمترین مقدار هدررفت‌ها مربوط به انار ۲۵٪ است (میرمجیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

فناوری پرتودهی صنعتی چند منظوره گاما شاخه‌ای پرکاربرد از صنعت هسته‌ای است و عمومی‌ترین کاربرد آن ارتقای شاخص‌های سلامت غذایی و بهداشتی در جهان است. این فناوری تحولی در استانداردهای سلامت غذایی جهان ایجاد کرده است (Silva et al., 2016). اکنون ایران به مسیر بنیان گذاشتن این سیستم‌ها و دست یافتن به کیفیت جهانی محصول‌های خود گام نهاده است. در سال‌های اخیر سند بالادستی اقتصادی مقاومتی شکل گرفته و سیاست‌های کلی آن ابلاغ شده است. در بند هفتم سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی، بر تامین امنیت غذا، درمان و ایجاد ذخیره‌های راهبردی تاکید شده است (بی‌نام، ۱۳۹۲).

یکی از عامل‌های کاهش امنیت غذا در هر کشور سم‌های شیمیایی هستند که در صنعت کشاورزی به کار می‌روند. برای نمونه، براساس شیوه‌نامه‌های بین‌المللی مانند شیوه‌نامه مونترال که تا سال ۲۰۰۲ میلادی بیش از ۱۸۰ کشور دنیا و از جمله ایران به عضویت آن درآمده است، کاربرد گاز متیل بروماید که به عنوان سم شیمیایی در انبارها مصرف می‌شود ممنوع اعلام شده است. هدف از این معاهده بین‌المللی (شیوه‌نامه مونترال) در درجه اول محدودسازی و سپس حذف کامل هرگونه تولید یا مصرف مواد مخرب لایه ازن از جمله گاز متیل بروماید توسط کشورهای عضو است (محمدی، ۱۳۹۹). اتیلن‌دی‌بروماید، اتیلکن اکساید، متیل بروماید و فستوکسین مهمترین ترکیب‌هایی هستند که از آن‌ها در گازدهی برای برطرف کردن آلودگی در فراورده‌های خشک از جمله خرما در انبارها استفاده می‌شود. در میان این ترکیب‌ها، بیشترین مصرف مربوط به گاز متیل بروماید است. این گاز بیشتر در بسیاری از کشورهای پیشرفته در برنامه‌های گازدهی حذف شده است و در ایران نیز باید تا سال ۲۰۱۵ حذف می‌شود، اما حذف نشد. برای نمونه، خرما که با گاز متیل بروماید در انبارها

نگهداری می‌شود، در بسیاری از کشورها به عنوان محصول وارداتی پذیرفته نمی‌شود و ایران بازارهای جهانی خرما را از دست خواهد داد (لطیفیان، ۱۳۸۷). به طور کلی، حذف متیل بروماید به این معناست که باید سیستم‌های پرتودهی در کشور ساخته شوند.

علم پرتودهی که به پاستوریزه کردن سرد گفته می‌شود، امروزه در جهان مورد توجه ویژه قرار گرفته است و در مقیاس‌های صنعتی از آن بهره‌برداری می‌شود. کاربرد پرتوهای یونیزه کننده (گاما، ایکس و الکترون) به عنوان روشی جدید در راستای حفظ و نگهداری محصول‌های کشاورزی از حدود ۳۵ سال قبل مطرح شد. مهمترین مزیت‌های فرایند پرتودهی فراورده‌های باغبانی عبارتند از: ۱- حفظ کیفیت غذایی ۲- کاهش آلودگی برای محصول به دلیل امکان پرتودهی برای محصول‌های بسته بندی شده ۳- از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا. با توجه به این مزیت‌ها، استفاده از پرتودهی برای مواد غذایی تأثیر چشمگیری بر ایمنی و کیفیت مواد غذایی خواهد داشت (Qaiser et al., 2017).

مرکز پرتودهی گاما از اساسی‌ترین زیرساخت‌ها در تحقق بند ۷ سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی در تامین امنیت غذا و درمان و ایجاد ذخیره‌های راهبردی برای افزایش کمی و کیفی تولید به حساب می‌آید (بی‌نام، ۱۳۹۲). فناوری پرتودهی صنعتی با پرتوهای یونیزاسیون و پلاسما، سیستم‌های زیرساختی است که از مسیر آن می‌توان بخشی از مشکل صادرات میوه خشکباری و باغبانی کشور را که اکنون با چالش‌های فراوانی رو به رو است رفع کرد تا با کسب استانداردهای روز دنیا، فرصت‌های دوباره‌ای برای صنایعی چون میوه‌های صادراتی تازه خوری و خشکباری فراهم شود. بنابراین، توسعه شبکه مکان‌های پرتودهی اولویتی اساسی در کشور است و بازارهای هدف، فراورده‌هایی را می‌خرد که از سلامت زیادی برخوردار باشند و در این راستا حمایت و توسعه این سایت‌ها در اولویت قرار دارد. در همین راستا، سازمان انرژی اتمی ایران درباره مقدار نیاز کشور به این سیستم‌ها و برنامه‌های این سازمان در این مورد اعلام کرده است که ۱۲ سیستم متحرک پرتودهی گاما به عنوان مرکزهای پشتیبانی تا پایان سال ۱۴۰۲ در نقاط مختلف کشور نصب خواهد شد (سازمان انرژی اتمی، ۱۴۰۱). بنابراین، با توجه به گسترش زیرسازهای سایت‌های پرتوتابی در نقطه‌های مختلف کشور، قابل توجه خواهد بود که با استفاده از فناوری هسته‌ای می‌توان ارزش پس برداشتی محصول‌های باغبانی را حفظ کرد و صادرات و در نتیجه ارزآوری برای کشور را ارتقا بخشید.

