



کتابچه مقالات

۳۱ امین کنفرانس هسته ای ایران

” در این کتابچه، مقالات منتخب ارائه شده در ۳۱ امین کنفرانس ملی هسته ای ایران که از ۲۳ تا ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ در مشهد برگزار شد، خواهید یافت. امیدواریم آن را مفید و لذت بخش بیابید! “

مقالات حوزه:

کاربرد پرتوها در غذا، دامپروری و کشاورزی



پژوهشگاه علوم و فنون
هسته ای ایران

سازمان انرژی اتمی ایران

انجمن هسته ای ایران

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پژوهشگران گرامی، اساتید ارجمند و همکاران محترم،

مایه افتخار و مسرت بنده است که به عنوان رئیس سی و یکمین کنفرانس ملی علوم و فنون هسته‌ای ایران، خیرمقدم گرم و صمیمانه خود را تقدیم شما عزیزان می‌نمایم. در ادامه موفقیت چشمگیر دوره‌های پیشین این کنفرانس، امسال نیز شاهد گردهمایی استثنایی و پربار دانشجویان، پژوهشگران و اندیشمندان برجسته از دانشگاه‌های کشور، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران و کارشناسان صنعت هستیم. کنفرانس امسال، با توجه به بازخوردهای ارزشمند دوره‌های قبل و نیازهای روز جامعه علمی و صنعتی، با رویکردی جامع‌تر و کاربردی‌تر برگزار می‌شود. محورهای متنوع کنفرانس شامل تکنولوژی و ایمنی راکتورهای هسته‌ای، چرخه سوخت، مواد و پسماند هسته‌ای، غنی سازی و تولید ایزوتوپ پایدار، پرتوپزشکی و پزشکی هسته‌ای، کاربرد پرتوها در صنعت، کاربرد پرتوها در غذا، دامپروری و کشاورزی، شتابدهنده و دستگاه‌های مولد پرتو، آشکارسازی و دزیمتری، فیزیک و فناوری پلاسما و گداخت هسته‌ای، فیزیک هسته‌ای، فناوری کوانتومی، مطالعات راهبردی و نرم می‌باشد. با افتخار اعلام می‌کنم که امسال بیش از ۳۷۰ مقاله کامل پذیرفته شده برای ارائه در این کنفرانس خواهیم داشت که از میان ۷۳ ارائه به صورت شفاهی و ۳۰ ارائه به صورت پوستر خواهند بود. همچنین با توجه به استقبال گسترده سال‌های گذشته، حدود ۳۰ نشست تخصصی و نیز نمایشگاه جانبی با رویکردی کاربردی‌تر و متنوع‌تر برگزار خواهند شد. پیش‌بینی می‌شود با احتساب فعالیت‌های جانبی، در حدود ۱۰۰۰ پژوهشگر در این رویداد علمی-فرهنگی در شهر مقدس مشهد حضور یابند. یکی از اهداف اصلی کنفرانس امسال، ایجاد پل ارتباطی مؤثرتر میان دانشگاه و صنعت است. ما معتقدیم دستاوردهای علمی زمانی ارزشمندتر خواهند بود که در مسیر حل مسائل واقعی جامعه و صنعت به کار گرفته شوند. از این رو، بخش ویژه‌ای به ارائه فرصت‌های همکاری میان پژوهشگران و صنایع اختصاص یافته است. در پایان، برای تمامی شرکت‌کنندگان، تجربه‌ای سرشار از دستاوردهای علمی، آموزنده و تحول‌آفرین را آرزومندم و امیدوارم این کنفرانس بتواند در ایجاد مسیری هموارتر برای گسترش کاربردهای یافته‌های علمی در صنعت و زندگی روزمره فراهم سازد.

با احترام،

دکتر جواد کریمی ثابت

رئیس سی و یکمین کنفرانس ملی علوم و فنون هسته‌ای ایران



برگزار کنندگان:



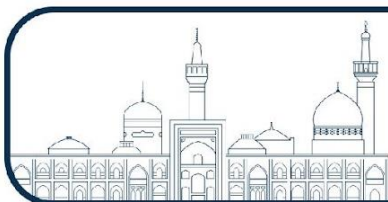
انجمن هسته‌ای ایران



سازمان انرژی اتمی ایران



پرو، شگاه علوم و فنون هسته‌ای



حمایت کنندگان:



Sharif University
of Technology

دانشگاه صنعتی شریف



Amirkabir University
of Technology

دانشگاه صنعتی امیرکبیر



Shahid Beheshti
University

دانشگاه شهید بهشتی



FERDOWSI UNIVERSITY
OF MASHHAD

دانشگاه فردوسی مشهد



K. N. Toosi University
of Technology

دانشگاه خواجه نصیر
الدین طوسی



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

دانشگاه تحصیلات تکمیلی
کرمان



Isfahan University

دانشگاه اصفهان



Shiraz University

دانشگاه شیراز



شرکت مصباح انرژی
(سهامی خاص)

شرکت مصباح انرژی



Iran Atomic Energy Production and Development Co.

تولید مواد اولیه و سوخت
هسته‌ای ایران

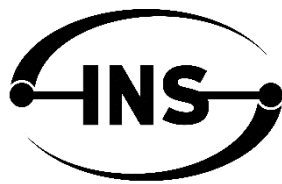


Energy Industry
Development Engineering Co.

شرکت مهندسی و توسعه
صنایع انرژی نوین



شرکت فناوری‌های
پیشرفته ایران



مرکز ملی نظام کیفیت و استاندارد اتمی ایران

مرکز ملی نظام کیفیت و
استانداردسازی اتمی ایران



مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور

مرکز نظام ایمنی هسته‌ای
کشور



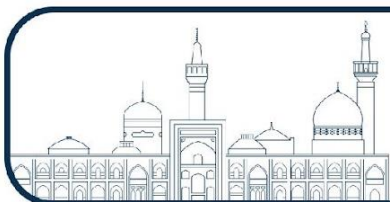
Radiation Application
Development Co.

شرکت توسعه کاربرد پرتوها



فهرست مقالات

- پرتودهی یون‌ساز روش نوین فراوری در حذف/کاهش آلرژن‌های مواد غذایی (کد مقاله : ۱۰۴۴)..... ۷
- ارزیابی کارایی تیمار با باریکه- الکترون بر کنترل بار میکروبی و حفظ خواص کیفی زعفران (کد مقاله : ۱۰۴۶)..... ۱۷
- بررسی اثر پلاسمای سرد اتمسفری در جوانه-زنی و رشد ساقه-چه و ریشه-چه بذر سویا (کد مقاله : ۱۰۴۸)..... ۲۴
- اثرات مهارکنندگی زهر زنبور عسل فراوری شده با پرتو گاما بر رشد و بقای رده سلولی سرطان پستان (کد مقاله : ۱۱۰۱)..... ۳۲
- ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه لاین‌های پیشرفته موتانت برنج خزر (کد مقاله : ۱۱۰۷)..... ۳۷
- ارزیابی اثربخشی پرتوهای یونیزان گاما و بتا در کاهش باکتری *Salmonella* موجود در پساب فاضلاب شهری با استفاده از کد شبیه سازی Geant4-DNA (کد مقاله : ۱۲۲۴)..... ۴۶
- تعیین مناسب‌ترین فاصله کاشت و مقدار مصرف کود نیتروژن برای رقم برنج موتانت هستی (کد مقاله : ۱۲۲۹)..... ۵۲
- یکپارچه سازی ANN, PIGE و MCNPX از تشخیص دقیق میکروپلاستیک ها تا استانداردسازی جهانی پایش آلاینده های پلاستیکی (کد مقاله : ۱۲۵۱)..... ۶۱
- الزامات ایمنی پرتوی و ضوابط واحد قانونی سامانه-های پرتودهی گاما با تاکید بر ارزیابی انطباق با استاندارد ایمنی پرتوی تابش-دهنده خودحفاظ گاما ساخت داخل (کد مقاله : ۱۲۸۷)..... ۶۸
- بررسی پرتودهی پسته خشک با پرتوهای الکترونی ۱۰ MeV به منظور کاهش آلودگی قارچی و افزایش طول مدت انبار مانی (کد مقاله : ۱۲۸۸)..... ۷۷
- ارزیابی فاصله نشاکاری و مقادیر کود نیتروژن بر خصوصیات زراعی لاین موتانت برنج (کد مقاله : ۱۳۱۵)..... ۸۴
- بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی توت‌فرنگی پس از تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری (کد مقاله : ۱۳۳۷)..... ۹۲
- تاثیر پرتوتابی گاما بر خواص فیزیکوشیمیایی دانه های کنجد رقم اولتان با پوست و پوست کنده (کد مقاله : ۱۳۴۴)..... ۱۰۱
- مینیاتور، پاکوتاه‌ترین برنج ایران حاصل از پرتوتابی اشعه گاما (کد مقاله : ۱۳۶۵)..... ۱۰۹
- پرتودهی به‌وسیله‌ی بیم الکترون به منظور افزایش ماندگاری پسته‌ی تر و حفظ کیفیت ظاهری پوسته‌ی آن (کد مقاله : ۱۳۶۶)..... ۱۱۵
- کاهش شمارش کل میکروبی آب انار با پرتودهی به وسیله‌ی بیم الکترونی به منظور کاهش هزینه نگهداری (کد مقاله : ۱۴۰۱)..... ۱۲۲
- ارزیابی تاثیر پرتو الکترونی بر خواص گندم به منظور حذف آفات با استفاده از روش تحلیل آنالیز واریانس (کد مقاله : ۱۴۳۱)..... ۱۲۹
- تاثیر بازدارنده اوره‌آز و کاربرد کود زیستی بر انتشار گاز گلخانه‌ای O_2N مشتق شده از کود با استفاده از تکنیک ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ (کد مقاله : ۱۵۶۰)..... ۱۳۸
- تعیین دز بهینه اشعه گاما در بذور برخی ژنوتیپ های انتخابی محلب (کد مقاله : ۱۵۶۹)..... ۱۴۴



پرتودهی یون‌ساز روش نوین فرآوری در حذف/کاهش آلرژن‌های مواد غذایی (کد مقاله : ۱۰۴۴)

برنجی اردستانی، سمیرا^{۱*}

۱. سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

آلرژن‌های غذایی با امکان ایجاد واکنش‌های آلرژی‌زایی شدید، نگرانی برای سلامت عمومی هستند. پرتودهی روش فرآوری امیدوارکننده برای کاهش خطرات آلرژی‌زایی است. این مقاله کلیاتی از اثرات پرتودهی بر آلرژن‌های غذایی، مکانیسم اثر، کارایی، کاربردهای بالقوه آن در مدیریت ایمنی مواد غذایی و چشم‌اندازهای آتی در این زمینه را ارائه می‌کند. مکانیسم‌های اثر بالقوه پرتودهی بر کاهش آلرژی‌زایی غذایی، عمدتاً شامل دناتوراسیون پروتئین‌ها و تغییرات در اپی‌توپ‌های پروتئینی است که می‌تواند بر تشخیص آنتی‌بادی تأثیر بگذارد. درک مکانیسم‌ها و نتایج دقیق کاهش پرتویی آلرژن‌های غذایی، نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. **کلمات کلیدی:** پرتودهی مواد غذایی، آلرژن‌ها، ایمنی غذا، دناتوراسیون پروتئین، کاهش آلرژی‌زایی

Ionizing irradiation is a new processing method to eliminate/reduce food allergens

Berenji Ardestani, Samira^{1*}

۱. Atomic Energy Organization of Iran, Nuclear Science and Technology Research Institute, Radiation Applications Research School

Abstract:

Food allergens are a public health concern with the potential to cause severe allergic reactions. Irradiation is a promising processing method to reduce allergenic risks. This article provides an overview of the effects of irradiation on food allergens, its mechanism of action, efficiency, potential applications in food safety management, and future perspectives in this field. The mechanisms of the likely effect of radiation on the reduction of food allergenicity mainly include the denaturation of proteins and changes in protein epitopes that can affect antibody recognition. Understanding the exact mechanisms and results of radiation reduction of food allergens requires further research.

Key words: Food irradiation, allergens, food safety, protein denaturation, allergenicity reduction.



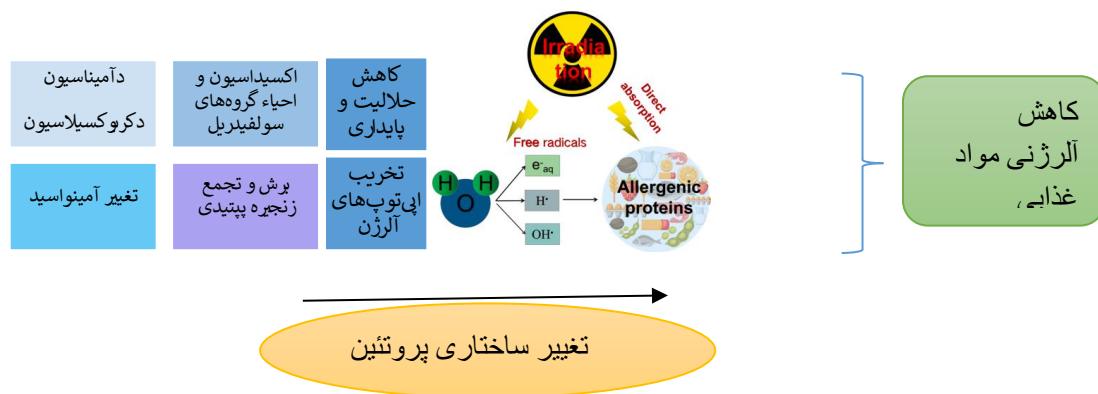
۱ - مقدمه:

آلرژی غذایی به پاسخ غیرطبیعی سیستم ایمنی بافت، اندام یا حتی کل بدن به برخی مواد غذایی یا افزودنی‌های غذایی اشاره دارد [۱]. در حال حاضر ۱۰ درصد از جمعیت جهان از آلرژی غذایی رنج می‌برند [۲] و با افزایش تنوع مواد اولیه غذایی [۳] تنوع آلرژی در حال افزایش است. واکنش‌های آلرژی‌زا باعث آنژیوادم، افت فشار خون، آسم تهدید کننده زندگی، شوک، عوارض پوستی و حتی مرگ شده و ۹۰ درصد آن توسط بادام‌زمینی، آجیل درختی، شیر، صدف، سویا، تخم‌مرغ، گندم و ماهی ایجاد می‌شود [۴]. آلرژی به شیر اولین علت شایع آلرژی غذایی در کودکان است و پس از آن تخم‌مرغ و گندم قرار دارند [۵]. پروتئین‌های موجود در مواد غذایی آلرژی‌زا دارای فعالیت بیولوژیکی برای القای آلرژی هستند که به آنها "آلرژن‌های غذایی" گفته می‌شود [۴]. برای کاهش موفقیت‌آمیز آلرژی‌زایی غذایی، فناوری‌های حرارتی سنتی (مانند برشته کردن، جوشاندن با اتوکلاو و سرخ کردن) [۶] و فن‌آوری‌های غیرحرارتی نوظهور (مانند پرتودهی، فراصوت، پلاسما سرد و تیمارهای فشار بالا، هیدرولیز آنزیمی و تخمیر) استفاده می‌شوند [۷]. تغییر اپی‌توپ‌های آلرژی‌زا در آلرژن‌های غذایی از طریق فرآوری مواد غذایی برای حذف یا کاهش آلرژی‌زایی غذایی مورد توجه است. اپی‌توپ قطعه خاصی از آنتی‌ژن است که آنتی‌بادی به آن متصل می‌شود. به بخشی از آنتی‌بادی که به اپی‌توپ متصل می‌شود پارتوپ گفته می‌شود [۸]. در فرآوری‌های حرارتی، امکان تغییرات چشمگیر کیفیت غذا ناشی از دمای بالا، مانند از دست دادن ارزش غذایی و تولید محصولات جانبی مضر غیرقابل کنترل وجود دارد [۱]. تیمارهای غیر حرارتی کیفیت حسی و تغذیه‌ای محصولات غذایی را با کاهش قابل توجهی از حساسیت‌زایی حفظ می‌کند. پرتودهی با القای تغییرات ساختاری، تجمع یا تخریب (دناتوراسیون) پروتئین‌ها و تخریب اپی‌توپ‌ها آلرژی‌زایی مواد غذایی را غیرحرارتی کاهش می‌دهد [۹]. همچنین، پرتودهی مواد غذایی باعث از بین رفتن موثر حشرات، کپک‌ها و باکتری‌ها، کاهش مواد مضر مانند آمین‌های بیوژنیک، عوامل ضد تغذیه‌ای، بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی و افزایش عمر مفید می‌شود. در دُرّهای مناسب پرتودهی، افت تغذیه‌ای و اثر سویی بر کیفیت فیزیکوشیمیایی، تغذیه‌ای و حسی غذا وجود ندارد [۱۰]. انرژی پرتودهی معمولاً به پرتوهای γ و اشعه ایکس ($>5\text{MeV}$) از منابع رادیواکتیو کبالت-۶۰ یا سزیم-۱۳۷ و باریکه الکترون ($>10\text{ MeV}$) از شتاب دهنده‌های الکترونی تقسیم می‌شود. فرآیند پرتودهی را می‌توان در مقادیر زیاد و بدون هیچ معرف شیمیایی انجام داد و مزایای بهره‌برداری آسان، آلودگی کمتر و بهره‌وری انرژی را دارد. اجازه استفاده از فناوری پرتودهی در فرآوری مواد غذایی مختلف در بسیاری از کشورها داده شده، اما ایمنی مواد غذایی ناشی از پرتودهی شدید، نگرانی عمومی است و باید در جمع‌بندی مطالعات از بین بردن حساسیت‌زایی آلرژن‌های غذایی با پرتودهی بررسی شود [۱].

۲ - روش کار:

۲-۱- از بین بردن آلرژن‌های غذایی با پرتودهی:

مواد آلرژی‌زا در غذا بیشتر پروتئین‌های دارای ساختار فضایی پیچیده هستند. در مسیر مکانیسم مستقیم اثر پرتودهی بر آلرژن‌ها، انرژی پرتوهای γ ، پرتوهای ایکس یا باریکه الکترون جذب شده که منجر به تغییراتی در ساختار فضایی پروتئین (دناتوراسیون)، ترکیب پروتئین‌های آلرژی‌زا، تخریب اپی‌توپ‌های آلرژن و کاهش حساسیت‌زایی آنها می‌شود (شکل ۱) [۱۱].

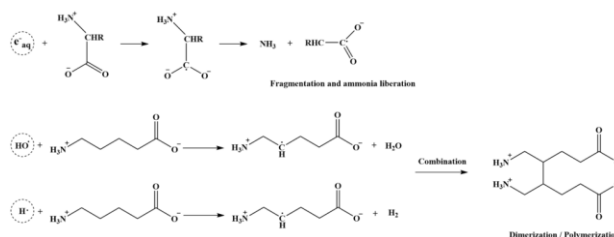


شکل (۱) مکانیسم از بین بردن پرتوی آلرژن‌های غذایی [۱]

در مکانیسم غیرمستقیم، گروه‌های واکنشی حاصل از رادیولیز آب (رادیکال‌های آزاد مانند $\text{H}^\bullet$ ، $\text{OH}^\bullet$ و e-aq) اسیدهای آمینه حاوی سولفیدریل پروتئین‌های آلرژی‌زا را اکسید، اکسیدزدایی یا دگروکسیله می‌کنند، یا رادیکال‌های آزاد فنل و اسیدهای آمینه چند حلقه‌ای را اکسید کرده و باعث شکستن و اتصال عرضی پیوندهای پپتیدی و تخریب ساختارهای دوم یا سوم آلرژن می‌شوند [۱۲] (شکل ۲) که منجر به دناتوراسیون پروتئین، تخریب یا پوشاندن اپی‌توپ‌های آلرژن و کاهش حساسیت می‌شود. گلیکوزیلاسیون و میلارد در فرآیند پرتودهی ساختار پروتئین را برای کاهش آلرژی‌زایی تغییر داده و پروتئین دناتوره می‌شود [۱۳]. نشت گروه‌های R از اسیدهای آمینه آبریز، حلالیت پروتئین‌های آلرژی‌زا و محتوای آلرژن‌ها را در غذا کاهش می‌دهد. دزهای کم به ساختارهای دوم پروتئین‌های آلرژی‌زا آسیب رسانده و باعث نشت گروه‌های آبریز اسیدهای آمینه می‌شود. پس از افزایش دز پرتودهی، زنجیره‌های پپتیدی پروتئین‌ها مجدداً پلیمریزه شده و برای تشکیل پلیمرهای جدید به هم متصل شده و حساسیت‌زایی غذایی کاهش می‌یابد [۱۴].