### چالش‌ها و چشم انداز

تغییر اقلیم ایران در منطقه خاورمیانه شدیدتر از تغییر اقلیم دیگر کشورهاست. در میان کشورهای خاورمیانه، ایران در دهه‌های آینده با افزایش ۲/۶ درجه‌ی سلسیوس میانگین دما و کاهش ۳۵٪ در بارندگی‌ها رو به رو خواهد شد که پس از آن خطر کم‌آبی در دوره‌های آینده افزایش می‌یابد (Mansouri Daneshvar et al., 2019). در سال‌های اخیر تغییر اقلیم و بروز خشکسالی‌ها، اثرهای نامطلوب قابل توجهی بر تولید درختان میوه در ایران داشته است. پیش‌بینی می‌شود که در آینده تعداد چرخه‌ها، شدت و مدت زمان خشکسالی نیز افزایش یابد که این امر موجب کاهش بهره‌وری باغ‌ها و افزایش از بین رفتن درختان می‌شود. بنابراین، تنش خشکسالی محدودیت مهم محیطی است که مانع از رشد درختان می‌شود. افزون بر این، شاهد‌های بیشتری وجود دارد مبنی بر اینکه از بین رفتن گسترده درختان با افزایش دما و وقوع خشکسالی در چند دهه گذشته همراه بوده است (Allen et al., 2010).

برای نمونه، رقم انجیر سبز استهبان، با وجود ویژگی‌های شاخصی که دارد، تحمل آن در برابر تنش‌های محیطی (از جمله خشکی و شوری)، بیماری‌های ویروسی (از جمله ویروس موزائیک)، محصول‌دهی آن کم است و در مجموع سبب

شده تا محصول این رقم در مقایسه با مقدار محصول جهانی و دیگر رقم‌های انجیر خشک موجود در دیگر کشور بسیار کم باشد. این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا ۹۸٪ انجیرکاری استهبان به این رقم اختصاص دارد. از آنجا که باغ‌های انجیر دیم تنها از آب حاصل از بارش‌های جوی استفاده می‌کنند و آبیاری نمی‌شوند، کاهش مقدار بارندگی در سال‌های اخیر و در نتیجه کاهش مقدار رشد رویشی و زایشی آسیب‌های جدی بر این باغ‌ها وارد کرده است. یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که ۳۶٪ درختان باغ‌های انجیر استهبان در اثر تغییرهای دما و بارش در سال‌های اخیر، آسیب دیده‌اند. این مقدار از خسارت خشکسالی در این رقم بسیار قابل توجه است. افزون بر این، در چند سال اخیر به علت افزایش چشمگیر قیمت انجیر خشک و کاهش مقدار بارندگی و بروز خشکسالی‌های پیاپی در بیشتر نقطه‌های ایران، باغداران دیگر منطقه‌های کشور شروع به گسترش کشت انجیر رقم سبز کرده‌اند. در برخی منطقه‌ها نیز انجیر رقم سبز را جایگزین دیگر درختان می‌کنند. شوربختانه این رقم نسبت به دیگر رقم‌های تحمل‌زیادی به خشکی ندارد (ساجدی و همکاران، ۱۳۹۶: شیریانی و همکاران، ۱۳۹۱) و تنوع ژنتیکی برای این رقم در کشور گزارش نشده است. با توجه ارزش اقتصادی بسیار زیاد این رقم در بحث ارزآوری و صادرات غیر نفتی، متکی بودن اقتصاد چندین شهرستان از جمله: استهبان، نی ریز و داراب به این محصول و مهم‌تر از همه توجه به این موضوع که تنها رقم تجاری انجیر ایران رقم انجیر سبز می‌باشد. بنابراین ایجاد تنوع به کمک جهش به عنوان یکی از سریع‌ترین روش‌های اصلاحی برای تولید سایر همگروه‌های برتر این رقم در کشور ضروری است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بهنژادی به‌روشن جهش به‌صورت گسترده‌ای موجب ارتقای مقاومت رقم‌ها به تنش‌های زیوا و نازیوا و نیز بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای درختان میوه می‌شود.

مشکل شوری و کم آبی حاشیه منطقه‌های بیابانی از یک سو و خشکسالی‌های اخیر همراه با دشواری‌های عدیده از سوی دیگر موجب شده است که آخرین محصول قابل کشت در منطقه‌های بیابانی، پسته باشد. بنابراین اگر باغ‌های پسته از بین بروند هیچ محصول دیگری قابل کشت نیست و مرحله بعدی بیابان‌زایی در کشور موجب مهاجرت افراد و بیکاری خواهد شد. بنابراین، تلاش در جهت حفظ این محصول تنها با تکیه بر پژوهش‌های راهبردی امکان‌پذیر است. بررسی‌ها و شروع برنامه‌های بهنژادی به‌منظور گزینش رقم‌های جدید در راستای حفظ و گسترش کشت این محصول اقتصادی، می‌تواند بازده اقتصادی بسیار زیادی داشته باشد. بیش از ۷۰ رقم پسته در ایران شناسایی و جمع‌آوری شده است، اما کشت و کار پسته در کشور، به چند رقم با ارزش تجاری مانند: اکبری، اوحدی، احمدآقایی و کله قوچی محدود می‌شود. یکنواخت شدن ژنتیکی موجب آسیب‌پذیری شدید به درخت پسته در برابر تنش‌های محیطی و آفت‌ها و بیماری‌ها می‌شود و بیشتر کارهای بهنژادی در این محصول در زمینه شناسایی ذخیره‌های ژنتیکی موجود در پسته است.

گسترش روز افزون کشت پسته در دیگر منطقه‌های جهان و میانگین تولید زیادتر در واحد سطح در مقایسه با ایران، تهدید جدی برای صادرات این محصول در کشور خواهد بود. برای دستیابی به محصول زیاد، کیفیت مناسب محصول، مقاومت به تنش‌های زیوا و نازیوا هر محصول از راه بهنژادی، در مرحله اول نیازمند ارتقای ژنتیکی، ایجاد تنوع و گزینش بهترین نژادگان است. یکی از بزرگترین دشواری‌های پیش‌رو به‌منظور بهنژادی درختان میوه و به ویژه پسته، زمان‌بر بودن فرآیند بهنژادی (حدود ۱۵ تا ۲۵ سال) به‌علت طولانی بودن دوره نونهالی است. بنابراین، بهنژادی به روش سنتی بسیار طولانی است و هزینه بسیار زیادی دارد. یکی از موفق‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها برای بهنژادی درخت پسته از نظر سازگاری به شرایط نامساعد از جمله شوری و خشکی و نیز ویژگی‌های کمی، کیفی و دیگر ویژگی‌های مهم باغبانی استفاده از پرتوهای یونیزه کننده به‌منظور انگیزش جهش و ایجاد تنوع در رقم‌های تجاری پسته است.

مرکبات از محصول‌های مهم باغبانی به‌شمار می‌رود و از گذشته تولید مرکبات در منطقه‌های مختلف دنیا و میزان زیاد تولید آن موجب شده تا این محصول در جهان اهمیت اقتصادی زیادی داشته باشد، امروزه محصول مرکبات در تجارت جهانی دومین صنعت بزرگ میوه است. همزمان با روند صعودی کاشت و پرورش مرکبات در جهان، به‌هنگام نیز برای تولید رقم‌های و پایه‌های جدید تلاش‌های زیادی می‌کنند. ارزآوری تجاری مرکبات، پذیرای رقم‌های با ویژگی‌های ماندنی‌تری یا کم‌بذری، پوست نازکی، خوشرنگی پوست و گوشت، زیاد بودن نسبت قند به اسید، پرباری، آسانی پوست‌گیری و میوه درشت است. از این رو باید دامنه وسیعی از رقم‌های از نظر زمان رسیدن میوه‌ها از بسیار زودرس تا خیلی دیررس موجود باشد (گل‌عین، ۱۳۹۴). در میوه مرکبات تازه‌خوری و تنوع طلبی وجود دارد و در جهان نیز از طریق جهش به‌رقم‌های خوبی دست یافته‌اند. بنابراین با توجه به اهمیت صادرات و تقاضای بازارهای بین‌المللی و داخلی، استفاده از فناوری هسته‌ای از جمله جهش و ایزوتوپ‌های کربن به‌منظور اصلاح رقم‌های جدید و شناسایی پایه‌های متحمل به خشکی بسیار ارزشمند است.