۲-۲ ویژگی‌های پرتودهی برای از بین بردن آلرژن‌های غذایی

(۱) به دلیل پرتودهی در دما و فشار معمولی، مواد اولیه و طعم غذا تا حد اکثر میزان حفظ می‌شود.



شکل (۲) دپلیمریزاسیون و اتصال عرضی زنجیره‌های پروتئینی با رادیکال‌های آزاد از رادیولیز آب [۱]

(۲) پرتوهای γ ، ایکس یا باریکه الکترون دارای انرژی بسیار بالایی هستند که می‌تواند سریع و موثر آلرژن‌زایی غذا را از بین ببرد و با راندمان بالا برای اکثر انواع آلرژن‌های در مقادیر زیاد غذایی موثر است. (۳) پرتودهی نیازی به افزودن معرف‌های شیمیایی یا مواد کمکی و تولید بقایای شیمیایی ندارد، در نتیجه آلودگی کمتر و ایمنی زیست محیطی و مواد غذایی را به همراه دارد [۱۵].



۳-۲- عوامل موثر بر کارایی پرتودهی مواد غذایی

کاهش آلرژی‌زایی پس از پرتودهی مواد غذایی به نوع پرتو و دُز آن، نوع و حالت مواد غذایی، عوامل محیطی مانند اکسیژن، رطوبت، هیدرونیوم، pH و دما بستگی دارد [۴]. آلرژی‌زایی محلول پروتئین بادام‌زمینی پس از پرتودهی ۷ و باریکه الکترون به ترتیب ۹۵٪ و ۰٪ کاهش یافت [۱۶]. نفوذپذیری قوی‌تر پرتودهی ۷ در دُز یکسان منجر به تخریب شدیدتر اپی‌توپ‌های آلرژن شد [۱۷]. لکترین‌ها (کانکناوالین A یا کرامول) با پرتوهای گاما دزهای ۱، ۱۰، ۲۵ kGy پرتودهی شدند، آلرژی‌زایی هر دو در ۱۰ kGy افزایش یافت، اما در ۲۵ و ۱۰ kGy کاهش داشت. بنابراین دُز متفاوت باعث کاهش آلرژی‌زایی متفاوت می‌شود [۱۸]. آلرژن‌ها و پایداری آنها در برابر پرتودهی از انواع مواد غذایی متفاوت هستند که باعث تفاوت در تخریب اپی‌توپ‌های آلرژن می‌شود. هنگامی که عصاره‌های پروتئینی و ماهیچه در میگوی *Penaeus vannamei* کمتر از ۱۵ kGy پرتودهی شد، آلرژی‌زایی در عصاره‌های پروتئینی کاهش یافت و با افزایش دُز، در ماهیچه افزایش یافت [۱۹]. پرتودهی ۷ در ۱۰ kGy آلرژن‌زایی آلفا لاکتالبومین (۴ Bos d) در شیر را کاهش داد، اما تاثیری بر آلرژن بتا لاکتوگلوبولین (۵ Bos d) نداشت [۲۰]. حالت غذا نیز بر کاهش آلرژی‌زایی تأثیر می‌گذارد. اثرات مستقیم را می‌توان نادیده گرفت و اثرات غیر مستقیم در محلول مایع غالب است [۲۱]. پرتودهی در حضور اکسیژن موجب محافظت از غیرفعال شدن آنتی‌ژنی آلرژن ۱ Gal d در تخم‌مرغ و تسهیل غیر فعال شدن آنتی‌ژنی آلرژن ۲ Gal d شده و نتیجه در حضور ۲Br- معکوس می‌شود [۲۲]. کاهش آلرژی‌زایی ۶۵/۶٪، ۹۱/۷٪ و ۷۲/۹٪ در تیمار ۱ Gal d پرتودهی شده با ۱۰۷ کیلوگری، در pHهای ۷/۴، ۹/۰ و ۱۰/۰ مشاهده شد [۲۳].

۳- حذف آلرژن‌های غذایی با پرتودهی:

۳-۱- آلرژن‌های غذاهای حیوانی

غذاهای حیوانی مانند گوشت، تخم‌مرغ، شیر و محصولات آبرزی، مقادیر زیادی پروتئین با کیفیت بالا را فراهم می‌کنند. اما، وجود انواع آلرژن‌های غذایی در این غذاها می‌تواند سلامت انسان را تهدید کند. پرتودهی می‌تواند ساختار منظم آلرژن‌های غذاهای حیوانی را از بین ببرد و آلرژن را به‌طور موثری حذف کند [۱].

۳-۱-۱- آلرژن‌های شیر: شیر گاو حاوی α -کازئین و β -لاکتوگلوبولین است که در شیر انسان وجود ندارد و محتوای نسبتاً کمی از α -لاکتالبومین و ایمونوگلوبولین دارد. آلرژی به شیر، با بروز ۲ تا ۷/۵ درصد، بیماری آلرژی‌زای شایع بسیار مهم در نوزادان و کودکان است. آلرژن‌های اصلی شیر α -کازئین، β -لاکتوگلوبولین و α -لاکتالبومین هستند که همگی دارای اپی‌توپ‌های خطی و ساختاری قابل تشخیص توسط IgE هستند. پرتودهی در دُز معین می‌تواند ساختار پروتئین‌های حساسیت به شیر را تغییر دهد و اپی‌توپ‌های آنها را بپوشاند و در نتیجه حساسیت‌زایی پروتئین‌های شیر را کاهش دهد [۱]. پس از پرتودهی با دُز ۳ kGy، پروتئین α -لاکتوآلبومین شروع به پلیمریزاسیون می‌کند و تمام مولکول‌های این آلرژن با دُز ۱۰ kGy پلیمری را تشکیل می‌دهند، یعنی تیمار پرتودهی باعث ایجاد تغییرات برگشت‌ناپذیری در ساختار فضایی منظم این پروتئین آلرژن‌زا می‌شود. پرتودهی می‌تواند بیش از ۸۰ درصد توانایی آلفا لاکتالبومین را برای تحریک پاسخ ایمنی کاهش دهد [۲۴]. پس از پرتودهی شیر، با و بدون تیمار با امواج فراصوت، آبرگری سطح کاهش یافته و تجمع β -لاکتوگلوبولین، افزایش می‌یابد. ظرفیت اتصال IgE و انتشار واسطه‌های التهابی به طور قابل توجهی کاهش یافته که نشان می‌دهد پرتودهی پس از فراصوت می‌تواند یک روش ایمن و مؤثر برای کاهش حساسیت‌زایی β -لاکتوگلوبولین در فرآوری لبنیات باشد [۲۵].



۳-۱-۲- آلرژن‌های تخم‌مرغ: آلرژن‌های تخم‌مرغ دومین آلرژن غذایی اصلی هستند که ۳۵ درصد از آلرژن‌های غذایی در کودکان و ۱۲ درصد در بزرگسالان را تشکیل می‌دهند [۲۶]. آلرژن‌های گلیکوپروتئین و ویتلوژنین در زرده تخم‌مرغ و اوو موکوئید (OVM)، اووترانسفرین (OVT)، اووالبومین (OVA) و لیزوزیم (LYS) در سفیده تخم‌مرغ وجود دارند [۲۷]. پرتودهی گاما Co^{۶۰} می‌تواند ویژگی‌های امولسیون‌سازی و پایداری پروتئین سفیده تخم‌مرغ را بهبود بخشد [۲۸]. آلرژن‌ها به تنهایی در غذا وجود ندارند و پیچیدگی ماتریکس غذا نیز عامل مهمی است که بر حذف آلرژن‌ها توسط پرتودهی تأثیر می‌گذارد. پرتودهی با پرتوهای γ و باریکه الکترون تفاوت‌های آشکاری در کاهش آنتی‌ژنی OVA دارد که اهمیت انتخاب نوع منبع پرتودهی را نشان می‌دهد [۲۹]. پرتودهی، همراه با گرما، قدرت یونی (pH)، گاز و عوامل دیگر، می‌تواند تیمار آلرژن‌های تخم‌مرغ را تسریع کند و روشی کارآمدتر برای از بین بردن آلرژن‌ها است. اثر هم‌افزایی پرتودهی و فرآوری حرارتی برای افزایش حساسیت آلرژن‌های تخم‌مرغ مشخص شده است. اکسیژن اثر محافظت‌کننده بر فعالیت OVM دارد، سرعت غیرفعال‌سازی ناشی از پرتودهی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش فعالیت OVA می‌شود، که ممکن است به دلیل تفاوت در ساختار فضایی OVM در قدرت‌های یونی مختلف باشد [۱].

۳-۱-۳- آلرژن‌های غذاهای دریایی: پاروالبومین مهم‌ترین آلرژن موجود در ماهی است و می‌تواند در ۹۰ درصد افرادی که به ماهی حساسیت دارند، واکنش‌های آلرژیک ایجاد کند. بیشتر واکنش‌های آلرژیک به دلیل وجود β -پاروالبومین ایجاد می‌شود. پاروالبومین پروتئین متصل‌شونده به Ca^{2+} است که به طور گسترده در سلول‌های ماهیچه و استخوان ماهی یافت می‌شود و می‌تواند فرآیندهای سلولی متعدد را با کنترل تبادل یونی Ca^{2+} درون سلولی تنظیم کند [۳۰]. انرژی بالای پرتوهای γ یا باریکه الکترون مورد استفاده برای پرتودهی می‌تواند باعث تغییراتی در خواص فیزیکوشیمیایی و ساختار پروتئین‌های ماهی مانند سختی، صمغیت، قابلیت جودین یا انعطاف‌پذیری شود و کیفیت غذا را بهبود بیشتری بخشد [۳۱]. با افزایش دُز پرتودهی، اکتین، پارامیوزین و محتویات زنجیره سنگین میوزین پروتئین میوفیبریلار تا حدی تخریب شد [۳۲]. آلرژن‌های اصلی در محصولات میگو تروپومیوزین و آرژنین کیناز هستند. نتایج اتصال اختصاصی IgE نشان داد که ظرفیت عصاره و تروپومیوزین (TM) میگو در ابتدا پس از پرتودهی در دُزهای ۳ کیلوگری، ۱۰ درصد افزایش یافت و سپس با افزایش دُزهای پرتودهی به ۱۰ کیلوگری، ۲۰ درصد کاهش یافت. ظرفیت اتصال تروپومیوزین در گوشت میگو با پرتودهی ۷ کیلوگری با استفاده از باریکه الکترون تا ۵۹ درصد کاهش یافت، که مبین تخریب ساختار TM در نتیجه پرتودهی است [۳۳].

۳-۲- آلرژن‌های غذایی مشتق شده از گیاهان

۳-۲-۱- آلرژن‌های گندم: ساختار پنتاپپتیدی زیر واحدهای گلوتن Glu-Glu-Pro-Pro (Glu) پرولین (پرولین) آلرژن‌ها است. آلبومین و گلوبولین موجود در گندم، آلرژن‌های اصلی در آسم نانوایی و آلرژن‌های درماتیت خاص گندم هستند، در حالی که گلیادین، ایزولکتین، باعث بیماری سلیاک و آلرژن‌های وابسته به غذا می‌شود. فناوری پرتودهی می‌تواند اکسیداسیون، تفکیک و تجمع پروتئین‌ها را تقویت کند و در نتیجه حساسیت‌زایی آنها را کاهش دهد. لکتین جوانه گندم (WGA) در دُزهای مختلف ۱، ۱۰ و ۲۵ کیلوگری پرتودهی شد و نشان داد، در دُز بیش از ۱۰ کیلوگری، زنجیره پلی‌پپتیدی مولکول WGA می‌شکند و در نتیجه ساختار تاشو مولکولی از بین می‌رود و پلیمرهای آمورف تشکیل می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که دُزهای بالای پرتودهی حساسیت‌زایی WGA را کاهش می‌دهد [۳۴].



۳-۲-۲- آلرژن‌های لوبیای سویا: سویا و فرآورده‌های آن عملکردهای تقویت ایمنی بدن، پیشگیری از اسکروز عروقی و تقویت استخوان‌ها را دارند، اما نزدیک به ۲۰ نوع پروتئین آلرژیک نیز در سویا شناسایی شده است [۳۵]. واکنش‌های آلرژیک ناشی از پروتئین‌های سویا عمدتاً واکنش‌های مفرط نوع I هستند که توسط یک IgE خاص واسطه می‌شوند. بنابراین، کاهش واکنش‌پذیری پروتئین‌های آلرژیک‌زای سویا، برای کاهش آلرژیک‌زایی بسیار مؤثر است [۳۶]. پرتودهی با دُز بالا ممکن است آلرژن‌های غذایی پروتئینی را با تغییر غیرقابل برگشت ساختار مولکولی آنها بی‌ضرر کند. پرتودهی همراه با عملیات حرارتی می‌تواند ساختار دوم و سوم پروتئین‌ها را تغییر دهد، به طور قابل توجهی بر آبگریزی سطحی و محتوای سولفیدریل آزاد جدایه‌های سویا تأثیر بگذارد و قابلیت انحلال، کف کردن و امولسیون کنندگی آنها را بهبود بخشد. مهارکننده تریپسین سویا (STI) ماده ضد مغذی و آلرژن غذایی شناخته شده سویا است. ساختار و عملکرد STI تقریباً در دُز ۱۰ kGy در محلول آبی از بین رفت. با رطوبت ۵۰ درصد و در حالت خشک، تنها افت ویژگی‌های عملکردی و ساختاری در ۳۰ و ۱۰۰ قابل تشخیص بود. پرتودهی که در ترکیب با عملیات حرارتی استفاده می‌شود، پروتئین‌های محلول و پروتئین‌های نامحلول را در حبوبات به میزان زیادی کاهش داد، به‌ویژه کاهش قابل توجهی در واکنش‌های آلرژیک، که بسیار بیشتر از کاهش واکنش‌های آلرژیک به‌دست‌آمده از پرتودهی یا حرارت دادن به تنهایی بود [۱]. ترکیب پرتودهی با روش اصلاح گلیکوزیلاسیون نشان داد که پرتودهی قادر به ایجاد واکنش Maillard بین ایزوله پروتئین سویا و مالتوز است و به طور قابل توجهی خواص عملکردی پروتئین اصلاح شده را بهبود می‌بخشد [۳۷].

۳-۲-۳- آلرژن‌های بادام‌زمینی: پرتودهی با دُز کمتر از ۱ کیلوگری تأثیر کمی بر آلرژن‌های بادام‌زمینی در پودر پروتئین یا محلول داشت. پرتودهی دُز ۲-۲۰ کیلوگری منجر به تغییرات ساختاری و پلیمریزاسیون پروتئین‌هایی با وزن مولکولی کوچک شد. حذف فعالیت حساسیت‌زای بادام‌زمینی به دُز پرتودهی بستگی دارد، که تأثیر مهمی بر ساختار دوم داشته یعنی محتوای α -ماریچ پروتئین آلرژن و توانایی اتصال آلرژن‌ها با IgG کاهش یافته اما تأثیر کمی بر ساختار سوم پروتئین بادام‌زمینی دارد. دُز پرتودهی بالا منجر به تغییرات قابل توجهی در اپی‌توپ‌های ساختاری آلرژن‌های بادام‌زمینی می‌شود، بنابراین آلرژیک‌زایی خود را کاهش می‌دهند [۲۱]. آلرژن موجود در محلول عصاره پروتئین نسبت به آلرژن در حالت جامد بادام‌زمینی به پرتودهی حساس‌تر است. تابش پرتو یون سنگین دارای انتقال انرژی خطی بالایی است که قادر به شکستن مولکول‌های DNA دو رشته‌ای است که برای تولید بادام‌زمینی هیپوآلرژنی فاقد آلرژن‌های اصلی استفاده می‌شود [۳۸].

۴- پیشنهادات و چشم‌انداز آتی:

پرتودهی به دلیل مزایایی مانند اثربخشی در برابر اکثر آلرژن‌های موجود در غذاها، ارزان‌قیمت و صنعتی‌سازی آسان، در فرآوری مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. برای ایمنی غذاهای پرتودهی شده، مکانیسم حذف پرتودهی آلرژن‌های غذایی باید بیشتر مطالعه شود. پرتودهی ممکن است ساختار سایر اجزای ماتریکس مواد غذایی، ارزش غذایی، طعم یا کیفیت غذا را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعه حساسیت‌زدایی پرتویی با توجه به ماتریس‌های مختلف غذایی و ویژگی‌های آلرژن از اهمیت زیادی برخوردار است. ترکیب تیمار پرتودهی و سایر روش‌های فرآوری مواد غذایی با هدف کاهش حساسیت‌زایی مؤثرتر بررسی شود.

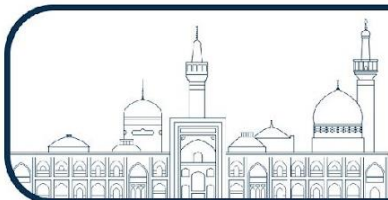


۵- نتیجه‌گیری کلی:

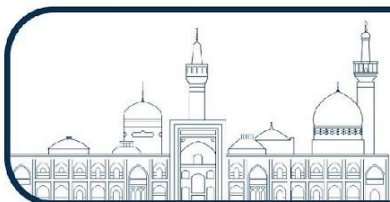
پرتودهی مواد غذایی با حفظ ارزش و ایمنی غذایی به طور موثری آلرژی‌زایی را حذف یا کاهش می‌دهد، زیرا می‌تواند ساختار پروتئین‌های آلرژی‌زا را از طریق واکنش‌های رادیکال آزاد یا جذب مستقیم تغییر دهد. پرتودهی برای اکثر آلرژن‌های غذایی موثر است. این اثرات باتوجه به عوامل مختلفی مانند ترکیب و حالت غذا (مایع یا جامد)، عوامل محیطی (مانند مرطوب یا خشک) و شرایط پرتودهی (مانند منبع رادیواکتیو، دُز، زمان پرتودهی، دما و حضور اکسیژن) متفاوت است. اگرچه حذف برخی از پروتئین‌های آلرژی‌زا به ترکیب پرتودهی با سایر روش‌های فرآوری مواد غذایی مانند فشار بالا، پالس ولتاژ بالا، فراصوت نیاز دارد. همه این نتایج تایید کرده‌اند که پرتودهی استراتژی مناسب و بالقوه برای حذف یا کاهش آلرژن‌های غذایی است.

۶- مراجع:

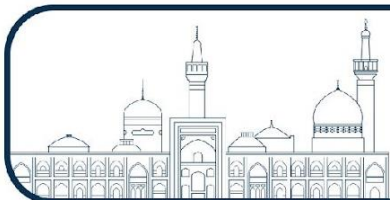
- [۱] Pan, M., Yang, J., Liu, K., Xie, X., Hong, L., Wang, Sh., Wang, Sh. (۲۰۲۱). Irradiation technology: An effective and promising strategy for eliminating food allergens. *Food Research International*, ۱۴۸: ۱۱۰۵۷۸. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110578>.
- [۲] Korte, R., Brockmeyer, J. (۲۰۱۶). MRM^۳-based LC-MS multi-method for the detection and quantification of nut allergens. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, ۴۰۸(۲۷), ۷۸۴۵-۷۸۵۵. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9888-y>.
- [۳] L'Hocine, L., Achouri, A., & M'elanie, P. (۲۰۱۹). Hypoallergenic Foods: Development and relevance in the management of food allergy. *Encyclopedia of Food Chemistry*, ۴۱۹-۴۲۷. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810059-6.021762-9>.
- [۴] Pi, X., Yang, Y., Sun, Y., Wang, X., Wan, Y., Fu, G., Li, X., Cheng, J. (۲۰۲۱). Food irradiation: a promising technology to produce hypoallergenic food with high quality. *Critical reviews in food science and nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1904822>.
- [۵] Villa, C., Costa, J., Oliveira, M. B. P. P., & Mafrá, I. (۲۰۱۸). Bovine milk allergens: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, ۱۷(۱), ۱۳۷-۱۶۴. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12318>.
- [۶] Lamberti, C., S. Nebbia, S. Antoniazzi, S. Cirrincione, E. Marengo, M. Manfredi, D. Smorgon, G. Monti, A. Faccio, M. G. Giuffrida, et al. ۲۰۲۱. Effect of hot air and infrared roasting on hazelnut allergenicity. *Food Chemistry* ۳۴۲:۱۲۸۱۷۴. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128174>.
- [۷] Yang, J., Pana, M., Hana, R., Yang, X., Liua, X., Yuan, Sh., Wang, Sh. (۲۰۲۴). Food Irradiation: An Emerging Processing Technology to Improve the Quality and Safety of Foods. *Food reviews international*, ۴۰(۸): ۲۳۲۱-۲۳۴۳. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2272961>.
- [۸] Crevel, R. W. R., & Cochrane, S. A. (۲۰۱۴). Food safety assurance systems: Management of allergens in food industry. *Encyclopedia of Food Safety*, ۴, ۲۵۴-۲۶۱. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00364-4>.
- [۹] Wang, J., S. K. Vanga, C. McCusker, and V. Raghavan. ۲۰۱۹. A comprehensive review on kiwifruit allergy: pathogenesis, diagnosis, management, and potential modification of allergens through processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* ۱۸ (۲): ۵۰۰-۱۳. doi: 10.1111/1541-4337.12426.