امروزه به‌واسطه کاهش بارندگی‌ها و کم شدن دسترسی به آب آبیاری از یک طرف و محدود بودن زمین‌های مناسب برای کشت درختان میوه، توجه به کشت و کار در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی دارد. برای توسعه باغ‌ها در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، استفاده از رقم‌های مقاوم به خشکی با ارزش اقتصادی زیاد بهترین راهکار است. از ابتدای ۱۹۶۵، کشت انگور در منطقه‌های مختلف گرم دنیا سود فراوانی برای باغداران در پی داشته است و کشورهایی مانند برزیل، هند و تایلند در این امور پیشگام بوده‌اند. دیگر کشورها نیز در تمام قاره‌ها به‌دلیل سود سرشاری که از این نوع کشت به دست می‌آید تمایل زیادی برای کشت انگور در منطقه‌های گرم دارند که از جمله این کشورها می‌توان به کلمبیا، پرو، بولیوی، ماداگاسکار، نامیبیا، تانزانیا، ویتنام، چین، برزیل و ونزوئلا اشاره کرد. برای نمونه، انگور یاقوتی از رقم‌های مهم بومی و اقتصادی کشور است که بیشتر در منطقه‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری کشور کشت و کار می‌گردد و سازگاری زیادی با شرایط تنش گرمایی و تنش خشکی دارد. مهم‌تر از همه اینکه انگور یاقوتی اولین رقم انگوری است که هر سال به بازار عرضه می‌گردد، بنابراین ارزش اقتصادی زیادی برای باغداران دارد و به عنوان رقم غالب باغبانی در بیشتر منطقه‌های گرم و خشک کشور از جمله، فارس، سیستان بلوچستان و کرمانشاه کشت و کار می‌گردد. متراکم و ریز بودن حبه‌های آن، که در مورد انگورهای تازه‌خوری یکی از ویژگی‌های نامطلوب است و موجب شده که از این رقم فقط به‌عنوان یک میوه نوبرانه استفاده شود و قدرت رقابت با دیگر رقم‌های انگور را نداشته باشد و از صادرات آن استقبال نشود. به علت ماهیت بی‌بذری و سقط جنین در رقم یاقوتی که در پژوهش‌های مختلف بیان شده است (Shiri et al., 2020) استفاده از این رقم را در روش دورگه‌گیری با دیگر رقم‌ها مشکل کرده‌است. بنابراین، با توجه به گزارش‌های موفقیت آمیز به‌هنگامی انگور به روش جهش در دیگر کشورها، موفق‌ترین و سریع‌ترین روش به‌هنگامی این رقم از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی و دیگر ویژگی‌های مهم باغبانی، استفاده از پرتوهای یونیزه کننده از جمله گاما به‌منظور انگیزش جهش و ایجاد تنوع همسانه‌ای است.

از آنجایی که انار به عنوان یک میوه مهم اقتصادی شناخته شده و صادر می‌شود، به‌هنگامی باید معیارهای بازارهای بین‌المللی را رعایت کنند به عنوان مثال ویژگی نرم بودن هسته ویژگی مطلوب اقتصادی است که موجب بهبود کیفیت مصرفی میوه انار می‌شود، اما در پژوهش‌های اخیر روی رقم‌های نرم‌هسته مشخص کرده است که ویژگی نرم دانگی بیشتر در رقم‌ها با منشأ گرمسیری دیده می‌شود که این موضوع در بررسی‌های دیگر نیز به اثبات رسید که رقم‌های نرم‌دانه با دیگر ویژگی‌های نامطلوب مانند عمر پس برداشتی پایین و حساسیت به سرمای زمستانه همبستگی دارد (قاسمی سلوکلونی، ۱۳۹۶). در اصلاح رقم‌های انار، رقم‌های نرم‌دانه‌ای که قابلیت گسترش کشت در دیگر منطقه‌های کشور و دارای

بازار پسندی در دیگر کشورهای وارد کننده باشند بسیار ارزشمند است. استفاده از فناوری‌های هسته‌ای از جمله پرتو گاما می‌تواند راه حلی سریع و قابل اعتماد برای این هدف به‌نژادی در انار باشد.

درختان میوه در سیستم‌های تولید فراورده‌های باغبانی نیازمند مدیریت منحصر به فرد و شیوه‌های نوین باغداری هستند تا به بیشینه بهره‌وری و کارایی خود برسند. کنترل اندازه درخت برای بهینه‌سازی بهره‌وری و برای محدود کردن نیروی کار و نهاده‌های مورد نیاز برای مدیریت باغ بسیار مهم است. در گذشته، از عامل‌های تنظیم کننده رشد برای کنترل رشد رویشی درختان استفاده می‌گردید که این شیوه‌ها از نظر مواد، زمان و کار پرهزینه است، اما در حال حاضر، بسیاری از پرورش‌دهندگان میوه و نهالستان‌ها از پایه‌های پاکوتاه برای کنترل اندازه درخت استفاده می‌کنند. بنابراین، تلاش‌های به‌نژادی با بهره‌گیری از ژرم پلاسما پاکوتاه طبیعی برای کاهش اندازه درخت برای تعدادی از درختان میوه گزارش شده است. اما در برخی درختان میوه ماده ژنتیکی پاکوتاهی در بین مواد گیاهی موجود یافت نمی‌شود و حتی در صورت پیدا کردن نژادگان مورد نظر سازگاری آن و برهمکنش‌های آن با پیوندک رقم اصلی، قابلیت تجاری سازی را کاهش می‌دهد. بنابراین، دستکاری ژنتیکی در اندازه درخت از راه به‌نژادی با استفاده از روش‌های نوین به‌نژادی از جمله پرتوهای یونیزه کننده به عنوان یک رویکرد امیدبخش بااهمیت است. پایه‌های تجاری بسیار ارزشمندی با استفاده از این روش در درختان گیلاس و آلبالو معرفی شده‌اند. بنابراین، با توجه به موفقیت این روش در دیگر کشورهای دنیا، می‌توان از این روش برای معرفی پایه‌های پاکوتاه یا رقم‌هایی از درختان میوه مانند زردآلو، گردو، خرمالو، گیلاس و آلبالو استفاده کرد (IAEA, 2021).

در بررسی منابع مشخص شده است که تعیین رابطه تبعیض ایزوتوپ‌های کربن به‌عنوان شاخص کارایی مصرف آب در درختان میوه به‌عنوان یک روش موثر در شناسایی رقم‌ها و نژادگان‌های مقاوم امکان‌پذیر است. امروزه بهره‌گیری از ردیاب‌های رادیو ایزوتوپی، روش با ارزش و قابل اعتمادی برای افزایش کارایی مصرف آب به‌شمار می‌روند. بنابراین، استفاده از اختلاف مقدار ایزوتوپ‌های کربن سنگین و کربن عادی می‌تواند ابزاری بسیار مناسب برای غربال کردن و ارزیابی شمار زیادی از نمونه‌های گیاهی به‌منظور گزینش گونه‌های مقاوم به خشکی باشد. برای نمونه، وجود تنوع زیاد رقم‌های درختان میوه بومی کشور از جمله انار (۷۰۰ رقم موجود)، انگور، پسته، بادام و نژادگان‌های فراوان گردو می‌تواند از روش تبعیض ایزوتوپی با سرعت بیشتری این رقم‌ها را از نظر شاخص کارایی مصرف آب به‌منظور گزینش رقم‌های مقاوم به خشکی و پایه‌های مقاوم به خشکی استفاده کرد.

آفت از عامل‌های مهم خسارت‌زا در باغ‌های کشور است و در حال حاضر مهم‌ترین روش حفظ محصول‌های کشاورزی، روش مدیریت شیمیایی است که به‌دلیل پیامدهای ویژه زیست محیطی، هزینه زیاد سم‌های اثر بخش در بازار و نیز در مورد تعدادی از آفت‌ها به‌دلیل شرایط ویژه زیستی، حتی روش‌های شیمیایی هم نمی‌تواند کارساز باشد. در چند سال اخیر روش‌های مختلف برای کاهش مقدار مصرف سم‌ها موردنظر قرار گرفته است. استفاده از روش نابارورسازی حشره‌ها در دنیا یکی از روش‌های مدیریت آفت‌های مختلف در باغ‌های درختان میوه است.

## نتیجه‌گیری کلی

قیمت مواد غذایی در در زمینه کاربردهای صلح آمیز فناوری هسته‌ای و نیز تاکید بر تامین نیازهای کشور به صورت داخلی و وابسته‌نبودن به دیگر کشورها، می‌تواند از این فناوری حال حاضر در سراسر جهان افزایش یافته‌است و کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به دلیل افزایش قیمت مواد غذایی و سوخت با بحران اقتصادی رو به رو هستند. با این حال،

هیچ فرمول جادویی کوتاه مدتی برای حل مشکل غذا در جهان وجود ندارد. بنابراین، بهنژادی با فناوری‌های هسته‌ای و با کمک علوم زیست فناوری، مهندسی ژنتیک یا اصلاح مولکولی با استفاده از منابع ژنتیکی بومی می‌توانند برای توسعه رقم‌های جدید در راستای تغییر اقلیم مورد استفاده واقع شوند تا رقم‌های اصلاحی هدفمندی معرفی شوند. افزون بر این، نتیجه به دست آمده از پژوهش‌ها نشان می‌دهد فناوری‌های صلح آمیز هسته‌ای و ایزوتوپی ابزاری با ارزش و قابل اعتماد برای غرابال کردن و ارزیابی شمار زیادی از رقم‌های درختان میوه به منظور گزینش رقم‌های یا پایه‌های متحمل به خشکی است. نتیجه موفقیت‌های به دست آمده از پژوهش‌های مختلف بیانگر توان قابل توجه روش نابارورسازی حشره‌ها به کمک فناوری نوین هسته‌ای در کاهش جمعیت آفت‌های باغ‌های میوه و به تبع آن کاهش خسارت در سطح اقتصادی است. بنابراین، با توجه به توانمندی‌های کشور به منظور بهنژادی، گزینش، کنترل آفت‌ها و حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی درختان میوه در کشور بهره‌مند شد. گفتنی است که بهره‌گیری از فناوری نوین هسته‌ای برای بهنژادی گیاهان در راستای تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین یکی از شاخص‌های جهانی پیشرفت در کشاورزی است.