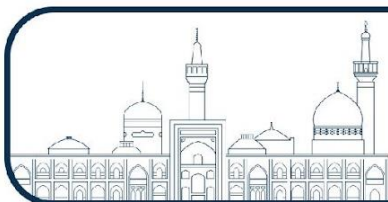
- [۱۰] Mei, K., G. Li, J. Zhang, Q. Lou, D. Xu, and W. Yang. ۲۰۲۰. Studying on the IgG binding capacity and conformation of tropomyosin in *Ovalipes punctatus* meat irradiated with electron beam. *Radiation Physics and Chemistry* ۱۶۸:۱۰۸۵۲۵. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.radphyschem.۲۰۱۹.۱۰۸۵۲۵.
- [۱۱] Meinlschmidt, P., E. Ueberham, J. Lehmann, K. Reineke, O. Schluter, € U. Schweiggert-Weisz, and P. Eisner. ۲۰۱۶. The effects of pulsed ultraviolet light, cold atmospheric pressure plasma, and gammairradiation on the immunoreactivity of soy protein isolate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* ۳۸:۳۷۴-۸۳. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.ifset.۲۰۱۶.۰۶.۰۰۷.
- [۱۲] Mladenova, R. B., Aleksieva, K. I., & Nacheva, I. B. (۲۰۱۹). Effect of gamma irradiation on antiradical activity of goji berry fruits (*Lycium barbarum*) evaluated by EPR spectroscopy. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, ۳۲۰(۳), ۵۶۹-۵۷۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۹۶۷-۰۱۹-۰۶۵۲۰-x>.
- [۱۳] Pi, X., Y. Wan, Y. Yang, R. Li, X. Wu, M. Xie, X. Li, and G. Fu. ۲۰۱۹. Research progress in peanut allergens and their allergenicity reduction. *Trends in Food Science & Technology* ۹۳:۲۱۲-۲۰. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.tifs.۲۰۱۹.۰۹.۰۱۴.
- [۱۴] Luo, C. P., Hu, C. Q., Gao, J. Y., Li, X., Wu, Z. H., Yang, A. S., & Chen, H. B. (۲۰۱۳). A potential practical approach to reduce Ara h ۶ allergenicity by gamma irradiation. *Food Chemistry*, ۱۳۶(۳), ۱۱۴۱-۱۱۴۷. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.>
- [۱۵] Mittendorfer, J. (۲۰۱۶). Food irradiation facilities: Requirements and technical aspects. *Radiation Physics and Chemistry*, ۱۲۹, ۶۱-۶۳. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.radphyschem.۲۰۱۶.۰۸.۰۰۷>.
- [۱۶] Luo, C., C. Hu, J. Gao, X. Li, Z. Wu, A. Yang, and H. Chen. ۲۰۱۳. A potential practical approach to reduce Ara h ۶ allergenicity by gamma irradiation. *Food Chemistry* ۱۳۶ (۳-۴):۱۱۴۱-۷. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j. foodchem.۲۰۱۲.۰۹.۰۹۱.
- [۱۷] Liu, Y., Z. Li, T. Pavase, Z. Li, Y. Liu, and N. Wang. ۲۰۱۶. Evaluation of electron beam irradiation to reduce the IgE binding capacity of frozen shrimp tropomyosin. *Food and Agricultural Immunology* ۲۸ (۲):۱۸۹-۲۰۱. doi: ۱۰.۱۰۸۰/۰۹۵۴.۱۰۵.۲۰۱۶.۱۲۵۱۳۹۴.
- [۱۸] Vaz, A. F. M., M. P. Souza, L. D. Vieira, J. S. Aguiar, T. G. Silva, P. L. Medeiros, A. M. M. A. Melo, R. A. Silva-Lucca, L. A. Santana, M. L. V. Oliva, et al. ۲۰۱۳b. High doses of gamma radiation suppress allergic effect induced by food lectin. *Radiation Physics and Chemistry* ۸۵:۲۱۸-۲۶. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.radphyschem.۲۰۱۲.۱۲.۰۱۵.
- [۱۹] Zhenxing, L., L. Hong, C. Limin, and K. Jamil. ۲۰۰۷b. The influence of gamma irradiation on the allergenicity of shrimp (*Penaeus vannamei*). *Journal of Food Engineering* ۷۹ (۳):۹۴۵-۹. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.jfoodeng.۲۰۰۶.۰۳.۰۱۶.
- [۲۰] Kaddouri, H., S. Mimoun, K. E. EL-Mecherfi, A. Chekroun, O. Kheroua, and D. Saidi. ۲۰۰۸. Impact of gamma-radiation on antigenic properties of cow's milk beta-lactoglobulin. *Journal of Food Protection* ۷۱ (۶):۱۲۷۰-۲. doi: ۱۰.۴۳۱۵/۰۳۶۲-۰۲۸X-۷۱.۶.۱۲۷۰.
- [۲۱] Xu, s-t, M-x Gao, Y-x Zhi, S-r Li, Z-d Wang, J-r Pan, C-c Liu, J. Zhao, L-p Lan, and Y-y Xu. ۲۰۱۲. Effect of electron beam irradiation on immunoreactivity and biochemical properties of peanut allergens. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences* ۲۶:۱۰۰۶-۱۱.



- [۲۲] Yang, J.-S., J.-H. K/M, S. Matsushashi, and T. Kume. ۱۹۹۶. Changes in biochemical properties of ovomucoid by radiation. *Radiation Physics and Chemistry*. ۴۸ (۶):۷۳۱-۵. doi: ۱۰.۱۰۱۶/S۰۹۶۹-۸۰۶X(۹۶)۰۰۶۲-X.
- [۲۳] Lee, J.-W., K.-Y. Lee, H.-S. Yook, S.-Y. Lee, H.-Y. Kim, C. Jo, and M.- W. Byun. ۲۰۰۲. Allergenicity of Hen's egg ovomucoid gamma irradiated and heated under different pH conditions. *Journal of Food Protection* ۶۵ (۷):۱۱۹۶-۹. doi: ۱۰.۴۳۱۵/۰۳۶۲-۰۲۸X-۶۵,۷,۱۱۹۶.
- [۲۴] Meng, X. Y., Li, X., Wang, X. K., Gao, J. Y., Yang, H., & Chen, H. B. (۲۰۱۶). Potential allergenicity response to structural modification of irradiated bovine α -lactalbumin. *Food & Function*, ۷(۷), ۳۱۰۲-۳۱۱۰. <https://doi.org/۱۰.۱۰۳۹/C۶FO۰۰۴۰۰H>.
- [۲۵] Yang, F., Zou, L., Wu, Y., Wu, Z. H., Yang, A. S., Chen, H. B., & Li, X. (۲۰۲۰). Structure and allergenicity assessments of bovine beta-lactoglobulin treated by sonication assisted irradiation. *Journal of Dairy Science*, ۱۰۳(۵), ۴۱۰۹-۴۱۲۰. <https://doi.org/۱۰.۳۱۶۸/jds.۲۰۱۹-۱۷۰۷>.
- [۲۶] Dona, D. W., & Suphioglu, C. (۲۰۲۰). Egg allergy: Diagnosis and immunotherapy. *International Journal of Molecular Sciences*, ۲۱(۱۴), ۵۰۱۰. <https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/ijms۲۱۱۴۵۰۱۰>.
- [۲۷] Park, H. Y., Yoon, T. J., Kim, H. H., Han, Y. S., & Choi, H. D. (۲۰۱۷). Changes in the antigenicity and allergenicity of ovalbumin in chicken egg white by Nacetylglucosaminidase. *Food Chemistry*, ۲۱۷, ۳۴۲-۳۴۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j. foodchem.۲۰۱۶.۰۸.۱۱۲>.
- [۲۸] Liu, X., He, L. C., Zhang, M., Zhao, S. L., Yang, F., Liang, Y. H., & Jing, G. F. (۲۰۲۰). Effect of different doses of Co-۶۰ gamma-ray irradiation treatment on the microrheological and emulsifying properties of liquid egg white. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*, ۵۸۹, ۱۲۴۴۶۱. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.colsurfa.۲۰۲۰.۱۲۴۴۶۱>.
- [۲۹] Gomaa, A., & Boye, J. (۲۰۱۵). Impact of irradiation and thermal processing on the immunochemical detection of milk and egg allergens in foods. *Food Research International*, ۷۴, ۲۷۵-۲۸۳. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.foodres.۲۰۱۵.۰۵.۰۲۳>.
- [۳۰] Zhang, Y. F., Ren, Y. Y., Bi, Y. G., Wang, Q., Cheng, K. W., & Chen, F. (۲۰۲۰). Review: Seafood allergy and potential application of high hydrostatic pressure to reduce seafood allergenicity. *International Journal of Food Engineering*, ۱۵(۸), ۲۰۱۸۰۳۹۲. <https://doi.org/۱۰.۱۵۱۵/ijfe-۲۰۱۸-۰۳۹۲>.
- [۳۱] Lv, M. C., Mei, K. L., Zhang, H., Xu, D. L., & Yang, W. G. (۲۰۱۸). Effects of electron beam irradiation on the biochemical properties and structure of myofibrillar protein from tegillarca granosa meat. *Food Chemistry*, ۲۵۴, ۶۴-۶۹. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.foodchem.۲۰۱۸.۰۱.۱۶۵>.
- [۳۲] Shi, Y., Li, R. Y., Tu, Z. C., Ma, D., Wang, H., Huang, X. Q., & He, N. (۲۰۱۵). Effect of γ -irradiation on the physicochemical properties and structure of fish myofibrillar proteins. *Radiation Physics & Chemistry*, ۱۰۹, ۷۰-۷۲. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.radphyschem.۲۰۱۴.۱۲.۰۱۶>.
- [۳۳] Guan, A. Y., Mei, K. L., Lv, M. C., Lu, J. F., Lou, Q. M., & Yang, W. G. (۲۰۱۸). The effect of electron beam irradiation on IgG binding capacity and conformation of tropomyosin in shrimp. *Food Chemistry*, ۲۶۴, ۲۵۰-۲۵۴. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j. foodchem.۲۰۱۸.۰۵.۰۵۱>.



- [۳۴] Vaz, A. F. M., Souza, M. P., Carneiro-Da-Cunha, M. G., Medeiros, P. L., Melo, A. M. M. A., Aguiar, J. S., & Correia, M. T. S. (۲۰۱۲). Molecular fragmentation of wheat-germ agglutinin induced by food irradiation reduces its allergenicity in sensitised mice. *Food Chemistry*, ۱۳۲(۲), ۱۰۳۳-۱۰۳۹. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.097>.
- [۳۵] Murakami, H., Ogawa, T., Takafuta, A., Yano, E., Zaima, N., & Moriyama, T. (۲۰۱۸). Identification of the γ s and β s globulins as percutaneously sensitizing soybean allergens as demonstrated through epidermal application of crude soybean extract. *Bioscience Biotechnology & Biochemistry*, ۸۲(۸), ۱۴۰۸-۱۴۱۶. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1460573>.
- [۳۶] He, M. X., & Xi, J. (۲۰۲۰). Identification of an IgE epitope of soybean allergen Gly m Bd 60 K. *Lwt Food Science & Technology*, ۱۳۳, Article 110131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110131>.
- [۳۷] Wang, Y. Y., Zhang, A. Q., Wang, Y. X., Wang, X. B., Xu, N., & Jiang, L. Z. (۲۰۲۰). Effects of irradiation on the structure and properties of glycosylated soybean proteins. *Food & Function*, ۱۱(۲), ۱۶۳۵-۱۶۴۶. <https://doi.org/10.1039/c9fo01879d>.
- [۳۸] Cabanos, C. S., Katayama, H., Urabe, H., Kuwata, C., Murota, Y., Abe, T., ... Maruyama, N. (۲۰۱۲). Heavy-ion beam irradiation is an effective technique for reducing major allergens in peanut seeds. *Molecular Breeding*, ۳۰(۲), ۱۰۳۷-۱۰۴۴. <https://doi.org/10.1007/s11032-011-9687-2>.



ارزیابی کارایی تیمار با باریکه- الکترون بر کنترل بار میکروبی و حفظ خواص کیفی زعفران (کد مقاله: ۱۰۴۶)

رشاد، محمد^۱ - شیرمردی، سید پژمان^{۲*} - آفریده، حسین^۱ - شهبازی، سمیرا^۳ - عسکری، حامد^۳ - جمالی، سپیده

السادات^۳

۱. صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، فیزیک و مهندسی انرژی، مهندسی هسته‌ای
۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران، پژوهشکده توسعه کاربرد پرتوها
۳. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

چکیده:

زعفران یکی از مهمترین گیاهان دارویی است و جایگاهی ویژه در صادرات غیر نفتی کشور دارد. یکی از چالشهای تولیدکنندگان زعفران آلودگیهای پس از برداشت و افت کیفیت در زمان انبارداری است. ارزش بالای آن در صنایع پزشکی و غذایی سبب شده روشهای متنوع و متعددی جهت کاهش جمعیت میکروبی و بهبود خواص کیفی آن ایجاد گردد. یکی از کارآمدترین روشهای آلودگی زدایی با حفظ کیفیت زعفران، تیمار با تابش الکترون است. نتایج آزمایشات صورت گرفته در مجتمع پرتو فرآیند یزد نشان داد پس از تیمار در دزهای مختلف ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ کیلوگری در سه تکرار، علاوه بر کنترل کامل آلودگیهای پس از برداشت، برخی خواص کیفی زعفران نسبت به نمونهی شاهد بهبود یافت. ادامه این تحقیق در راستای توسعه ی ابعاد تجاری و بررسی بستهبندی در انبارمانی مفید این محصول در گام بعدی پروژه قرار دارد.

کلمات کلیدی: افزایش ماندگاری، بار میکروبی، بهبود خواص کیفی، باریکهی الکترون، زعفران

The effect of the electron beam treatment on controlling microbial load and maintaining quality properties of Iranian saffron

Mohammad Reshad^۱, Seyed Pezhman Shirmardi^{۲*}, Hosein Afarideh^۱, Samira Shahbazi^۳, Hamed Askari^۳, Sepideh sadat Jamali^۳

۱. Amirkabir University of Technology(Tehran Polytechnic), Physics and Energy Engineering, Nuclear Engineering
۲. Iranian Institute of Nuclear Science and Technology, Research Institute for the Development of Radiation Applications
۳. Iranian Institute of Nuclear Science and Technology, Nuclear Agriculture Research Institute

Abstract:

Saffron is one of the most important medicinal plants and has a prominent place in the country's non-oil exports. One of the challenges for saffron producers is post-harvest contamination and quality loss during storage. Its high value in the medical and food industries has led to the creation of various and numerous methods to reduce the microbial population and improve its



quality properties. One of the most efficient methods of decontamination while maintaining the quality of saffron is treatment with electron irradiation. The results of experiments conducted at the Central Iran Irradiation Complex Yazd (Located in Taft city) showed that after treatment at different doses of ۰, ۱, ۲, ۳, ۴ and ۵ KGy in three repetitions, in addition to complete control of post-harvest contamination, some quality properties of saffron improved compared to the control sample. The continuation of this research in line with the development of commercial dimensions and the investigation of packaging in the useful storage of this product is the next step of the project..

Key words: Shelf Life increase, microbial load, improvement of quality properties, Electron beam, saffron

۱- مقدمه:

زعفران با نام علمی *Crocus sativus L*، ادویه‌های گرانبها است که خاستگاه اصلی آن ایران، کشور پیشرو در تولید و عرضه رد سطح بین‌المللی می‌باشد. زعفران مانند سایر مواد گیاهی دارای کاربردهای چندگانه بوده، نه تنها محصول نهایی، بلکه محصولات جانبی آن نیز منبع ارزشمندی از ترکیبات طبیعی زیست فعال می‌باشند. از این گیاه دارویی برای مقابله با افسردگی، اضطراب، بیماری‌های عصبی، سرطان، بیماری مزمن کلیوی، بیماری التهابی روده^۱، تنظیم هورمون‌های جنسی، تخم‌گذاری و محافظت از تخمدان و رحم استفاده می‌شود. زعفران با تضعیف آسیب اکسیداتیو و فعال نمودن آنزیم‌های آنتیاکسیدانی دفاعی، محافظت عصبی ایجاد نموده، با ترکیبات زیست فعال خود مانند کاروتنوئیدها از بروز بیماری‌های پارکینسون و آلزایمر جلوگیری می‌کند. علاوه بر خواص اصلی عصاره‌ی زعفران، محصولات جانبی آن که اغلب نادیده گرفته می‌شوند (گلبرگ‌ها، پرچم‌ها، برگ‌ها، بنه‌ها) نیز حاوی ترکیبات زیست فعال ارزشمندی هستند که در صنایع آرایشی، جاذب زیستی برای حذف یونهای سرب مضر از فاضلاب و بهبود زخم‌های دیابتی کارآمد می‌باشند [۱-۷].

براساس آخرین آمارها هر سال ۳۳۰ تن زعفران در بازار جهانی مبادله می‌شود. از این میزان، ۳۱۰ تن از زعفران صادراتی دنیا را ایران تولید می‌کند. درآمدزایی بخش صادرات از این محصول در سال حدود ۸ میلیارد دلار است. یکی از چالش‌های مهم در صادرات و فروش این محصول وجود آلودگی میکروبی است که به عنوان یکی از بیماری‌های پس از برداشت مهم در کشور موضوع پژوهش‌های متعددی بوده است. افزایش ایمنی مواد غذایی با از بین بردن موثر پاتوژن‌های پس از برداشت و آفات و میکروارگانیسم‌های فاسدکننده، سبب افزایش عمر و ماندگاری محصول و کاهش قابل توجه تلفات پس از برداشت می‌شود. روش پرتوتابی در بین راهکارهای رفع آلودگی پس از برداشت دارای کارایی بالایی است زیرا روش سرد و با حداقل تغییرات در ترکیب شیمیایی و تاثیر قابل قبول بر روی تمام میکروارگانیسم‌های آلوده کننده زعفران پس از برداشت است. یکی دیگر از مزایا و دلایل توجه به پرتوآوری، عملکرد قطعی، عدم ایجاد باقیمانده آلودگی شیمیایی در محصول پس از تیمار و ممانعت از وارد آمدن آسیب‌های ناشی از مواد شیمیایی مثل اتیلن اکساید برای مصرف کننده است [۸-۱۱].

^۱ یک بیماری التهابی مزمن دستگاه گوارش است که با دوره‌های مکرر التهاب و تخریب بافت مشخص می‌شود و به اختصار با عنوان (IBD) از آن یاد می‌شود.