### منابع

- آقاجانزاده، سیروس؛ عبادی، هرمز. (۱۳۹۰). *سند راهبردی توسعه تحقیقات مرکبات ایران*. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج و آموزش. نشر آموزش کشاورزی ۲۳۸ صفحه.
- بی‌نام. (۱۳۸۷). *نتایج طرح آمارگیری محصولات باغی*. وزارت جهاد کشاورزی (معاونت امور برنامه ریزی و اقتصادی دفتر آمار و فناوری اطلاعات).
- بی‌نام. (۱۳۹۲). *ابلاغ سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی*. از <https://farsi.khamenei.ir/news-content?id=25370>
- بی‌نام. (۱۳۹۵). *قانون برنامه پنجساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۰-۱۳۹۶)* مصوب ۱۴، ۱۲، ۱۳۹۵ با اصلاحات و الحاقات بعدی.
- جواهریان، فریار. (۱۳۸۳). *کهن‌الگوی گمشده، باغ ایرانی حکمت هنر منظر جدید*. تهران: موزه هنرهای معاصر.
- حکم‌آبادی، حسین؛ ارزانی، کاظم؛ گریسون، پائولین. (۱۳۸۴). *اثرات تنش شوری بر روی شاخص‌های رشد و تبعیض ایزوتوپ کربن در ۳ پایه پسته*. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲ (۲)، ۵۴-۴۴.
- رحیمی، مسعود؛ مجد، فرامرز؛ جهانگیر زاده، ابراهیم؛ ودادی، سیروس؛ رحمانی، اسفندیار؛ نشان، نرگس. (۱۳۸۵). *القاء موتاسیون در نارنگی به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی در جهت تولید موتانت‌هایی با صفات کیفی برتر (با استفاده از پرتوهای گاما)*. *مجله علوم و فنون هسته‌ای*، ۲۰(۲).
- رزمی، هلن؛ امیری فهلیانی، رضا؛ کاوسی، بیژن؛ معصومی اصل؛ اسد. (۱۳۹۸). *القا جهش و ایجاد تنوع در توت فرنگی رقم کردستان با پرتودهی گاما و تعیین دُز مناسب پرتودهی*. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۱۰(۲)، ۴۱-۲۵.
- ساجدی محسن، محمود اثنی عشری، مسلم جعفری و الهام اصل مشتاقی. (۱۳۹۶). *ویژگی‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی چهار رقم انجیر خوراکی و دو رقم برانجیر در پاسخ به تنش خشکی*. *تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)*، ۴۰(۳)، ۱۰۱-۱۱۲.
- سازمان انرژی اتمی. (۱۴۰۱). *نصب ۱۲ سیستم پرتابیل گاما در مناطق لجستیک کشور*. از <https://aeoi.org.ir/?news/48466/318363/336152>



سوف‌باف، محمود؛ صالحی خشک‌رودی، بهاره؛ کلانتریان، نادیا؛ زنگنه، علی حسین؛ بابایی، محمد؛ فتح‌اللهی، هادی؛ اهری مصطفوی، حسین؛ منصوری فرد، محمد علی؛ بغداد، سید ابوالفضل؛ میروکیلی، سید جمال؛ زارع بیدکی، رضا؛ طلائی، حبیب‌الله؛ میرعقدا، سید احمد. (۱۳۹۶). کنترل کرم گلوگاه انار (*Ectomyelois ceratoniae* (Zeller)(Lep.: *Pyralidae*) با استفاده از روش نابارورسازی حشرات در استان یزد. *نامه انجمن حشره‌شناسی ایران*، ۳۷:۵۵-۶۵. شاکری، منصور. (۱۳۸۷). *اصول فنی مدیریت باغات انار*، شماره یک. انتشارات مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی ۱۲۰ صفحه.

شیربانی، سمیه؛ داوری‌نژاد، غلامرضا؛ شور، محمود. (۱۳۹۱). بررسی خصوصیات روزنه‌ای نجیر خوراکی تحت شرایط تنش خشکی. *مجله علوم باغبانی* ۴۳(۳)، ۱۲۵-۱۳۳. قاسمی سلوکوئی، علی اکبر. (۱۳۹۶). قابلیت‌های به‌نژادی بیست رقم انار ایرانی با تاکید بر ژنتیک مقاومت به سرما، کمیت و کیفیت میوه. پایان‌نامه منتشر شده دکتری تخصصی. دانشگاه شیراز. دانشکده کشاورزی. گل‌عین، بهروز. (۱۳۹۴). خرم، رقم جدید نارنگی برای مناطق مرکبات خیز شمال کشور. نهمین کنگره علوم باغبانی ۵ تا ۸ بهمن اهواز.

گور چینی، هوشنگ؛ نعمت‌زاده، قربانعلی؛ مجد، فرامرز؛ رحیمی، مسعود. (۱۳۸۴). تعیین دز مناسب پرتوهای گاما برای ایجاد موتاسیون در ریز نمونه‌های موز. *مجله علوم و فنون هسته‌ای*، ۲۵(۳)، ۱۵-۲۰. لطیفیان، مسعود. (۱۳۸۷). تحلیلی بر وضعیت مصرف متیل بروماید و جایگزین‌های آن در صنعت خرما (گذشته، حال و آینده). *کنفرانس ملی خرما، چالش‌ها و پتانسیل‌های تولید و صادرات خرما در ایران*. محمدی، عقیل. (۱۳۹۹). رویکرد کلی به آیین عدم‌پایبندی در موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی چندجانبه (با اشاره به پروتکل مونترال راجع به مواد کاهنده لایه اوزن). *مجله حقوقی بین‌المللی*، ۶۲، ۲۷۷-۳۰۶. میر مجیدی هشتجین، عادل؛ فامیل مؤمن، رضا؛ گودرزی، فرزاد. (۱۳۹۳). کاهش ضایعات محصولات کشاورزی راهبرد اصلی در ارتقاء امنیت غذایی. *موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی*.