استفاده از باریک‌هی الکترن یکی از روش‌های پرتو‌دهی است. پرتوهای الکترونی ضمن سازگاری با محیط زیست، به هیچ ایزوتوپ رادیواکتیوی نیاز ندارند و نسبت به پرتوهای گاما قابلیت نرخ دز بالاتری دارند [۱۲]. تاثیر تابش الکترن و گاما در بهبود خواص آنتیاکسیدانی عصاره‌ی گل برگ زعفران در پژوهشی با پرتو‌دهی در دزهای ۵، ۱۰ و ۳۵ کیلوگری مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد: پرتو‌دهی در دز ۳۵ کیلوگری سبب آسیب به ترکیبات زیست فعال و در دز ۵ کیلوگری سبب افزایش خواص آنتی اکسیدانی می‌شود [۱۳]. اثر تیمار با باریک‌هی الکترن در دزهای ۲۰، ۱۰ و ۲۵ کیلوگری بر روی سه رقم پاپریکا، موضوع پژوهش دیگری بود که نشان داد پرتو‌دهی در دز ۱۰ کیلوگری ضمن حفظ خواص فیزیکی و شیمیایی ضروری پاپریکا، اثربخشی بالایی در غیرفعال‌سازی میکروبی آن دارد. نتایج همچنین حاکی از کاهش میزان کاروتنوئیدها در دز ۲۵ کیلوگری و افزایش میزان ترکیبات مهارکننده‌ی اکسیداسیون^۲ در دز ۲۰ کیلوگری بود [۱۴]. در پژوهشی مشابه تاثیر روش‌های پرتو‌دهی گاما، باریک‌هی الکترن و اتیلن اکساید در از بین بردن بار میکروبی دو رقم فلفل قرمز پاکستان^۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش پتانسیل آنتی اکسیدانی و فلاونوئیدها علیرغم تاثیر اتیلن اکساید در کاهش بار میکروبی بود. پرتوهای الکترونی با دزهای ۱۲ و ۱۵ کیلوگری در مقایسه با سایر روش‌های کاربردی در حفظ خواص آنتیاکسیدانی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و مقادیر رنگ در برابر گونه‌های آسپرژیلوس، آفلاتوکسین‌ها و بار میکروبی بیماریزا، موثرتر بودند [۱۵].

پژوهش حاضر به بررسی اثر تیمار با باریک‌هی الکترن در دز موثر بر کنترل آلودگی میکروبی پس از برداشت بر خواص کیفی زعفران ایرانی پرداخته است.

۲- روش کار:

۲-۱- پرتو‌دهی با باریک‌هی الکترن

شتاب‌دهنده‌های الکترن دستگاه‌هایی هستند که الکترن‌های تولید شده بوسیله یک تفنگ الکترونی را در محیط خلاء و در یک میدان قوی الکتریکی شتاب داده، به وسیله‌ی یک میدان مغناطیسی نوسان‌کننده بر روی هدف مورد نظر می‌تابانند. در این مطالعه از سامانه‌ی پرتو‌دهی الکترونی که در سال ۱۳۷۸ در مجتمع پرتو فرآیند شهرستان تفت (استان یزد) شروع به کار کرد استفاده شده است. این سامانه که از نوع شتاب‌دهنده‌ی الکترونی رودوترون TT200 می‌باشد، با انرژی بین ۵ تا ۱۰ میلیون الکترن ولت و توان باریک‌هی ۱۰۰ کیلو وات در فضایی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع، به منظور بهبود کیفیت مواد غذایی، ضد عفونی و استریل کردن در حال بهره‌برداری می‌باشد. [16]

۲-۲- آماده سازی نمونه

نمونه‌ی زعفران سرگل از برند نوین زعفران با گرید دارویی (ممتاز) تهیه و شماره گذاری شده و به دو گروه شاهد و نمونه تقسیم شدند. گروه شاهد (بدون پرتوتابی) در بسته‌بندی‌های پلیاتیلنی، داخل شیشه‌های تیره رنگ و به دور از رطوبت در دمای ۴

^۲ این تست برای ارزیابی توانایی مواد به عنوان آنتی اکسیدان‌ها (ترکیبات مهارکننده اکسیداسیون) در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد (مولکول‌های دارای الکترن‌های تخلیه شده) استفاده شده و با نام اختصاری DPPH یا ۲,۲-diphenyl-1-picrylhydrazyl معرفی می‌شود.

^۳ ارقام Kunri و Hybrid



درجه سانتیگراد نگهداری شد. گروه نمونه در بسته‌های ۲ گرمی (با تقریب ۰/۰۰۱ گرم) مطابق با استاندارد ملی^۴ آماده سازی شد. نمونه‌ها با سه تکرار برای هر دامنه دز (۱،۲،۳،۴ و ۵ کیلوگری) برای تیمار پرتوتابی با باریک‌های الکترون پرتوتابی شدند. آنالیز خصوصیات بیوشیمیایی، آزمایش‌های کیفی (کرو سین، پیکروکرو سین و سافرانال) و آنالیز بار میکروبی برای تیمار و شاهد، و همچنین مقایسه میانگین سه تکرار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد [۱۷].

۳- نتایج:

نتایج نشان داد که تیمار با دز ۳ کیلوگری باریک‌های الکترون نه تنها سبب از بین رفتن کلیه آلودگی‌های پس از برداشت شد بلکه خواص کیفی نمونه‌ها را نسبت به نمونه‌ی شاهد بهبود بخشید.

۳-۱- نتایج تیمار با باریک‌های الکترون بر روی میکروارگانیزمها^۵

نتایج نشان داد (جدول شماره ۱) میزان میکروارگانیزمها (شمارش کلی میکروبی، کلیفرم، قارچ و مخمر)، با افزایش دز پرتودهی باریک‌های الکترون رو به کاهش نهاده و در دز ۳ کیلوگری هیچ گونه بار میکروبی مشاهده نشد.

جدول ۱. تاثیر تیمار باریک‌های الکترون بر روی جمعیت میکروبی

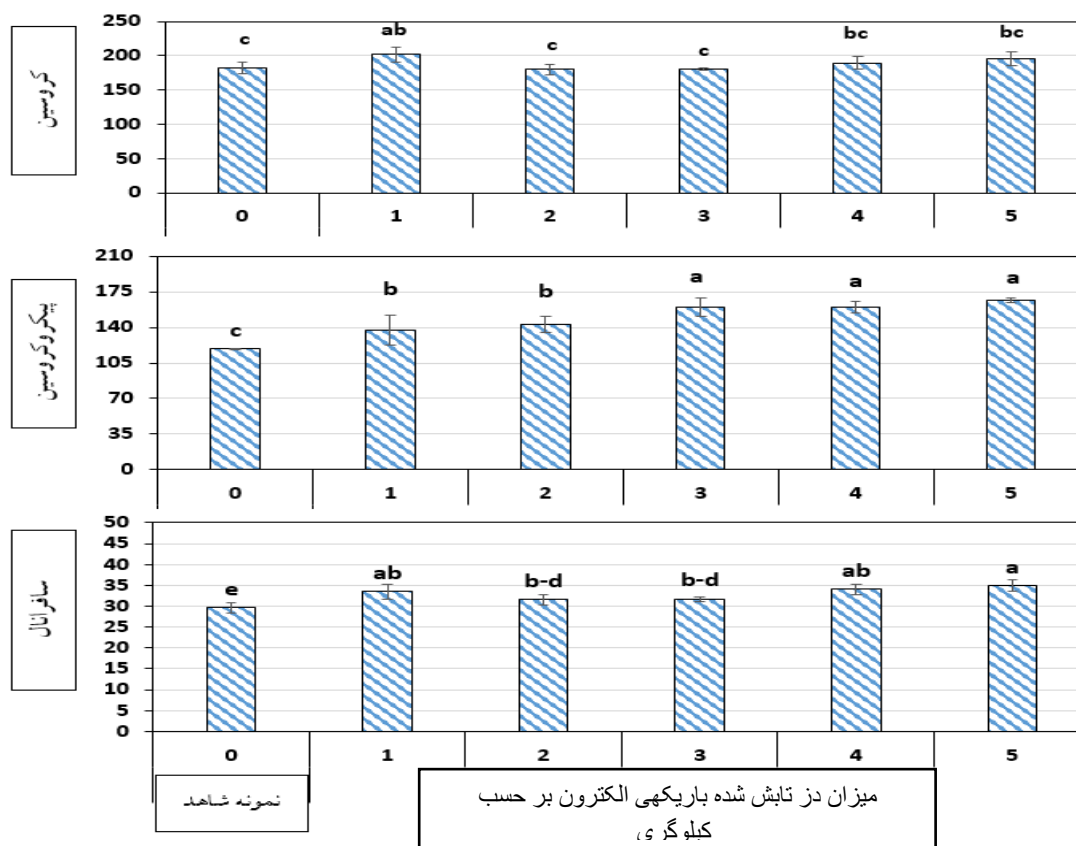
جمعیت میکروبی	دز پرتوتابی بر حسب کیلوگری				
	۰	۱	۲	۳	۴
شمارش کلی بار					
میکروبی	1.48×10^4	1.06×10^3	1.45×10^2	۰	۰
قارچ و مخمر	5.15×10^2	1.21×10^1	۰	۰	۰
کلیفرمها	9.09×10^1	۰	۰	۰	۰

۳-۲- نتایج تیمار با باریک‌های الکترون بر روی خواص کیفی

سه ترکیب کرو سین، پیکروکرو سین و سافرانال، به عنوان ترکیبات اصلی فعال شناخته شده بر زعفران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تیمار با باریک‌های الکترون نشان داد خواص کیفی نه تنها کاهش نیافتند، بلکه نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش نیز داشته‌اند.

^۴ ۳۶۵۹ نمونه برداری برای ادویه و چاشنیها و مطابق با استاندارد ملی ۲-۲۵۹

^۵ ریزسازواره، ریزندامگان یا میکروارگانیزم جاندارانیاند که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. ریزندامکان شامل باکتریها، مخمرها، ویروسها و برخی قارچها هستند.



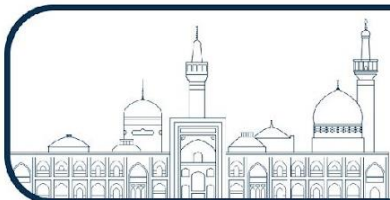
شکل ۱. تاثیر تابش باریکشی الکترون بر روی خواص کیفی زعفران^۶

۴- بحث و نتیجه گیری:

تغییرات ترکیبات اصلی زیست فعال در زعفران از موارد اصلی بررسی تاثیر تیمار باریکشی الکترون بوده و استفاده از این روش تنها با حذف بار میکروبی به صورت کامل و بهبود این ترکیبات اصلی امکان پذیر میگردد. سافر انال که اساس فرار زعفران و مسئول بو و عطر آن است، مطابق استاندارد^۷ طول موج مورد بررسی آن ۳۳۰ و حدود میزان آن در استاندارد ۲۰-۵۰ در نظر گرفته شد. از عوامل موثر دیگر در طعم و عامل رنگداهی به ترتیب پیکروکروسین و کروسین بوده است. این کمیتها به ترتیب دارای طول موج ۴۴۰ و ۲۵۷ نانومتر و میزان دارا بودن هر نمونه زعفران ممتاز در استاندارد برای هر یک از این کمیتها به ترتیب ۲۲۰ و ۸۵ بوده است [۱۹ و ۱۸]. نتایج بررسی میزان تاثیر تیمار با باریکشی الکترون بر روی زعفران ممتاز ایرانی با گرید دارویی، در پژوهش حاضر به این شرح میباشد که میزان بار میکروبی در زعفران از دز ۳ کیلوگری به بالاتر از بین رفت. خواص کیفی زعفران در دز ۳ تا ۵ کیلوگری نسبت به نمونه شاهد بهبود یافت. در پژوهش دیگری که به بررسی اثربخشی تابش الکترونی در کاهش آلودگیهای میکروبی زعفران برای دزهای ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگری پرداخته بود، نشان داد تاثیر تابش بر ویژگیهای شیمیایی زعفران نظیر تلخی،

^۶ حروف مختلف در هر ستون تفاوت معنی داری ($p < 0.05$) را بین دزهای مختلف نشان میدهد. (وجود حروف کوچک انگلیسی نشان دهنده تفاوت معنادار بین پارامترها میباشد).

^۷ استاندارد ملی زعفران ۱-۲۵۹ و ۲-۲۵۹



عطر و رنگ بسیار کم بوده است و دز ۵ کیلوگرمی توانسته بود تمام آلودگی میکروبی را از بین برده و در دز ۱۰ کیلوگرمی میزان خواص کیفی تا حدودی کاهش یافت [۲۰].

یافته‌های پژوهش فعلی نیز دز ۳ تا ۵ کیلوگرمی را برای از بین بردن بار میکروبی نشان داده، اما در بحث بهینه سازی دز باید توجه به میزان دز مصرفی کمتر با حفظ خواص کیفی داشت. بنابراین میتوان دز ۳ کیلوگرمی باریکه الکترون را دز مناسبی برای از بین بردن آلودگی میکروبی و بهبود خواص کیفی در زعفران ایرانی دانست.

۵- مراجع

[۱] Golpour-Hamedani, S., Pourmasoumi, M., Zarifi, S. H., Askari, G., Jamialahmadi, T., Bagherniya, M., & Sahebkar, A. (۲۰۲۴). Therapeutic effects of saffron and its components on neurodegenerative diseases. *Heliyon*.

[۲] Marrone, G., Urciuoli, S., Di Lauro, M., Cornali, K., Montalto, G., Masci, C., ... & Noce, A. (۲۰۲۴). Saffron (*Crocus sativus* L.) and Its By-Products: Healthy Effects in Internal Medicine. *Nutrients*, ۱۶(۱۴), ۲۳۱۹

[۳] Rashid, M., Rashid, R., Saroya, S., Deverapalli, M., Brim, H., & Ashktorab, H. (۲۰۲۴). Saffron as a Promising Therapy for Inflammatory Bowel Disease. *Nutrients*, ۱۶(۱۴), ۲۳۵۳.

[۴] Lachguer, K., Boudadi, I., Lachheb, M., Beraouz, I., El Merzougui, S., Ben El Caid, M., ... & Serghini, M. A. (۲۰۲۴). Saffron (*Crocus sativus* L.) Cultivation and Properties: A Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, ۳۶۵-۳۸۴.

[۵] Hasheminasab, F. S., Azimi, M., & Raeiszadeh, M. (۲۰۲۴). Therapeutic effects of saffron (*Crocus sativus* L) on female reproductive system disorders: A systematic review. *Phytotherapy Research*.

[۶] Patel, K. S., Dharamsi, A., Priya, M., Jain, S., Mandal, V., Girmé, A., ... & Hingorani, L. (۲۰۲۴). Saffron (*Crocus sativus* L.) extract attenuates chronic scopolamine-induced cognitive impairment, amyloid beta, and neurofibrillary tangles accumulation in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, ۳۲۶, ۱۱۷۸۹۸.

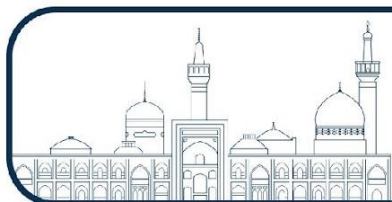
[۷] Soheilifar, M. H., Dastan, D., Masoudi-Khoram, N., Keshmiri Neghab, H., Nobari, S., Tabaie, S. M., & Amini, R. (۲۰۲۴). In vitro and in vivo evaluation of the diabetic wound healing properties of Saffron (*Crocus Sativus* L.) petals. *Scientific Reports*, ۱۴(۱), ۱۹۳۷۳

[۸] Yang, J., Pan, M., Han, R., Yang, X., Liu, X., Yuan, S., & Wang, S. (۲۰۲۴). Food irradiation: An emerging processing technology to improve the quality and safety of foods. *Food Reviews International*, ۴۰(۸), ۲۳۲۱-۲۳۴۳.

[۹] Gautam, S. (۲۰۲۴). Enhancing Food Security, Safety, and Sustainability via the Application of Radiation Technology. *Handbook on Radiation Environment*, Volume ۱: Sources, Applications and Policies, ۳۵۷-۳۸۱.

[۱۰] Shaltout, F. (۲۰۲۴). Functions of Irradiation and Its effects on the Food safety and Quality, *J. Women Health Care and Issues*, ۷(۶)

[۱۱] Shaltout, F. (۲۰۲۴). How we can use Irradiation in Food preservation?. *Hepatology*, ۳, ۱



[۱۲] Dhulipalla, H., & Mandapati, R. N. Emerging Applications of E-beam irradiation and Soft X-rays treatments on fresh produce and ready-to-eat foods (۲۰۲۳).

[۱۳] M. Heidarieh, M. Parsaeimehr, N. Sheikhzadeh, Use of gamma radiation for the antioxidant improvement of saffron [*Crocus sativus*] petal extract, *Radiochim. Acta.* ۱۱۱ (۲۰۲۳) ۹۱۹-۹۲۶.

[۱۴] Yang, X., Bai, J., Yongkang, X., Geng, Z., Zhang, Q., & Wang, J. (۲۰۲۴). Evaluation of electron beam irradiation on the microbiological, phytochemicals, and aromatic profiles of three paprika (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, ۹۸, ۱۰۳۸۶۹.

[۱۵] Muzzafar, M. A., Ali, S. W., Iqbal, M., Saeed, M., Ahmad, M., Tariq, M. R., ... & Riaz, M. (۲۰۲۴). Comparative evaluation of ethylene oxide, electron beam and gamma irradiation treatments on commonly cultivated red chilli cultivars (Kunri and Hybrid) of Sindh, Pakistan. *Heliyon*, ۱۰(۱).

[۱۶] A.M. Poursaleh, H. Khalafi, S. Haseltalab, M. Mortazavi, S.K.H. Mosavi, F. Ghasemi, K. Joker, A. Jomhori, Design and construction of the first Iranian powerful industrial electron accelerator, *Iran. J. Phys. Res.* ۱۵ (۲۰۱۹) ۱۳۷-۱۴۴.

[۱۷] Budrat, P., & Shotipruk, A. (۲۰۰۹). Enhanced recovery of phenolic compounds from bitter melon (*Momordica charantia*) by subcritical water extraction. *Separation and Purification Technology*, ۶۶, ۱۲۵- ۱۲۹. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2008.11.014>

[۱۸] Criado-Navarro, I., Ledesma-Escobar, C. A., Pérez-Juan, P., & Priego-Capote, F. (۲۰۲۴). Distribution of Main Bioactive Compounds from Saffron Species as a Function of Infusion Temperature and Time in an Oil/Water System. *Molecules*, ۲۹(۱۳), ۳۰۸۰.

[۱۹] Bagri, J., Singh, V. K., Gupta, K., Dkhar, J., Wani, A. A., Jain, M., ... & Pareek, A. (۲۰۲۴). Integrated Metabolomic and Transcriptomic Analysis Reveals Bioactive Compound Diversity in Organs of Saffron Flower. *Physiologia Plantarum*, ۱۷۶(۶), e۱۴۵۹۸.

[۲۰] Ghoddusi, H. B., & Glatz, B. (۲۰۰۳, October). Decontamination of saffron (*Crocus sativus* L.) by electron beam irradiation. In *I International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology* ۶۵۰ (pp. ۳۳۹-۳۴۴)



بررسی اثر پلاسمای سرد اتمسفری در جوانه‌زنی و رشد ساقه-چه و ریشه-چه بذر سویا (کد

مقاله : ۱۰۴۸)

مازندرانی، ابوالفضل^۱-رشاد، محمد^{۲*}-گودرزی، شروین^۱-کارگریان، آمنه^۱-جمالی، سولماز^۱-صدیقی، فرید^۱

۱. سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده پلاسما و گداحت هسته‌ای

۲. دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده :

پلاسمای سرد یکی از موثرترین روشهای تقویت جوانه‌زنی است. در این مقاله اثر پلاسمای سرد اتمسفری تولید شده در دستگاه^۱ DBD که در فشار اتمسفر و هوا تولید شده است) بر روی جوانه زنی بذر سویا مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. بذرها به مدت ۱۵ ثانیه تحت تیمار پلاسماهایی با توان ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات قرار گرفتند. اثرات تیمار پلاسمای سرد بر جوانه زنی بذرها و میزان رشد جوانه‌های سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که درصد جوانه زنی از ۸۶.۶ به ۱۰۰ در پلاسمای ۸۰ و ۱۲۰ وات افزایش یافته است. طول گیاهچه تیمار پلاسمای ۸۰ و ۱۲۰ وات به ترتیب ۳۲.۷ و ۳۵.۵٪ نسبت به شاهد افزایش داشته است. همچنین عکسهای SEM تغییرات سطحی و تخریب کوچک پوسته‌ی بذرها را نشان داد که میتواند دلیلی برای نفوذ بهتر آب و اکسیژن به جنین بذر باشد.

کلمات کلیدی: پلاسمای سرد اتمسفری، پلاسمای DBD^۱ افزایش جوانه زنی، سویا، SEM

The effect of atmospheric cold plasma on the rates of germination and root length and shoot length of soybean seed

Mazandarani, Abolfazl^۱ - Rashad, Mohammad^{۲*} - Goudarzi, Shervin^۱ - Kargarian, Ameneh^۱ - Jamali, Solmaz^۱ - Sedighi, Farid^۱

۱. Atomic Energy Organization of Iran, Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute

۲. Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Faculty of Physics and Energy Engineering, Nuclear Engineering Group

Abstract:

Cold plasma is one of the most effective methods of enhancing germination. In this paper, the effect of atmospheric cold plasma produced in the DBD device (produced at atmospheric pressure and air) on soybean seed germination was tested and investigated. Seeds were treated with plasmas with powers of ۴۰, ۸۰ and ۱۲۰ watts for ۱۵ seconds. The effects of cold plasma treatment on seed germination and soybean sprout growth were investigated. The results showed that the germination percentage increased from ۸۶.۶ to ۱۰۰ in ۸۰ W and ۱۲۰ W plasma treatments. The length of the seedlings treated with ۸۰ W and ۱۲۰ W plasma increased by

^۱ Dielectric Barrier Discharge[^]



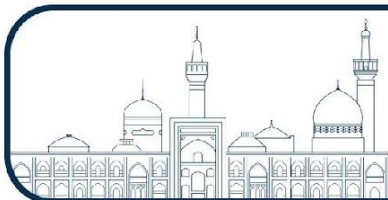
۳۲.۷% and ۳۵.۵%, respectively, compared to the control. Also, SEM images showed surface changes and minor damage to the soybean seed coat, which could be a reason for better penetration of water and oxygen into the seed embryo.

Key words: Atmospheric cold plasma, DBD plasma, increased germination, soybean, SEM

۱- مقدمه:

سویا به عنوان یک محصول دانه‌های روغنی در سبد کالای غذایی ضروری برای تامین نیازهای غذایی انسان و خوراک دام، نقش حیاتی در اقتصاد جهانی دارد [۱]. این محصول یکی از منابع اصلی تامین پروتئین، آهن و کلسیم در زنجیره غذایی انسان بوده و همچنین در تقویت ساختار ایمنی بدن انسان در مقابل بیماری‌های قلبی و عروقی نقش مهمی داشته و به همین دلیل از نظر اقتصادی و صنعتی یک محصول مهم شناخته میشود [۲-۵]. بذره‌های سویا دارای بیضه‌های ضخیم و غیر قابل نفوذ هستند که منجر به جوانه‌زنی ضعیف، زمان جوانه‌زنی طولانی و یکنواختی جوانه‌زنی کم میشود و این امر متعاقباً منجر به استقرار ضعیف و کاهش عملکرد میگردد [۶]. تقویت جوانه‌زنی، یکی از روشهای کاربردی در افزایش میزان تولید گیاهان از جمله سویا است. این روش که مستقیمترین راه برای افزایش میزان تولید سویا از طریق غلبه بر بافت ضخیم بذر است به دو روش فیزیکی (مانند قرار دادن بذر در معرض نور خورشید یا اشعه‌ی ماوراء بنفش و خیساندن با آب داغ) و شیمیایی (مانند استفاده از مواد شیمیایی و قارچ‌کش‌ها) انجام میگردد [۷]. علیرغم اینکه این روش‌ها می‌توانند تا حدودی جوانه‌زنی را تقویت کنند به دلیل زمان‌بر بودن و تولید بقایای شیمیایی، توصیه نمیشوند. در سالهای اخیر استفاده از فناوری پلاسما که یکی از روشهای بهبود رشد جوانه‌زنی دانه‌های روغنی و گیاهی بوده، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از دلایل روی آوردن به استفاده از این روش، سادگی پردازش آن بوده است [۸-۱۰]. به طور کلی پلاسمای غیر حرارتی شامل یون‌های مثبت و منفی، الکترون‌ها، اتم‌های خنثی، رادیکال‌های فعال متعدد، تابش‌های الکترومغناطیسی و میدان‌های الکتریکی قوی هستند، که از طریق تحریک فعالیتهای فیزیولوژیکی سبب بهبود رشد دانه‌های روغنی و گیاهی شده، همچنین ویژگیهای جوانه‌زنی گیاهان را به صورت بالقوه تغییر میدهند [۱۱ و ۱۲]. تیمارهای پلاسمایی، نفوذپذیری آب و اکسیژن به درون بذر را افزایش داده، و احتمال آسیب پذیری بذرها را کاهش داده و اثرات رفع آلودگی قابل قبولی دارند [۱۳ و ۱۴]. مطالعات مختلفی اثر پلاسمای غیر حرارتی (تخلیه سددی الکتریک و پلاسمای ماکروویو) بر روی بذره‌های سویا را مورد آزمایش قرار داده و افزایش جوانه‌زنی، حفظ محتوای فسفر، کلسیم و منیزیم، بدون تأثیر مخرب بر ساختار ثانویه پروتئین‌ها، در بذره‌های سویا را گزارش دادند. در این مطالعات بذره‌های سویا به طور مستقیم با پلاسمای سرد در شرایطهای مختلف زمان، توان و نوع پلاسما تیمار شدند [15-18].

با این حال گزارشات در مورد اثرات پلاسما بر بذر سویا محدود است و هدف از این مطالعه، بررسی اثر پلاسمای غیرحرارتی تخلیه سددی الکتریک (DBD) بر جوانه‌زنی، رشد گیاهیچه، مورفولوژی سطح و میزان جذب آب بذره‌های سویا است. بذره‌های سویا در پلاسمای DBD با توانهای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات به مدت ۱۵ ثانیه تیمار شدند.



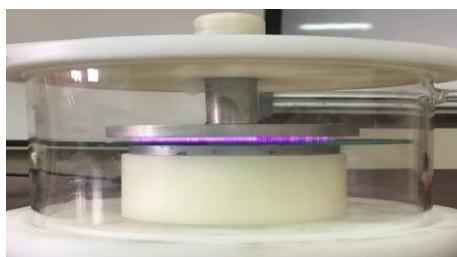
۲- مواد و روشها:

۱-۲- تجهیزات مولد پلاسما

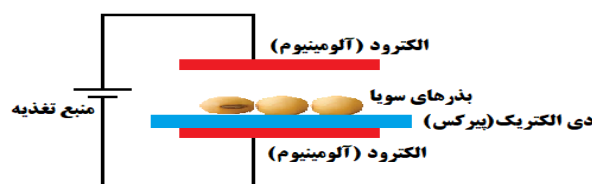
برای مولد پلاسما از یک دستگاه تخلیه سد دی الکتریک (DBD) با الکترودهای آلومینیومی دایره‌ای و دی الکتریک پیرکس به مشخصات فنی جدول زیر برای اصلاح بذرها استفاده شده است (شکل ۱). بذرهای ۱۵ ثانیه در پلاسماهای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات قرار گرفتند. بذرهای متناسب با شکل ۱ (الف) بر روی دی الکتریک قرار گرفتند.

به کار رفته DBD جدول ۱. مشخصات فنی دستگاه

ولتاژ (KV)	فرکانس (KHz)	توان (W)	جنس الکترودها	جنس دی الکتریک	فاصله فضای خالی بین الکترود و دی الکتریک	ضخامت دی الکتریک
۱۰-۴	۲۵	۴۰ و ۸۰ و ۱۲۰	آلومینیوم	پیرکس	۱-۷ میلی متر	۱-۳ میلی متر



(ب)



(الف)

شکل ۱. الف) شماتیک دستگاه و نحوه قرارگیری بذر در دستگاه و ب) دستگاه DBD به کار رفته

۲-۲- آزمایش جوانه‌زنی و گیاهی

ارزیابی جوانه‌زنی در شرایط آزمون جوانه‌زنی استاندارد انجمن بین المللی آزمون بذر (ISTA) به مدت هفت روز در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد در اتاقک رشد صورت گرفت. کلیه آزمایشها به صورت یک طرح کاملاً تصادفی برای بذر سویا رقم آرین با سه بار تکرار انجام شد. در این آزمایشها بذرهای با محلول هیپوکلریت سدیم ۳ درصد و محلول قارچ کش بنومیل ۲ در هزار، ضدعفونی و با آب مقطر آبکشی شدند. هر پتری‌دیش شیشه‌ای به کار رفته در این آزمایشها حاوی ۲۰ عدد بذر بود. در پایان دوره اجرای آزمایش، درصد جوانه‌زنی نهایی، شاخص ویگور، طول ریشه‌چه و ساقچه (به وسیله خط کشی با دقت ۱ میلی‌متر) نیز به روش زیر محاسبه شدند [۱۸ و ۱۹]. به طور کلی شاخص جوانه‌زنی، شاخص ویگور و طول گیاهچه رابطه مستقیمی با کیفیت و قدرت زیست بذرهای دارد. هر چه کیفیت بذرهای مناسب‌تر باشد درصد جوانه‌زنی، تعداد بذرهای جوانه‌زده و طول گیاهچه بیشتر و در نتیجه شاخص جوانه زنی و شاخص ویگور بالاتر خواهد بود. این صفات با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۸ و ۱۹]:

$$\text{درصد جوانه زنی نهایی} = (\text{تعداد بذرهای جوانه زده} / \text{تعداد کل بذرهای}) \times 100 \quad (۱)$$

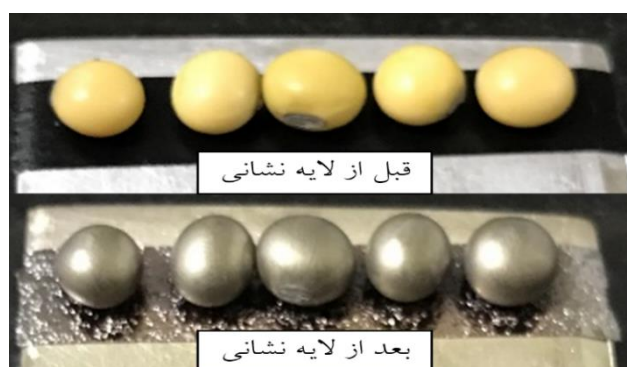


شاخص ویگور = درصد جوانه زنی نهایی $\times$ طول گیاهچه (مجموع ساقه چه و ریشه چه)

(۲)

۲-۳- عکسهای میکروسکوپ الکترونی

به منظور بررسی مورفولوژی سطح بذرها و مقایسه بین بذرهای شاهد با بذرهای تیمار شده با پلاسما از سطح بذرها عکس برداری با میکروسکوپ الکترونی (SEM) صورت گرفته است. برای عکس برداری از سطح بذرها ابتدا توسط دستگاه لایه نشانی، یک لایه نازک طلا روی بذرها نشانداده می‌شود. شکل زیر برخی از بذرهای سویا قبل و بعد از لایه نشانی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. بذرهای سویا (قبل و بعد از لایه‌نشانی)

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری

در ابتدا وضعیت نرمال بودن تمامی داده‌ها توسط آزمون نرمالیتی بررسی شده و در صورت نیاز تغییر و تبدیل مناسب داده‌ها انجام شد. ضرایب همبستگی با استفاده از روش همبستگی پیرسون محاسبه شدند. جهت تجزیه و تحلیل آماریات نرم افزار SAS و مقایسه میانگینها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۰.۰۵ انجام شد. جهت تحلیل و بررسی داده‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد. [19]

۳- نتایج:

۳-۱- بهبود جوانه‌زنی با پلاسما

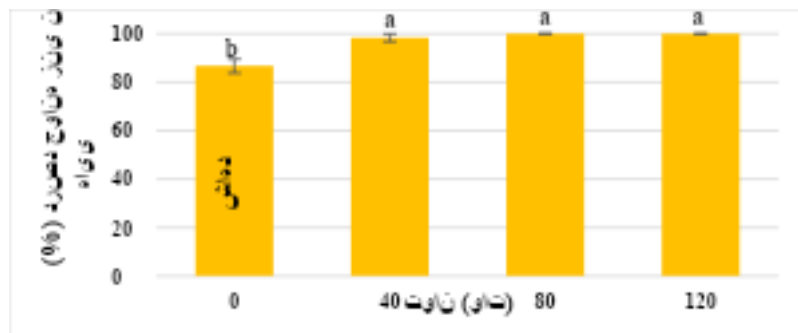
با توجه به نمودار شکل ۳، نتایج درصد جوانه‌زنی نهایی بذر سویا نشان داد که با افزایش توان پلاسما در مقایسه با بذر شاهد میزان درصد جوانه‌زنی نهایی به‌صورت معنی داری افزایش پیدا کرد و این مورد را میتوان به افزایش نفوذ آب و اکسیژن به داخل بذر به عنوان یک عامل کلیدی در راه‌اندازی واکنشهای مورد نیاز در شرایط جوانه‌زنی نسبت داد. در پژوهشهایی با استفاده از پلاسمای فشار اتمسفر سرد (CAP)^۹ پتانسیل جوانه‌زنی مورد بررسی دقیق قرار گرفت. میزان شاخص جوانه‌زنی در این پژوهشها تا حدود ۲۰ درصد و بیشتر افزایش داشته و همچنین بنیه بذر و طول گیاهچه نیز افزایش چشمگیری یافته است.

این بررسیها نشان داد که نمونه‌ها در دوره‌های درمان ۶۰ و ۱۸۰ ثانیه نتایج بهینه‌ای را ارائه داد. تاثیر پلاسما بر پاسخ

^۹ Cold Atmospheric Pressure Plasma



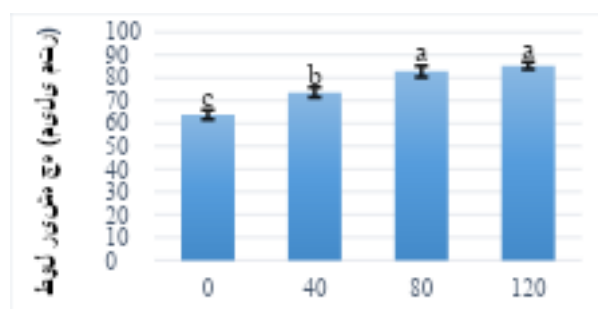
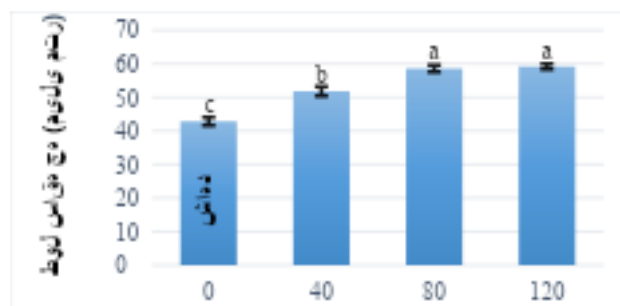
آنتیاکسیدانی نهالها، جوانه زنی بذر و ویژگیهای رشد مشروط به مدت زمان تیمار بود [۲۰ و ۲۱]. در مجموعه آزمایش، هیچ اثر منفی ظاهری بر جوانه‌زنی بذر مشاهده نشد. نتایج نشان می‌دهد تیمار پلاسما در توانهای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات نسبت به بذره‌ای شاهد، به ترتیب ۱۳.۵، ۱۵.۴ و ۱۵.۴ درصد در جوانه‌زنی افزایش داشته است. پلاسما به عنوان یک روش اثرگذار در جوانه‌زنی میتواند آینده روشنتری داشته باشد.

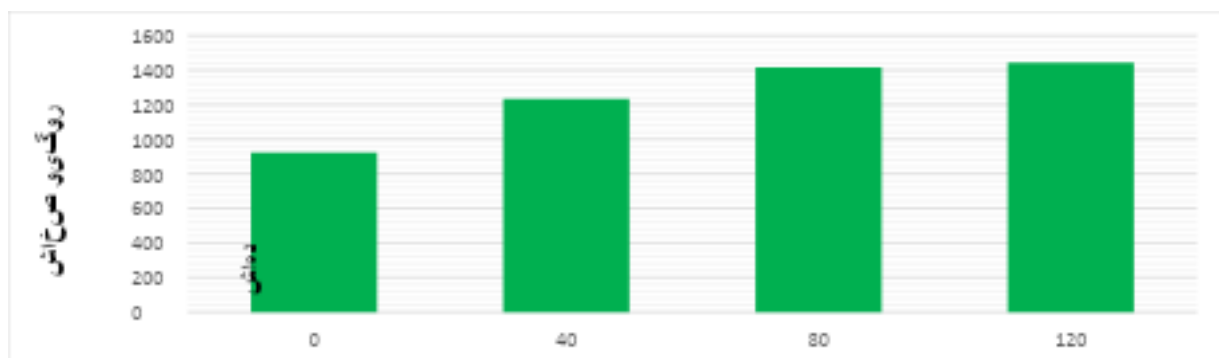
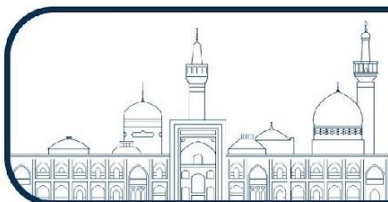


شکل ۳. درصد جوانه‌زنی نهایی بذر سویا

طول ساقچه و ریشه‌چه پس از ۷ روز، اندازه‌گیری شد. مطابق شکل ۴ مشاهده میشود که بذره‌ای تیمار شده با پلاسما بیشتر از شاهد رشد کرده و پلاسمای ۸۰ و ۱۲۰ وات برای بذره‌ای سویا اثر بخشی بهتری داشته است. در تحقیقات دیگری نیز نشان داده که تیمارهای پلاسما تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه داشتند و تیمار ۸۰ وات بیشترین اثر تحریکی را داشته و این شاخصها را تا حدود ۶۳.۳۳ درصد افزایش داد [۲۲]. نتایج نشان می‌دهد تیمارهای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات در صفت طول گیاهچه، به ترتیب ۱۷.۷، ۳۲.۷ و ۳۵.۵ درصد نسبت به بذره‌ای شاهد افزایش داشته‌است. شاخص ویگور بدست آمده در این مطالعات مطابق شکل ۴ است. تیمار با پلاسمای ۸۰ و ۱۲۰ وات بیشترین اثر شاخص ویگور (به ترتیب ۵۳.۱٪ و ۵۶.۴٪ افزایش نسبت به شاهد) را در بذره‌ای سویا داشته است.

۳۹

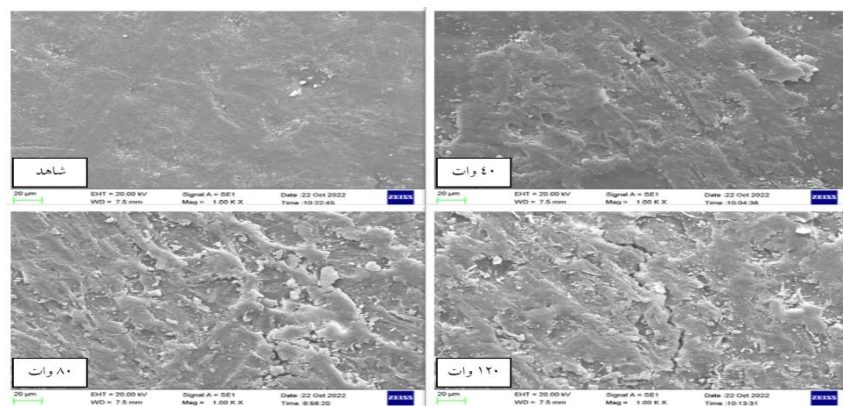




شکل ۴. اندازه ساقه‌چه (چپ) و ریشه‌چه (راست) بذر سویا

۳-۲- عکس برداری SEM از سطح بذره‌ای تیمار شده

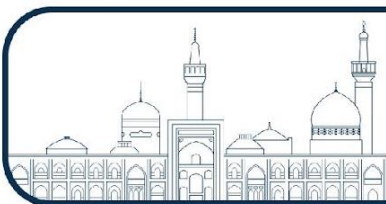
یکی از روش‌های تشخیص دقیق تاثیر پلاسما بر روی جوانه‌زنی سطح بذر SEM می باشد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده میکنید، ترک‌هایی در سطح بذره‌ای تیمار شده با پلاسما ایجاد شد که با افزایش توان پلاسما حجم و تعداد این ترک‌ها افزایش یافت. این ترک‌ها میتواند علت اصلی تغییر در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه باشد. همچنین به نظر می رسد، پلاسما پوسته ضخیم سویا را برای جنین شکنده کرد تا به راحتی جوانه زنی اتفاق بیافتد. در واقع با جذب آب، اکسیژن و املاح بیشتر، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه افزایش مییابد.