ودادی، سیروس؛ ناصریان، بهنام؛ طباطبایی، سید ضیاءالدین؛ رحیمی، مسعود. (۱۳۹۳). تعیین دز مناسب پرتو گاما برای ایجاد جهش در جوانه‌های انار (رقم ملس ساوه). *مجله علوم و فنون هسته‌ای*، ۳۵(۳)، ۸۲-۸۵.

Abdulhafiz, F., Kayat, F., & Zakaria, S. (2018). Effect of gamma irradiation on the morphological and physiological variation from In vitro individual shoot of banana cv. Tanduk (*Musa spp.*). *Journal of Plant Biotechnology*, 45(2), 140-145.

Ahmadi, M., Osouli, S., Abd- Alla, A. M. M., & Kalantarian, N. (2021). Assessment of mating competitiveness of sterile *Ceratitis capitata* in laboratory and field cage tests in northern Iran. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 169(6), 550-562.

Al-Izzi, M. A., Al-Maliky, S. K., & Khalaf, M. Z. (1993). Effects of gamma irradiation on inherited sterility of pomegranate fruit moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller. *International Journal of Tropical Insect Science*, 14(5-6), 675-679.

Arab, M. M., Marrano, A., Abdollahi-Arpanahi, R., Leslie, C. A., Cheng, H., Neale, D. B., & Vahdati, K. (2020). Combining phenotype, genotype, and environment to uncover genetic components underlying water use efficiency in Persian walnut. *Journal of Experimental Botany*, 71(3), 1107-1127.

Arndt, S. K., Wanek, W., Clifford, S. C., & Popp, M. (2000). Contrasting adaptations to drought stress in field-grown *Ziziphus mauritiana* and *Prunus persica* trees: water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition. *Functional Plant Biology*, 27(11), 985-996.

Cruz, T. (2008). *The role of mutation breeding on plant improvement in Mexico* (No. IAEA-CN--167).

- de Souza, C. R., Maroco, J. P., dos Santos, T. P., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2005). Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ( $\delta^{13}C$ ) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, 56(418), 2163-2172.
- Dhouibi, M. H., & Abderahmane, C. T. (2002). The effect of substerilizing doses of gamma radiation on the pupae of the carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *IAEA.XA0201539*.
- Ehrenberg, L. & Granhall, I. (1952). Effects of beta- radiating isotopes in fruit trees. *Hereditas*, 38 (4), 385-419.
- Farquhar, G. D., & Richards, R. A. (1984). Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Functional Plant Biology*, 11(6), 539-552.
- Ghasemi-Soloklui, A. A., Kordrostami, M., & Karimi, R. (2023). Determination of optimum dose based of biological responses of lethal dose (LD<sub>25, 50, 75</sub>) and growth reduction (GR<sub>25, 50, 75</sub>) in 'Yaghouti' grape due to gamma radiation. *Scientific Reports*, 13(1), 2713.
- Glenn, D. M., & Bassett, C. (2011). Apple  $\Delta^{13}C$  discrimination is related to shoot ash content. *HortScience*, 46(2):213-216.
- Hathaway, D. O. (1966). Laboratory and field cage studies of the effects of gamma radiation on codling moths. *Journal of Economic Entomology*, 59(1), 35-37.
- IAEA. (2009). Induced Mutation in Tropical Fruit Trees. *IAEA. TECDOC-1615*.
- IAEA. (2021). Mutant Variety Database. Retrieved from <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd> .
- Jain, S. M. (2010). Mutagenesis in crop improvement under the climate change. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(2), 88-106.
- Katiyar, K. P., & Ramirez, E. (1970). Mating frequency and fertility of Mediterranean fruit fly females alternately mated with normal and irradiated males. *Journal of Economic Entomology*, 63(4), 1247-1250.
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the Total Environment*, 438, 477-489.
- Kumarasinghe, K. S., Kirda, C., Bowen, G. D., Zapata, F., Awonaike, K. O., Holmgren, E., & Montenegro, A. (1996). Carbon isotope discrimination as a selection tool for high water use efficiency and high crop yields. *IAEA. XA9642771*.
- Lamo, K., Bhat, D. J., Kour, K., & Solanki, S. P. S. (2017). Mutation studies in fruit crops: a review. *International Journal of Current Microbiol Applied Science*, 6(12), 3620-3633.
- Lindquist, A. W. (1955). The use of gamma radiation for control or eradication of the screw-worm. *Journal of Economic Entomology*, 48(4), 467-469.
- Pascual, M., Lordan, J., Villar, J. M., Fonseca, F., & Rufat, J. (2013). Stable carbon and nitrogen isotope ratios as indicators of water status and nitrogen effects on peach trees. *Scientia Horticulturae*, 157, 99-107.
- Proverbs, M., Newton J., & Campbell, C. (1982). Codling moth: a pilot program of control b y sterile insect release in British Columbia. *The Canadian Entomologist*, 114(4), 363-376.
- Qaiser, H., Siddiqi, S. A., & Naeem, N. (2017). Effectiveness of Gamma Radiation Technology For Abating Postharvest Losses Of Banana (*Musa sapientum*) By Targeting The Residential Microflora. *Lahore Garrison University Journal of Life Sciences*, 1(1), 41-60.
- Rodrigues, M. G. F., Corrêa, L. D. S., Santos, P. C. D., & Tulmann Neto, A. (2012). Fig clones selection of cv. roxo de Valinhos obtained by irradiated buds. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34, 604-611.
- Sadat Hosseini Grouh, M., Vahdati, K., Lotfi, M., Hassani, D., & Biranvand, N. P. (2011). Production of haploids in Persian walnut through parthenogenesis induced by gamma-irradiated pollen. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(3), 198-204.
- Sanada, T., & Amano, E. (1998). Induced mutation in fruit trees. *Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement*, 401-419.
- Sattar, M. N., Iqbal, Z., Al-Khayri, J. M., & Jain, S. M. (2021). Induced genetic variations in fruit trees using new breeding tools: Food security and climate resilience. *Plants*, 10(7), 1347.
- Shiri, Y., Solouki, M., Ebrahimie, E., Emamjomeh, A., & Zahiri, J. (2020). Gibberellin causes wide transcriptional modifications in the early stage of grape cluster development. *Genomics*, 112(1), 820-830.