شکل ۵. عکس SEM از سطح بذر تیمار شده (شاهد، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ وات)

۴- بحث و نتیجه گیری:

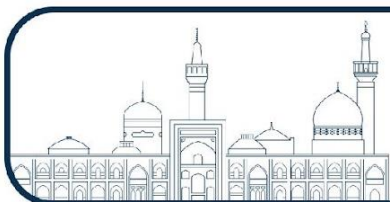
در این مطالعه اثر پلاسمای سرد بر بذره‌ای سویا (رقم آراین) مورد آزمایش قرار گرفت و با توجه به نتایج جوانه‌زنی و طول گیاهچه مشخص شد که درمان پلاسما اثر تحریکی مثبتی بر سویا دارد. تصاویر SEM نشان داد که پلاسمای سرد DBD، سطوح صاف و روغنی بذره‌ای سویا را به سطوح ترک خورده، غیر صاف، غیر روغنی، نازک و شکننده تبدیل کرد. این تعبیر برای رشد جنین با توجه به درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه بدست آمده در نتایج مفهوم عملکرد مطلوب را دارد. نتایج نشان داد پلاسمای ۸۰ و ۱۲۰ وات توانست در طول گیاهچه، به ترتیب رشد ۳۲.۷٪ و ۳۵.۵٪ نسبت به شاهد را ایجاد کند. این امر میتواند اثبات کننده افزایش



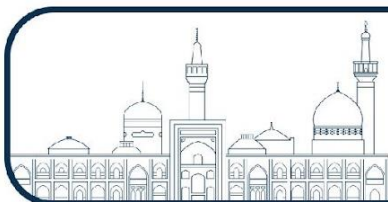
نفوذ آب به درون بذر و در نتیجه افزایش جوانه‌زنی و قدرت ظهور ساقچه و ریشه‌چه در مقایسه با شاهد باشد [۱۸ و ۱۹]. نتایج کلی در این مطالعه نشان داد که تمام تیمارهای پلاسما اثر مثبتی بر بذره‌ای سویا داشت و هیچ اثر منفی تا ۱۲۰ وات دیده نشد و می‌توان گفت، پلاسما به عنوان یک روش موثر، سریع و ارزان در افزایش جوانه‌زنی سویا به شمار می‌آید.

۵- مراجع:

- [۱]Anbarasan, R., Boopathy, B., Stephen, J., & Radhakrishnan, M. (۲۰۲۳). Cold plasma disinfection of *Callosobruchus maculatus* infested soybeans: Its subsequent impact on soymilk extraction yield and quality. *Journal of Food Process Engineering*, ۴۶(۲), e۱۴۲۴۶.
- [۲]Ramlal, A., Mehta, S., Nautiyal, A., Baweja, P., Shivam, Sharma, D., ... & Rajendran, A. (۲۰۲۴). Androgenesis in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): A critical revisit. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, ۶۰(۱), ۱-۱۵
- [۳]Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (۲۰۱۹). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, ۸(۱), ۱-۱۰
- [۴]Nair, R. M., Boddepalli, V. N., Yan, M. R., Kumar, V., Gill, B., Pan, R. S., ... & Somta, P. (۲۰۲۳). Global status of vegetable soybean. *Plants*, ۱۲(۳), ۶۰۹.
- [۵]Swallah, M. S., Yang, X., Li, J., Korese, J. K., Wang, S., Fan, H., ... & Huang, Q. (۲۰۲۳). The pros and cons of soybean bioactive compounds: An overview. *Food Reviews International*, ۳۹(۸), ۵۱۰۴-۵۱۳۱.
- [۶]Ling, L., Jiafeng, J., Jiangang, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., & Yuanhua, D. (۲۰۱۴). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific reports*, ۴(۱), ۵۸۵۹.
- [۷]Benabderrahim, M. A., Bettaieb, I., Hannachi, H., Rejili, M., & Dufour, T. (۲۰۲۴). Cold plasma treatment boosts barley germination and seedling vigor: Insights into soluble sugar, starch, and protein modifications. *Journal of Cereal Science*, ۱۱۶, ۱۰۳۸۵۲.
- [۸]Šerá, B., Scholtz, V., Jirešová, J., Khun, J., Julák, J., & Šerý, M. (۲۰۲۱). Effects of non-thermal plasma treatment on seed germination and early growth of leguminous plants—A review. *Plants*, ۱۰(۸), ۱۶۱۶.
- [۹]Švubová, R., Kyzek, S., Medvecká, V., Slováková, L., Gálová, E., & Zahoranová, A. (۲۰۲۰). Novel insight at the effect of cold atmospheric pressure plasma on the activity of enzymes essential for the germination of pea (*Pisum sativum* L. cv. Prophet) seeds. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, ۴۰, ۱۲۲۱-۱۲۴۰
- [۱۰]Bozhanova, V., Marinova, P., Videva, M., Nedjalkova, S., & Benova, E. (۲۰۲۴). Effect of Cold Plasma on the Germination and Seedling Growth of Durum Wheat Genotypes. *Processes*, ۱۲(۳), ۵۴۴.
- [۱۱]Sayahi, K., Sari, A. H., Hamidi, A., Nowruz, B., & Hassani, F. (۲۰۲۴). Application of cold argon plasma on germination, root length, and decontamination of soybean cultivars. *BMC Plant Biology*, ۲۴(۱), ۵۹.
- [۱۲]Lu, X., George V. Naidis, Mounir Laroussi, Stephan Reuter, David B. Graves, and Ken Ostrikov. "Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: Generation, transport, and biological effects." *Physics Reports* ۶۳۰ (۲۰۱۶): ۱-۸۴



- [۱۳] Guragain, R. P., Kierzkowska-Pawlak, H., Fronczak, M., Kędzierska-Sar, A., Subedi, D. P., & Tyczkowski, J. (۲۰۲۴). Germination improvement of fenugreek seeds with cold plasma: exploring long-lasting effects of surface modification. *Scientia Horticulturae*, ۳۲۴, ۱۱۲۶۱۹
- [۱۴] Zhang, Q., Cheng, Z., Zhang, J., Nasiru, M. M., Wang, Y., & Fu, L. (۲۰۲۱). Atmospheric cold plasma treatment of soybean protein isolate: Insights into the structural, physicochemical, and allergenic characteristics. *Journal of Food Science*, ۸۶(۱), ۶۸-۷۷.
- [۱۵] Zhang, J. J., Kwon, T., Kim, S. B., & Jeong, D. K. (۲۰۱۸). Plasma farming: Non-thermal dielectric barrier discharge plasma technology for improving the growth of soybean sprouts and chickens. *Plasma*, ۱(۲), ۲۸۵-۲۹۶.
- [۱۶] Sinegovskaya, V. T., Kamanina, L. A., Vasil'ev, M. M., & Petrov, O. F. (۲۰۱۹). Effect of plasma treatment of soybean seeds on their quality and development of seedlings. *Russian Agricultural Sciences*, ۴۵, ۲۶-۲۹
- [۱۷] Ji, W., Li, M., Yang, T., Li, H., Li, W., Wang, J., & Ma, M. (۲۰۲۲). Effect of cold plasma on physical-biochemical properties and nutritional components of soybean sprouts. *Food Research International*, ۱۶۱, ۱۱۱۷۶۶
- [۱۸] Sayahi, K., Sari, A. H., Hamidi, A., Nowruzi, B., & Hassani, F. (۲۰۲۴). Application of cold argon plasma on germination, root length, and decontamination of soybean cultivars. *BMC Plant Biology*, ۲۴(۱), ۵۹.
- [۱۹] Mazandarani, A., Goudarzi, S., Ghafoorifard, H., & Eskandari, A. (۲۰۲۰). Evaluation of DBD plasma effects on barley seed germination and seedling growth. *IEEE Transactions on Plasma Science*, ۴۸(۹), ۳۱۱۵-۳۱۲۱.
- [۲۰] Sayahi, K., Sari, A. H., Hamidi, A., Nowruzi, B., & Hassani, F. (۲۰۲۴). Evaluating the impact of Cold plasma on Seedling Growth properties, seed germination, and soybean antioxidant enzyme activity. *BMC biotechnology*, ۲۴(۱), ۹۳.
- [۲۱] Švubová, R., Slováková, L., Holubová, L., Rovňanová, D., Gálová, E., & Tomeková, J. (۲۰۲۱). Evaluation of the impact of cold atmospheric pressure plasma on soybean seed germination. *Plants*, ۱۰(۱), ۱۷۷.
- [۲۲] Ling, L., Jiafeng, J., Jiangang, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., & Yuanhua, D. (۲۰۱۴). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific reports*, ۴(۱), ۵۸۵۹.



اثرات مهارکنندگی زهر زنبور عسل فراوری شده با پرتو گاما بر رشد و بقای رده سلولی سرطان پستان (کد مقاله: ۱۱۰۱)

شورنگ، پروین^۱ - بادپیا، فاطمه^۲ - روشن، رضا^۱

^۱ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

^۲ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

به منظور مطالعه خواص ضدسرطانی زهر زنبور عسل فراوری شده با دزهای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ کیلوگری پرتو گاما از رده سلولی سرطان پستان (MDA-MB-453) استفاده شد. برای تعیین میزان سمیت سلولی ۵ نمونه زهر زنبور عسل در ۵ غلظت ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ میکروگرم در میلیلیتر در زمانهای ۱، ۳، ۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت توانایی زیستی سلولها با روش MTT مطالعه شد. پرتوتابی اثر منفی بر خواص ضدسرطانی زهر زنبور عسل نداشت ($P > 0.05$) و درصد بقای رده سلولی سرطان سینه در تیمارهای مختلف یکسان بود. درصد بقای سلولی با افزایش غلظت و زمان انکوباسیون افزایش یافت ($P < 0.05$). پرتوتابی با دز زیر ۸ کیلوگری اثر منفی بر خواص ضدسرطانی زهر زنبور عسل ندارد.

کلمات کلیدی: پرتوتابی گاما، زهر زنبور عسل، سمیت سلولی، سرطان پستان

Inhibitory effects of gamma irradiated honey bee venom on growth and survival of breast cancer cell line

Shawrang, Parvin^{*۱}, Badipa, Fatemeh^۲, Roshan, Reza^۱

^۱ Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research

Institute, Atomic Energy Organization of Iran

^۲ Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research

Institute, Atomic Energy Organization of Iran

Abstract

The breast cancer cell line (MDA-MB-453) was used in order to study the anticancer properties of bee venom treated with doses of ۰، ۲، ۴، ۶ and ۸ kGy gamma rays. To determine the cytotoxicity of ۵ samples of bee venom at ۵ concentrations of ۲.۵، ۵، ۷.۵، ۱۰ and ۱۵ micrograms per milliliter at times of ۱، ۳، ۶، ۲۴ and ۴۸ hours, the biological ability of cells was examined using the MTT method. According to the results, irradiation had no negative effect on the anticancer properties of bee venom ($P > 0.05$) and the percentage of survival of the breast cancer cell line was the same for the different treatments. The percentage of surviving cells increased with increasing concentration and incubation time ($P < 0.05$). Irradiation with a dose below ۸ kGy has no negative effects on the anticancer properties of the bee venom. **Keywords:** Gamma radiation, bee venom, cytotoxicity, breast cancer



۱- مقدمه:

زهر زنبورعسل به دلیل داشتن ترکیبات زیست فعال، دارای خواص درمانی است و به طور وسیع در صنعت داروسازی و آپیتراپی کاربرد دارد [۱]. با وجود خواص درمانی زهر زنبورعسل به دلیل داشتن ترکیبات آلرژن شامل آنزیمهای فسفولیپاز و هیالورونیداز، پپتید ملیتین، آمینهای بیوژنیک مانند هیستامین، دوپامین و نوراپی نفرین میتواند باعث آنافیلاکسی شود. پرتوتابی گاما، از مؤثرترین روشها برای کاهش سمیت زهر است. پرتوتابی گاما این قابلیت را دارد که با تغییر در ساختار عوامل آلرژن و کاهش سمیت زهر [۲] با حفظ خواص درمانی آن [۳] برای فراوری زهر زنبورعسل مورد استفاده قرار گیرد. به منظور حذف ترکیبات آلرژن زهر زنبورعسل و امکان تجویز آن برای تمام افراد بدون ایجاد حساسیت، مطالعاتی بر روی خواص ضدالتهابی و ضد میکروبی زهر پرتوفراوری شده زنبورعسل انجام شد [۴] و [۵] ولی سایر خواص درمانی آن از جمله خواص ضدسرطانی زهر پرتوفراوری شده زنبورعسل مطالعه نشده است. برای تایید محصول زهر زنبورعسل پرتوتابی شده انجام تستهای مذکور ضرورت دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی کیفیت خواص ضدسرطانی و توان زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده در مهار رشد و بقای رده سلولی سرطان پستان انجام شد.

۲- روش کار:

۲-۱- تهیه زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده

زهر زنبورعسل استحصال شده با استفاده از دستگاه زهرگیر اصغریور در آذربایجان شرقی تهیه شد. پرتوتابی نمونههای زهر زنبورعسل با دز ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ کیلوگری گاما در پژوهشکده کاربرد پرتوها با دستگاه گاماسل تحقیقاتی GC-۲۲۰ دارای چشمه کبالت-۶۰ با اکتیویته ۴۳۵ کوری انجام شد. پرتوتابی گاما با نرخ متوسط ۱/۰۵ گری در ثانیه و با دقت بیش از ۹۰ درصد صورت گرفت.

۲-۲- کشت و نگهداری سلولها

رده سلول سرطانی MDA-MB-۲۳۱ از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی- کرج خریداری و در محیط کشت RPMI-۱۶۴۰ حاوی ۱۰ درصد سرم جنین گوساله (FCS) در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و ۵ درصد CO₂ کشت داده شد و هر ۳ روز یکبار محیط کشت آن تعویض شد.

۲-۳- سنجش سمیت سلولی با روش MTT

سنجش سمیت سلولی به روش رنگ سنجی با استفاده از ۳-(۴،۵-دی متیل-۲-تيازولیل)-۵،۲-دی فنیل-تترازولیوم برومید (MTT) براساس فعالیت آنزیم سوکسینات دهیدروژناز میتوکندریایی سلولهای زنده انجام شد. محلول زرد رنگ MTT در اثر فعالیت این آنزیم، به کریستالهای بنفش رنگ فورمازان تبدیل میشود. برای این منظور ابتدا مقدار ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون سلولی حاوی ۵۱۰ سلول در هر چاهک پلیت ۹۶ خانه ریخته شد. پس از یک شب انکوباسیون در انکوباتور CO₂ دار در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و ۵ درصد CO₂ غلظتهای مختلف زهر پرتوفراوری شده در ۳ تکرار به چاهکها اضافه شد. برای هر زمان انکوباسیون یک پلیت ۹۶ خانه در نظر گرفته شد و پس از سپری شدن زمانهای ۱، ۳، ۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت انکوباسیون در انکوباتور CO₂ دار در دمای ۳۷ درجه سلسیوس ۱۰۰ میکرولیتر محلول MTT با غلظت ۵ میلیگرم در میلی لیتر به هر چاهک اضافه و به مدت ۴ ساعت انکوباسیون شد. سپس مقدار ۱۰۰ میکرولیتر DMSO در هر چاهک جایگزین محلول قبلی شد و پس از ۲۰ دقیقه مقدار جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر به وسیله دستگاه الیزاریدر (Tecan Sunrise) خوانش شد. درصد بقای سلولی به صورت نسبت OD نمونههای مورد آزمایش (زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده) به OD کنترل (بدون استفاده از زهر زنبورعسل) محاسبه شد. غلظتی از زهر که درصد بقای سلولی را به نصف کاهش داد به عنوان IC₅₀^{۱۰} در نظر گرفته شد.

^{۱۰} Half-maximal inhibitory concentration



۴-۲- تحلیل آماری داده‌ها

آزمایشات در قالب قالب طرح مربع لاتین با ۵ تیمار، ۵ زمان و ۵ غلظت تجزیه واریانس شد. مقایسه میانگینها با استفاده از آزمون دانکن و سطح معنیداری ۵ درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار آماری SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج:

۳-۱- درصد بقای رده سلول سرطانی MDA-MB-۴۵۳

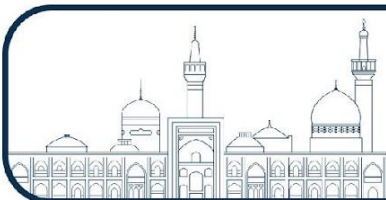
طبق نتایج آزمایش MTT، پرتوتابی تأثیر منفی بر خواص ضدسرطانی زهر زنبورعسل نداشت و درصد بقای رده سلولی سرطان سینه بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار نداشت ($P > 0.05$). غلظت زهر و زمان انکوباسیون اثر معنی‌دار بر درصد بقای رده سلولی سرطان پستان داشت ($P < 0.05$). نتایج غلظت‌های زهر زنبورعسل و زمانهای مختلف انکوباسیون نشان داد که درصد بقای سلولی با افزایش غلظت و زمان انکوباسیون افزایش یافت. کمترین بقای سلولی در غلظت ۲/۵ و ۵ و ۷ میکروگرم در میلیلیتر زهر زنبورعسل و زمان انکوباسیون ۱ ساعت بود.

جدول ۱- اثر غلظت و زمان انکوباسیون زهر زنبورعسل پرتوافزوری شده بر درصد بقای رده سلول سرطانی MDA-MB-۴۵۳

۴۵۳

عدم درج حروف در هر درج حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد

تیمار	غلظت ($\mu\text{gr/ml}$)	۱ ساعت	۳ ساعت	۶ ساعت	۲۴ ساعت	۴۸ ساعت
۰ کیلوگرمی	۵/۲	۵۲۵/۵۶	۵۲۹/۶۱	۵۱۳/۶۶	۵۱۱/۷۲	۵۳۸/۷۴
۲ کیلوگرمی		۵۷۳/۵۳	۵۶۱/۵۹	۵۸۵/۶۴	۵۷۵/۷۱	۵۱۴/۷۵
۴ کیلوگرمی		۵۵۷/۵۴	۵۹۳/۵۷	۵۱۲/۶۲	۵۳۵/۷۲	۵۷۰/۷۳
۶ کیلوگرمی		۵۶۷/۵۶	۵۷۷/۵۸	۵۲۵/۶۴	۵۴۹/۷۲	۵۴۶/۷۳
۸ کیلوگرمی		۵۶۱/۵۹	۵۱۰/۶۳	۵۴۵/۶۵	۵۸۹/۷۱	۵۱۰/۷۲
۰ کیلوگرمی	۵	۵۶۷/۵۶	۵۲۳/۶۴	۵۵۸/۷۱	۵۱۵/۷۴	۵۵۲/۷۹
۲ کیلوگرمی		۵۸۷/۵۳	۵۴۹/۶۵	۵۶۳/۷۴	۵۲۱/۷۵	۵۳۶/۷۹
۴ کیلوگرمی		۵۸۹/۵۲	۵۸۷/۶۲	۵۷۱/۷۳	۵۴۵/۷۶	۵۵۹/۷۸
۶ کیلوگرمی		۵۱۵/۵۴	۵۷۷/۶۱	۵۲۶/۷۰	۵۸۵/۷۵	۵۵۶/۷۹
۸ کیلوگرمی		۵۴۱/۵۵	۵۰۳/۶۲	۵۲۳/۷۲	۵۱۹/۷۴	۵۵۲/۷۸
۰ کیلوگرمی	۵/۷	۵۹۳/۵۷	۵۴۵/۶۰	۵۱۹/۷۴	۵۰۶/۷۵	۵۲۳/۸۴
۲ کیلوگرمی		۵۷۵/۵۶	۵۴۹/۶۲	۵۹۲/۷۳	۵۱۴/۷۴	۵۳۶/۸۱
۴ کیلوگرمی		۵۰۱/۵۴	۵۷۱/۶۱	۵۵۴/۷۱	۵۸۸/۷۷	۵۳۳/۸۶
۶ کیلوگرمی		۵۷۳/۵۳	۵۲۹/۶۱	۵۶۰/۷۲	۵۵۹/۷۶	۵۷۵/۸۵
۸ کیلوگرمی		۵۶۷/۵۶	۵۱۳/۶۲	۵۱۰/۷۴	۵۲۴/۷۵	۵۱۴/۸۵
۰ کیلوگرمی	۱۰	۵۵۹/۶۷	۵۹۴/۷۰	۵۱۹/۷۲	۵۹۲/۷۸	۵۱۵/۸۴
۲ کیلوگرمی		۵۴۲/۶۸	۵۲۰/۷۲	۵۳۶/۷۴	۵۷۶/۷۹	۵۶۶/۸۷
۴ کیلوگرمی		۵۰۳/۶۵	۵۳۳/۷۱	۵۵۸/۷۵	۵۱۲/۷۸	۵۵۲/۸۶
۶ کیلوگرمی		۵۰۹/۶۷	۵۶۵/۷۳	۵۹۸/۷۰	۵۴۲/۷۷	۵۱۰/۸۴
۸ کیلوگرمی		۵۹۱/۶۵	۵۹۴/۷۰	۵۲۹/۷۳	۵۲۴/۸۰	۵۰۶/۸۶
۰ کیلوگرمی	۱۵	۵۶۸/۷۰	۵۱۶/۷۳	۵۳۴/۷۶	۵۹۱/۷۹	۵۱۳/۸۶
۲ کیلوگرمی		۵۴۴/۷۱	۵۸۰/۷۴	۵۲۵/۷۶	۵۵۰/۷۸	۵۰۱/۸۲
۴ کیلوگرمی		۵۹۴/۷۰	۵۱۴/۷۵	۵۸۹/۷۴	۵۷۴/۷۸	۵۵۴/۸۳
۶ کیلوگرمی		۵۵۵/۷۲	۵۱۷/۷۶	۵۰۲/۷۸	۵۳۰/۷۸	۵۸۲/۷۶
۸ کیلوگرمی		۵۶۱/۷۱	۵۶۸/۷۴	۵۰۳/۷۶	۵۸۲/۷۹	۵۲۲/۸۵
SEM		۱۱۲/۳	۱۰۳/۴	۰۸۹/۴	۱۰۲/۳	۶۵۱/۴



۳-۲- زهر زنبورعسل IC₅₀

IC₅₀ زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده با دزهای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ کیلوگری با هم تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$)؛ ولی با افزایش زمان انکوباسیون مقدار آن افزایش پیدا کرد ($P < 0.05$). IC₅₀ زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده با دز ۶ کیلوگری در زمان ۱، ۳، ۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت انکوباسیون به ترتیب ۵/۵۲، ۸/۷۱، ۱۰/۳۰، ۱۲/۰۹ و ۱۳/۱۹ میکروگرم در میلیلیتر بود. دز ۶ کیلوگری در سایر آزمایشات قبلی به عنوان دز مناسب انتخاب شده بود [۴-۵].

جدول ۲: IC₅₀ زهر زنبورعسل پرتوفراوری شده در زمانهای مختلف انکوباسیون (میکروگرم در میلیلیتر)

تیمار	۱ ساعت	۳ ساعت	۶ ساعت	۲۴ ساعت	۴۸ ساعت	SEM
۰ کیلوگری	۵/۹۱	۹/۴۳	۱۰/۶۹	۱۲/۵۹	۱۴/۸۶	۲/۲۴۵
۲ کیلوگری	۵/۵۸	۹/۲۱	۱۰/۷۳	۱۲/۴۷	۱۳/۸۹	۲/۱۲۶
۴ کیلوگری	۵/۴۶	۸/۷۶	۱۰/۲۶	۱۲/۲۸	۱۴/۲۹	۲/۲۱۵
۶ کیلوگری	۵/۵۲	۸/۷۱	۱۰/۳۰	۱۲/۰۹	۱۳/۱۹	۲/۳۲۴
۸ کیلوگری	۵/۲۵	۸/۳۳	۹/۷۸	۱۱/۳۱	۱۳/۱۱	۲/۱۴۹

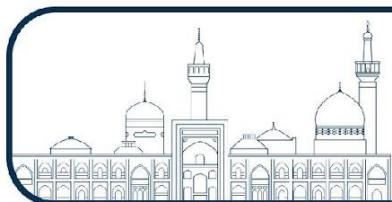
درج حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد

۴- بحث و نتیجه گیری:

طبق نتایج این پژوهش، بقای سلولهای سرطان پستان MDA-MB-۴۵۳ در حضور غلظتهای مختلف زهر پرتوفراوری شده کاهش پیدا کرد. زهر زنبورعسل از طریق القای آپوپتوز و بیان سیکلواکسیژناز در سلولهای سرطانی سبب مهار تکثیر سلولهای سرطانی میشود [۱۰]. آپوپتوز یک فرایند طبیعی برای ترمیم بافت و حذف سلولهای آسیب‌دیده و مضر است و تحت کنترل دو مسیر درونی (میتوکندریایی) و بیرونی (گیرنده‌های مرگ) است. مسیر درونی در صورت آسیب DNA و اختلالات فاکتورهای رشد فعال میشود و افزایش تولید سیتوکرومها در غشای میتوکندریها سبب تغییر نفوذپذیری غشا و فعالیت میتوکندری میشود. به دنبال آسیب غشای میتوکندری، سیتوکرومهای C درون سیتوپلاسم آزاد شده و روند آپوپتوز آغاز میشود. مسیر بیرونی به دنبال اتصال لیگاند به گیرنده‌های TNF آغاز شده و منجر به تخریب پروتئینها در سلولهای در حال آپوپتوز، شکست DNA در سلولها و مرگ سلول میشود [۷]. پپتیدهای زهر زنبورعسل قادر به اتصال به کالمودولین است (کالمودولین نقش کلیدی در تکثیر سلولی دارد) و سبب مهار رشد رده‌های سلول سرطانی میشود [۸]. پرتوفراوری زهر زنبورعسل با دز ۲، ۴، ۶ و ۸ کیلوگری تأثیر منفی بر خواص ضدسرطانی زهر نداشت. ملیتین جز اصلی زهر زنبورعسل یک پپتید ضد میکروبی و داروی ضد تومور در انواع تومورهای بدخیم است که هم به‌طور مستقیم باعث مرگ سلولهای تومور میشود و هم فعالیت‌های ضدتوموری را به‌صورت غیرمستقیم از طریق اعمال تعدیل کننده ایمنی انجام میدهد [۶]. ملیتین دارای ساختار محکمی است زیرا دارای ۲ پیوند دی سولفیدی و ۷ پیوند هیدروژنی است. ساختار فضایی آن شامل یک مارپیچ آلفا و یک صفحه بتا است [۹]. ساختار و چینخوردگیهای ملیتین میتواند به پرتوتابی در دزهای پایین مقاوم باشد و بر این اساس عملکرد ضدسرطانی زهر زنبورعسل پرتوتابی شده ثابت باقی میماند [۵]. بیشترین تأثیر زهر زنبورعسل در کاهش بقای رده سلول سرطان پستان MDA-MB-۴۵۳ در غلظت ۵/۲، ۵ و ۷/۵ میکروگرم در میلیلیتر و زمان ۱ ساعت انکوباسیون بود. زمانهای طولانیتر انکوباسیون سبب بازیافت رده سلولی و رشد مجدد آن خواهد شد.

۵- مراجع

[۱] Dantas C.G, Nunes T.L.G.M, Nunes T.L.G.M, Paixao A.O.D, Reis F.P, Waldecy D.L. Junior W. D.L.J, Cardoso J.C, Gramacho K.P, Gomes M.Z. ۲۰۱۴. Pharmacological



evaluation of bee venom and melittin. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. ۲۴(۱), ۶۷-۷۲.

[۲] Casare, M.S. Spencer, P. Campos, L.A and Nascimento, N. ۲۰۰۶. Study of gamma radiation effects on crostamine and crotoxin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, ۲۶۹: ۵۷۱-۵۷۷.

[۳] Samy, E.M, Shaaban, E.A, Kenawy, S.A, Elfattah, M.A.A. and Salama. W.H. ۲۰۱۸. The impact of low doses of gamma radiation on *Echis coloratus* venom and its fractions. ۱۵۰, *Radiation Physics and Chemistry*, ۱۴۵-۱۵۰.

[۴] Abbasi, F, Shawrang, P, Motamedi-Sedeh, F, Sadeghi, M. ۲۰۲۳. Effect of gamma-irradiated honey bee venom on gene expression of inflammatory and anti-inflammatory cytokines in mice. *International Immunopharmacology*. ۱۱۸: ۱۱۰۰۸۴.

[۵] Shawrang, P, Abbasi, F, Motamedi Sadeh, F, Sadeghi, M. ۱۴۰۲. Study of some antimicrobial and anti-inflammatory properties of gamma irradiated bee venom. *Animal Environment*, Volume ۱۵, Number ۳, Pages ۳۲۰-۳۲۸.

[۶] Kwon NY, Sung Sung H, Ferlay J, Siegel RL. ۲۰۲۱. Global cancer statistics ۲۰۲۰: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for ۳۶ cancers in ۱۸۵ countries. *CA Cancer J Clin*. ۷۱(۳):۲۰۹-۴۹.

[۷] D'Arcy, M.S. ۲۰۱۹. Cell death: a review of the major forms of apoptosis, necrosis and autophagy. *Cell Biol Int*. ۴۳:۵۸۲-۹۲.

[۸] Orsolic, N., Sver, L., Bendelja, K. ۲۰۰۱. Basic I antitumor activity of bee venom. *Periodicum Biologorum* ۱۰۳: ۴۹± ۵۴

[۹] Guha, S. Ferrie, R.P. Ghimire, J. Ventura, C.R WU, E. Sun, L. Kim, S.Y. Wiedman, G.R. Hristova, K and Wimley, W.C. ۲۰۲۱. Applications and evolution of melittin, the quintessential membrane active peptide. ۱۹۳, *Biochemical Pharmacology*, ۱۱۴۷۶۹.

[۱۰] Son, D. J., Lee, J. W., Lee, Y. H., Song, H. S., Lee, C. K., Hong, J. T. ۲۰۰۷. Therapeutic application of anti-arthritis, pain releasing and anti-cancer effects of bee venom and its constituent compounds. *Pharmacology & Therapeutics*. ۱۱۵(۲), ۲۴۶-۲۷۰.



ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه لاین‌های پیشرفته موتانت برنج خزر (کد مقاله

: ۱۱۰۷)

افخمی قادی، عمار - اولادی، مرتضی - نعمت‌زاده، قربانعلی - نوراللهی، جعفر - آقاجانی قراء - امامی قراء، مریم، باقری، فرهاد

گروه زراعت و اصلاح برنج، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده:

افزایش تولید برنج همراه با حفظ کیفیت جزء اصلی‌ترین موضوعات تحقیقاتی در دنیا است. در این مطالعه، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه لاین‌های پیشرفته موتانت برنج خزر، که از طریق پرتوتابی با اشعه گاما به دست آمده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. ۱۷ لاین موتانت به همراه ۳ رقم شاهد (خزر، هاشمی و شیروودی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف از نظر صفات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه دارای اختلاف معنی‌داری هستند. لاین‌های ۸، ۱۴ و ۱۰ بیشترین درصد برنج سالم (بیش از ۴۵ درصد)، لاین‌های ۱۰، ۱۴، ۵، ۶ و ۹ بلندترین طول دانه بعد از پخت، لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴ و ۱۷ دارای آمیلوز متوسط و لاین‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ دارای عطر مطلوبی مشابه با رقم هاشمی بوده‌اند. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها به پنج گروه تقسیم شدند که گروه چهارم شامل لاین‌های با کیفیت بالا و عطر مطلوب بود. از بررسی مجموع صفات کیفی مورد مطالعه، لاین ۹ با دارا بودن ویژگی‌های مثبت بیشتر همچون عطر و طول دانه بعد پخت بالا بعنوان لاین با کیفیت دانه مطلوب شناخته شده است. این تحقیق به شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برنج کمک شایانی می‌کند و می‌تواند به بهبود کیفیت و عملکرد برنج در آینده منجر شود.

کلمات کلیدی: امنیت غذایی، برنج خزر، بهبود کیفیت، تنوع ژنتیکی و موتاسیون

Evaluation of grain physicochemical properties and quality of advanced mutant lines of Khazar Rice

Afkhami Ghadi, Ammar*, Oladi, Morteza, Nematizadeh, Ghorbanali, Noorollahi, Jafar, Aghajani Ghara, Mojtaba, emami Ghara, Maryam, Bagheri, Farhad
Agronomy and Rice Breeding, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Abstract:

Increasing rice production while maintaining quality is one of the most important research topics worldwide. In this study, the physicochemical properties and quality of advanced mutant lines of Khazar rice, obtained through gamma-ray irradiation, were investigated. Seventeen mutant lines along with three control varieties (Khazar, Hashemi, and Shiroodi) were planted in a randomized complete block design with three replications at the research farm of the University of Agricultural Sciences and Natural Resources in Sari. The results of variance analysis indicated significant differences among the various genotypes concerning physicochemical traits and grain quality. Lines 8, 14, and 10 exhibited the highest percentage



of whole grains (over 45%), while lines 10, 14, 5, 6, and 9 had the longest grain length after cooking. Lines 9, 10, 13, 14, and 17 showed medium amylose content, and lines 15, 16, and 17 had desirable aroma similar to the Hashemi variety. Cluster analysis results revealed that the genotypes were divided into five groups, with the fourth group comprising high-quality lines with desirable aroma. Among the evaluated quality traits, line 9 was recognized as having desirable grain quality due to its positive characteristics, including aroma and long post-cooking grain length. This research significantly contributes to the identification and selection of superior rice genotypes and may lead to improvements in rice quality and yield in the future.

Key words: Food Security, Khazar rice, Quality Improvement, Genetic Diversity, Mutation

۱ - مقدمه:

برنج از مهم‌ترین محصولات غذایی در حوزه امنیت غذایی بوده که تقریباً بیش از ۶۰ درصد جمعیت جهان را تغذیه می‌کند و عمدتاً به صورت دانه‌های کامل پس از پخت و پز مصرف می‌گردد. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) بیان داشت که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی روندی افزایشی داشته و به بیش از ۹ میلیارد نفر خواهد رسید (FAO, 2024). از این رو پتانسیل تولید محصول برنج طی ۲۵ سال آینده برای حفظ امنیت غذایی باید همچنان افزایش پیدا کند (Baroudy et al., 2020; Roy and Shil, 2020). از طرفی، کیفیت دانه یک عامل حیاتی در تعیین ارزش اقتصادی محصول برنج به شمار می‌آید. به طور کلی، کیفیت دانه برنج از نظر ظاهر فیزیکی دانه، نرمی بعد از پخت، عطر و پروفایل تغذیه‌ای تعریف می‌شود (Fitzgerald et al., 2009; Custodio et al., 2019). آندوسپرم برنج عمدتاً از نشاسته تشکیل شده است، بنابراین معماری دانه، ساختار ظریف و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته نیز نقش مهمی در تعیین کیفیت دانه برنج ایفا می‌کنند (Li and Gilbert, 2018; Butardo et al., 2019). ظاهر دانه، یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی کیفیت دانه برای مصرف‌کنندگان به ویژه در ایران است که با پارامترهایی همچون چروکیدگی و شفافیت مرتبط است (Zhang et al., 2019). خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاص نشاسته، مانند محتوای آمیلوز (AC)، قوام ژل (GC) و درجه حرارت ژلاتینه شدن (GT)، پارامترهای شناخته‌شده‌ای هستند که برای ارزیابی کیفیت پخت و مصرف برنج استفاده می‌شوند (Zhou et al., 2020). این ویژگی‌ها به طور مستقیم بر طعم، بافت و قابلیت هضم برنج تأثیر می‌گذارند و بنابراین در انتخاب و بهبود لاین‌های مختلف برنج اهمیت بالایی دارند. به عنوان مثال، محتوای آمیلوز می‌تواند بر ساختار و بافت دانه‌های پخته‌شده تأثیر بگذارد و قوام ژل به تعیین میزان چسبندگی برنج کمک می‌کند. همچنین، درجه حرارت ژلاتینه شدن می‌تواند بر زمان پخت و کیفیت نهایی برنج تأثیر بگذارد. در ایران کیفیت برنج عموماً اهمیت بیشتری نسبت به عملکرد داشته و ذائقه ایرانی، برنج‌های معطر با طول دانه بلند را ترجیح می‌دهند (Dong et al., 2004).

اصلاح موتاسیونی یک روش ساده، مقرون به صرفه و قدرتمند برای القای تغییرات ژنتیکی و به دنبال آن انتخاب صفات مطلوب یا برای بهبود یک یا دو نقص عمده بدون تغییر در خصوصیات واقعی گیاهان ارائه می‌کند (Oladosu et al, 2015). علاوه بر این، گونه‌های جهش‌یافته و توسعه‌یافته تنوع زیستی برنج را افزایش داده و مواد اصلاحی مفیدی را برای بهبود تولید بیشتر برنج فراهم می‌کنند (Chaudhary et al, 2019). جهش‌های ایجاد شده در ژن‌های کدکننده فاکتورهای کیفیت، ظاهر آندوسپرم را تغییر داده و ویژگی‌های نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهند که به نوبه خود بر کیفیت دانه برنج تأثیر می‌گذارد.



برنج‌های موتانت با تغییرات در اجزای نشاسته و ویژگی‌ها، منابع ژنتیکی مهمی برای تحلیل کیفیت دانه و ساختار نشاسته هستند (Wang et al., 2021). در بررسی کیفیت دانه و خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته جهش‌یافته برنج گچی با تحلیل ساختاری نشاسته‌های موتانت مشخص شد که لاین‌های برنج موتانت حاوی زنجیره‌های کوتاه آمیلوپکتین بیشتر و زنجیره‌های میانی کمتری بوده که منجر به کاهش بلورینگی و ویژگی‌های ژلاتینی شدن پایین‌تر نسبت به برنج نوع غیر موتانت می‌شود (Wang et al., 2021). برخی از محققین گزارش کردند که افزایش میزان آمیلوز سبب کاهش درجه حرارت ژلاتینه شدن در برنج می‌شود (Zhang et al., 2017). امامی قرا و همکاران (۱۳۹۵) با ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ۱۰ ژنوتیپ حاصل از پرتوتابی به همراه دو رقم شاهد کمی و کیفی، لاین M7-P11-6-2-3 را بعنوان لاین امیدبخش انتخاب نمودند. نعمت‌زاده^{۱۱} و همکاران (Nematzadeh et al., 2020) رقم جدید برنج روشن که از پرتوتابی رقم نعمت با استفاده از اشعه گاما با چشمه کبالت ۶۰ بود را معرفی نموده که معطر، زودرس، پاکوتاه و با عملکرد بالا است. ساوو^{۱۲} و همکاران (Sahu et al., ۲۰۲۲) با مطالعه اصلاح موتاسیونی حاصل از پرتوتابی اشعه گاما با دز ۳۰۰ گری بیان داشتند که دو، شش و سه ژنوتیپ موتانت به ترتیب مربوط به ارقام سامونچینی^{۱۳}، ویشنابهاگ^{۱۴} و جیلی^{۱۵} عملکرد بیشتری را نسبت به والدین خود داشته و این در حالی است که خصوصیات کیفی دانه تا حد زیادی حفظ شده است. هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه لاین‌های پیشرفته موتانت (M12) برنج حاصل از پرتودهی رقم خزر بود.