- SILVA, S. R. D., BezeRRA, D. N. F., Bassan, M. M., Cantuarias-Aviles, T., & Arthur, V. (2016). Postharvest of irradiated Tahiti lime fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(4), 272-281.
- Soufbaf, M., Zolfaghari, H., Babaei, M., Fathollahi, H., Kalantarian, N., Salehi, B., Tabatabaei S., & Yousefi, M. (2015). Evaluation of sterile insect technique using nuclear technology against carob moth. 4th *National Conference of Nuclear Technology Application in Agricultural and Natural Resources Sciences*. 19-20 May 2015. Karaj.
- Surakshitha, N. C., & Soorianathasundaram, K. (2017). Determination of mutagenic sensitivity of hardwood cuttings of grapes 'Red Globe' and 'Muscat' (*Vitis vinifera* L.) to gamma rays. *Scientia Horticulturae*, 226, 152-156.
- Theiler-Hedtrich, R. (1989, May). Induction of dwarf F-12/1 cherry rootstocks by in vitro mutagenesis. In *I International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding*, 280 (pp. 367-374).
- Villaseñor, A., Carrillo, J., Zavala, J., Stewart, J., Lira, C., & Reyes, J. (2000). Current progress in the medfly program Mexico-Guatemala. In *Area-wide control of fruit flies and other insect pests. Joint proceedings of the international conference on area-wide control of insect pests, 28 May-2 June, 1998 and the Fifth International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance, Penang, Malaysia, 1-5 June, 1998* (pp. 361-368). Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Zamani, G. H., Gorgievski-Duijvesteijn, M. J., & Zarafshani, K. (2006). Coping with drought: Towards a multilevel understanding based on conservation of resources theory. *Human Ecology*, 34, 677-692.

## Challenges of Iran's Fruit Industry and their Improvement Using Nuclear Technology

Ghasemi-Soloklui, A.A., Kordrostami, M., Eshghi, S.<sup>1</sup>  
and Vahdati, K.<sup>2</sup>

In line with the implementation of policies to increase the production and growth of non-petroleum exports, tree fruit production can be developed as substitute due to their wide potential and public acceptance. In order to produce high quality fruit and high yield in the orchards, it is necessary to modify the old orchards, establish new orchards with superior cultivars, and use new horticultural technologies. Most of the breeding strategies are based on genetic diversity, selection, evaluation and hybridization. Induction of mutation using nuclear methods, including ionizing radiation, along with other traditional methods, can be used as an effective and quick solution to solve many horticultural problems. Considering the capabilities of the country in the field of peaceful applications of nuclear technology, as well as the emphasis on providing the country's needs, the use of modern nuclear technologies is necessary. This can cause the scientific, practical and technological development of the country in the field of fruit tree breeding, pests control, increasing the storage life of fruits, and as a result, increasing the export of horticultural products. Using nuclear techniques can be effective to reduce the difficulties of this industry. Also, the use of nuclear technologies in the direction of plant breeding in line with climate change and global warming is one of the indicators of progress in the field of agriculture in the world. This article has an overview of the challenges of Iran's fruit growing industry and suggests solutions to address these challenges using nuclear technology.

**Keywords:** Fruit trees, Ionizing radiation, Mutation, Postharvest protection.

---

1. Corresponding authors, Email: eshghi@shirazu.ac.ir and kvahdati@ut.ac.ir

2. Assistant Professors of Nuclear Agriculture Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization, Invited member of I.R. Academy of Sciences and Professor of Shiraz University and Associate member of I.R. Academy of Sciences and Professor of University of Tehran, respectively.