۲- روش کار:

رقم خزر دارای کیفیت پخت نسبتاً مطلوب بوده ولی دارای عملکرد متوسط (۵ الی ۵/۵ تن شلتوک در هکتار) و دیررس بوده و در حال حاضر به ندرت در برخی مناطق کشت می‌شود. به همین دلیل برای ایجاد تنوع ژنتیکی در سال ۱۳۸۹ با همکاری سازمان انرژی اتمی، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پرتوتابی اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ با دز ۲۰۰ گری روی بذر رقم خزر انجام شد. دز بهینه پرتوتابی بر اساس نتایج مطالعات نعمت‌زاده و همکاران (۲۰۲۰, Nematzadeh et al.) انتخاب گردید. گزینش از نسل M^۲ شروع شد و لاین‌هایی که دارای مقبولیت فنوتیپی بالایی بوده و ویژگی‌های زراعی مطلوبی داشتند انتخاب می‌شدند. در نسل دوازدهم (M^{۱۲}) بعد از خالص شدن، ۱۷ لاین موتانت به همراه ۳ رقم شاهد هاشمی (کیفی)، شیرودی (کمی) و خزر (به عنوان والد غیر موتانت) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فروردین ماه ۱۴۰۳ بذریاشی شدند. بعد از ۳۰ روز گیاهچه‌های سه تا چهار برگی برنج با فاصله ۲۵ سانتی‌متر × ۲۵ سانتی‌متر بصورت تک بوته به مزرعه منتقل و نشاکاری شدند. مدیریت مزرعه و کنترل بیماری‌ها و آفات مطابق با دستورالعمل استاندارد انجام شد. دو ماه پس از برداشت، خصوصیات فیزیکی شامل درصد برنج سالم، درصد برنج شکسته، راندمان تبدیل، طول دانه قبل از پخت، عرض دانه قبل از پخت، طول دانه بعد پخت، ری آمدن، خصوصیات آروماتیک شامل عطر به روش سود و صدیق (Sood and Siddiq, ۱۹۷۸) از طریق روش بویایی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل درجه حرارت ژلاتینه شدن (GT) به روش لیتل و همکاران (Little et al., ۱۹۵۸)، میزان آمیلوز (AC) بر اساس روش پیشنهادی جولیانو و ویلارئال

^{۱۱} Nematzadeh

^{۱۲} Sahu

^{۱۳} Samundchini

^{۱۴} Vishnubhog

^{۱۵} Jhilli



(Juliano and Villareal, ۱۹۹۳)، اندازه‌گیری گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ۱۶،۰ و مقایسه میانگین با روش توکی در سطح احتمال ۵ درصد در نظر گرفته شد. از تجزیه کلاستر نیز برای گروه‌بندی لاین‌ها با استفاده از الگوریتم وارد و ضریب تشابه فاصله اقلیدسی استفاده شد.

۳- نتایج:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف برنج از نظر تمامی صفات فیزیکی و شیمیایی و کیفیت دانه دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۱) که نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه و تنوع موجود در لاین‌های موتانت و ارقام شاهد برنج مورد مطالعه بود.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیکی و شیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف برنج

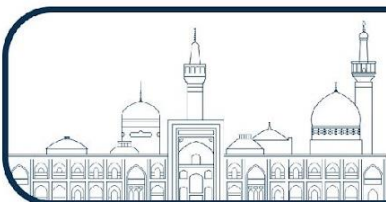
منبع	درجه آزادی	برنج سالم	برنج شکسته	راندمان تبدیل	طول دانه	عرض دانه	طول دانه بعد پخت	ری آمدن	آمیلاز
ژن	۱۹	۳۵.۵۷	۵۴.۰۰	۴۶.۴۹	۰.۶۳	۰.۰۷	۱.۲۳	۰.۹۹	۶.۹۷
تکرار	۲	۰.۰۶	۰.۲۴	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۰۷
خطا	۳۸	۰.۶۸	۱.۳۰	۰.۴۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۱۰	۰.۰۴

*: معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

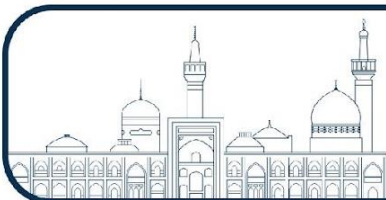
نتایج مقایسات میانگین نشان داد که لاین‌های ۸، ۱۴ و ۱۰ بیشترین درصد برنج سالم (بیش از ۴۵ درصد) را داشته‌اند که این میزان از رقم شیروودی (۴۴/۵۳ درصد) نیز بیشتر است. همچنین، لاین‌های ۷، ۱۲ و ۸ کمترین درصد برنج شکسته (کمتر از ۱۲ درصد) را دارا بودند، در حالی که در میان ارقام شاهد، رقم خزر کمترین میزان شکستگی دانه (۹/۹۹ درصد) را نشان داد. بیشترین میزان راندمان تبدیل مربوط به لاین‌های ۱۷، ۱ و ۱۰ بوده که بالای ۶۰ درصد راندمان تبدیل را به خود اختصاص داده‌اند؛ با این حال، لاین‌های ۱۷ و ۱ درصد شکستگی بالایی داشتند. بالاترین طول دانه قبل از پخت متعلق به لاین‌های ۳، ۶، ۷ و ۱۲ بوده که در بین ارقام شاهد، رقم شیروودی دارای بلندترین طول دانه است. لاین‌های ۱۰، ۱۴، ۵، ۶ و ۹ بلندترین طول دانه بعد از پخت را داشته و این میزان از ارقام شاهد نیز بیشتر است. لاین ۱۰ همچنین بیشترین میزان ری آمدن دانه (۶/۰۴) را دارا می‌باشد. لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴ و ۱۷ دارای آمیلوز مشابه رقم هاشمی بوده‌اند. اکثر لاین‌های مورد مطالعه دارای درجه حرارت ژلاتینه شدن پایینی هستند و رقم شاهد خزر در این پارامتر مشابه رقم کیفی هاشمی می‌باشد. از میان تمامی لاین‌های موتانت، چهار لاین (۹، ۱۵، ۱۶ و ۱۷) دارای عطر مطلوبی مشابه با رقم هاشمی بوده‌اند. با توجه به بررسی تمامی صفات، لاینی که عطر بالایی (مشابه رقم هاشمی) داشته و دارای سایر صفات مطلوب (آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینه شدن متوسط و طول دانه بعد از پخت بالا و ...) بوده لاین ۹ می‌باشد که مقبولیت آن با سه ستاره مشخص شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی و کیفیت دانه ژنوتیپ‌های مختلف برنج

ژنوتیپ‌ها	برنج سالم	برنج شکسته	راندمان تبدیل	طول دانه (میلی‌متر)	عرض دانه (میلی‌متر)	طول دانه بعد پخت (میلی‌متر)	ری آمدن (میلی‌متر)	آمیلوز (درصد)	درجه حرارت	عطر	مقبولیت
	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	(درصد)			



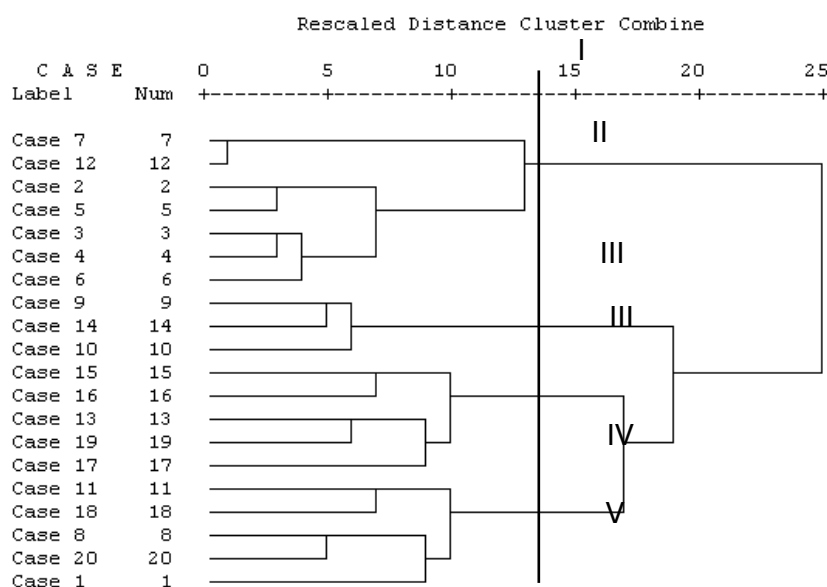
ژلاتینه شدن											
*	۱	۳	۲۵.۰۲ ab	۵.۳۷ a- d	۱۱.۶۵ c-f	۲.۰۵ a- d	۶.۲۹ g	۶۲.۴۲ ab	۱۹.۷۰ bc	۴۲.۷۲ cd	۱
*	۲	۳	۲۴.۳۸ c	۵.۰۹ b- e	۱۲.۵۹ a	۲.۲۶ a	۷.۵۰ abc	۵۵.۵۰ d	۱۹.۸۲ bc	۳۵.۶۹ ij	۲
*	۲	۳	۲۲.۳۹ e	۴.۵۴ def	۱۲.۳۸ ab	۲.۰۷ a- d	۷.۸۴ a	۵۹.۲۵ c	۲۱.۹۶ ab	۳۷.۲۹ ghi	۳
*	۲	۳	۲۳.۴۶ d	۴.۹۱ b-f	۱۲.۵۲ a	۲.۰۸ a- d	۷.۶۱ abc	۵۹.۳۴ c	۲۲.۸۱ a	۳۶.۵۳ hij	۴
*	۲	۳	۲۳.۷۷ d	۵.۴۰ a- d	۱۲.۶۹ a	۲.۱۵ abc	۷.۲۹ cde	۵۲.۶۰ e	۱۷.۵۲ cde	۳۵.۰۸ i	۵
*	۲	۳	۲۴.۴۴ c	۴.۹۷ b-f	۱۲.۶۵ a	۲.۰۸ a- d	۷.۶۹ ab	۵۷.۶۵ c	۱۸.۴۵ cd	۳۹.۲۰ fg	۶
*	۲	۳	۲۳.۳۳ d	۴.۸۸ b-f	۱۲.۵۱ a	۲.۲۴ ab	۷.۶۳ abc	۵۳.۴۷ e	۱۱.۵۴ h	۴۱.۹۲ de	۷
*	۲	۳	۲۳.۷۳ d	۴.۱۰ f	۱۱.۶۹ cde	۲.۰۸ a- d	۷.۵۹ abc	۵۸.۹۵ c	۱۱.۷۳ h	۴۷.۲۲ a	۸
***	۳	۵	۲۰.۲۳ i	۵.۶۴ ab	۱۲.۶۴ a	۱.۸۴ d- g	۷.۰۰ efg	۵۷.۶۹ c	۱۵.۰۰ fg	۴۲.۶۹ cd	۹
**	۲	۴	۲۰.۸۲ h	۶.۰۴ a	۱۲.۷۸ a	۱.۹۸ c-f	۶.۷۴ fg	۶۱.۳۸ b	۱۵.۹۱ ef	۴۵.۴۷ ab	۱۰
**	۱	۵	۲۴.۸۲ bc	۵.۴۰ a- d	۱۲.۲۴ abc	۱.۷۲ g	۶.۸۴ fg	۵۵.۳۸ d	۱۲.۲۰ gh	۴۳.۱۸ cd	۱۱
*	۲	۳	۲۳.۳۳ d	۴.۸۸ b-f	۱۲.۵۱ a	۲.۲۴ ab	۷.۶۳ abc	۵۳.۴۷ e	۱۱.۵۴ h	۴۱.۹۲ de	۱۲
**	۲	۳	۲۱.۱۸ gh	۴.۶۹ c-f	۱۱.۴۲ d-g	۲.۰۷ a- d	۶.۷۳ fg	۵۳.۷۵ e	۱۵.۱۵ fg	۳۸.۶۰ fgh	۱۳
*	۲	۶	۲۱.۱۹ gh	۵.۵۴ abc	۱۲.۷۲ a	۱.۷۶ fg	۷.۱۸ def	۵۸.۳۷ c	۱۲.۶۲ gh	۴۵.۷۴ ab	۱۴
*	۳	۷	۲۴.۳۴ c	۴.۱۰ f	۱۱.۵۱ def	۱.۹۳ c- g	۷.۴۱ a- d	۵۰.۲۰ f	۱۰.۹۱ h	۳۹.۲۹ fg	۱۵
*	۳	۷	۲۳.۵۶ d	۴.۵۸ def	۱۱.۱۳ efg	۲.۱۳ abc	۶.۵۵ fg	۵۵.۸۴ d	۱۷.۸۴ cde	۳۸.۰۰ fgh	۱۶
**	۳	۴	۲۱.۵۰ fg	۴.۱۷ ef	۱۰.۸۸ g	۲.۰۹ abc	۶.۷۱ fg	۶۳.۲۰ a	۲۲.۹۶ a	۴۰.۲۴ ef	۱۷
**	۱	۴	۲۳.۸۵ d	۴.۱۶ ef	۱۱.۴۷ d-g	۱.۹۳ c- g	۷.۳۱ cde	۵۰.۱۴ f	۹.۹۹ h	۴۰.۱۵ ef	خزر
***	۳	۴	۲۱.۷۵ f	۴.۳۶ ef	۱۱.۰۴ fg	۱.۸۲ efg	۶.۶۹ fg	۵۲.۷۶ e	۱۱.۰۹ h	۴۱.۶۷ de	هاشمی



شیرودی	۴۴.۵۳	۱۶.۹۸	۶۱.۵۲	۷.۵۵	b- ۲.۰۰	۱۱.۸۲	۴.۲۷ ef	۲۵.۳۳	۳	۱	*
	bc	cde	b	abc	e	bcd		a			

تجزیه کلاستر

بررسی خصوصیات مشترک بین ژنوتیپ‌های هر گروه می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کمک کند. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌ها به پنج گروه تقسیم شده‌اند، به طوری که ۲۵ درصد از ژنوتیپ‌ها در گروه چهارم و ۲۵ درصد در گروه پنجم قرار گرفتند. لاین‌های گروه چهارم شامل لاین‌های ۱۵، ۱۶، ۱۳ و ۱۷ هستند که در گروه رقم شاهد کیفی هاشمی قرار گرفته و جزء بهترین لاین‌ها محسوب می‌شوند (نمودار ۱). از میان لاین‌های موتانت، لاین ۱۱ بیشترین شباهت را به رقم شاهد خزر (والد غیر موتانت) دارد. بیش از ۸۰ درصد لاین‌های موتانت مورد مطالعه با رقم خزر متفاوت بوده و در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. شریفی^{۱۶} (Sharifi, 2018) با بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های جهش‌یافته برنج با استفاده از روش‌های چند متغیره، تمامی ژنوتیپ‌ها را در سه گروه قرار داد.



نمودار ۱- دندروگرام حاصل از کلاستر ژنوتیپ‌های مختلف برنج بر اساس صفات فیزیکی و شیمیایی و کیفیت دانه

جدول مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی و کیفیت دانه ژنوتیپ‌های مختلف برنج در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر (جدول ۳) نشان داد ژنوتیپ‌های گروه سوم بیشترین میزان درصد برنج سالم، راندمان تبدیل، طول دانه بعد پخت، ری آمدن و کمترین عرض دانه و میزان آمیلوز را داشته و ژنوتیپ‌های گروه یک دارای کمترین برنج شکسته و بلندترین طول دانه قبل پخت بوده است. ژنوتیپ‌های گروه چهارم معطرترین گروه بوده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی و کیفیت دانه ژنوتیپ‌های مختلف برنج در گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر



گروه‌ها	برنج سالم (درصد)	برنج شکسته (درصد)	راندمان تبدیل (درصد)	طول دانه (میلی‌متر)	عرض دانه (میلی‌متر)	طول دانه بعد پخت (میلی‌متر)	ری آمدن (میلی‌متر) ژلاتینه شدن	درجه حرارت عطر	آمیلوز (درصد)
۱	۴۱.۹۲	۱۱.۵۴	۵۳.۴۷	۷.۶۳	۲.۲۴	۱۲.۵۱	۴.۸۸	۳.۰۰	۲۳.۳۳
۲	۳۶.۷۶	۲۰.۱۱	۵۶.۸۷	۷.۵۸	۲.۱۳	۱۲.۵۷	۴.۹۸	۳.۰۰	۲۳.۶۹
۳	۴۴.۶۳	۱۴.۵۱	۵۹.۱۴	۶.۹۷	۱.۸۶	۱۲.۷۱	۵.۷۴	۵.۰۰	۲۰.۷۵
۴	۳۹.۵۶	۱۵.۵۹	۵۵.۱۵	۶.۸۲	۲.۰۱	۱۱.۲۰	۴.۳۸	۵.۰۰	۲۲.۴۶
۵	۴۳.۵۶	۱۴.۱۲	۵۷.۶۸	۷.۱۱	۱.۹۶	۱۱.۷۸	۴.۶۶	۳.۶۰	۲۴.۵۵
کل	۴۰.۸۶	۱۵.۷۹	۵۶.۶۴	۷.۱۹	۲.۰۳	۱۲.۰۴	۴.۸۵	۳.۹۵	۲۳.۱۲

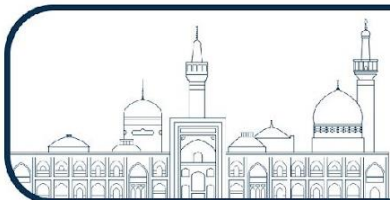
۴ - بحث و نتیجه‌گیری:

این تحقیق به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفیت دانه لاین‌های پیشرفته موتانت برنج خزر پرداخته است و نتایج آن نشان‌دهنده تنوع و پتانسیل بالای این لاین‌ها در بهبود کیفیت برنج می‌باشد. یافته‌ها حاکی از آن است که لاین‌های موتانت، به ویژه لاین‌های ۸، ۱۴ و ۱۰، دارای درصد بالای برنج سالم و ویژگی‌های مطلوبی در زمینه راندمان تبدیل و طول دانه هستند. از بررسی مجموع صفات کیفی مورد مطالعه، لاین ۹ با دارا بودن ویژگی‌های مثبت بیشتر بعنوان لاین معطر با کیفیت دانه مطلوب شناخته شده است. بهبود کیفیت برنج نه تنها به افزایش رضایت مصرف‌کنندگان کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به افزایش ارزش اقتصادی این محصول استراتژیک در بازارهای داخلی و بین‌المللی منجر شود. گزارشات نشان می‌دهد که پرتوتابی می‌تواند به تغییرات معناداری در درصد آمیلوز منجر شود و برخی از لاین‌های موتانت دارای درصد آمیلوز متفاوت‌تری نسبت به والدین خود بودند (Chen et al., ۲۰۲۴). رقم روشن که از پرتوتابی رقم نعمت با استفاده از اشعه گاما اصلاح شد از آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینه شدن کمتری نسبت به والد خود برخوردار بوده که نشان‌دهنده تأثیر اشعه گاما بر ایجاد تنوع ژنتیکی و بهبود صفات کیفی است (Arefrad et al., ۲۰۲۱; Nematzadeh et al., ۲۰۲۰). مطالعات نشان داده است پرتوتابی با اشعه گاما می‌تواند به تغییرات ژنتیکی در برنج منجر شود که به نوبه خود بر روی صفات کیفی مانند عطر تأثیر می‌گذارد (Chaudhary et al, ۲۰۱۹; Sahu et al., ۲۰۲۲). تغییرات در ژن‌های کدکننده عطر به طور مستقیم روی ویژگی‌های عطر برنج تأثیر گذاشته و برخی از لاین‌های موتانت دارای عطر قوی‌تری نسبت به والدین خود هستند (Wang et al., ۲۰۲۱). نتایج نشان داد که پرتوتابی سبب ایجاد تنوع ژنتیکی بالایی در صفات کیفی بوده و چنانچه رقمی مانند خزر که کمترین میزان عطر را داشته را می‌توان با بکارگیری انرژی هسته‌ای به لاین‌های معطر بهبود بخشید.

۵ - مراجع:

امامی قرا، م.، نعمت‌زاده، ق.ع.، اولادی، م.، آقاجانی قراء، م.، باقری، ا.، افخمی قادی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی برخی لاین‌های امیدبخش موتانت (M7) با استفاده از خصوصیات فیزیکوشیمیایی. چهارمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست.

Arefrad, M., Nematzadeh, G. A., Arab, M., Raei, A., Avakh, F., Aliakbari, F., Oladi, M., Afkhami, M., younesi, E., Vadipour, E. (۲۰۲۱). Roshan and Shahryar, two mutant cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) with distinguished agronomic and grain biochemical properties.



Butardo, V. M., Sreenivasulu, N., & Juliano, B. O. (۲۰۱۹). Improving rice grain quality: State-of-the-art and future prospects. *Rice grain quality: methods and protocols*, ۱۹-۵۵.

Chaudhary, J., Deshmukh, R., & Sonah, H. (۲۰۱۹). Mutagenesis approaches and their role in crop improvement. *Plants*, ۸(۱۱), ۴۶۷.

Chen, X., Guo, Q., Yang, X., Yuan, M., Song, J., Fu, H., ... & Wu, X. (۲۰۲۴). Triple gene mutations boost amylose and resistant starch content in rice: insights from *sbe2b/sbe1/OE-Wxa* mutants. *Frontiers in Plant Science*, ۱۵, ۱۴۵۲۵۲۰.

Custodio, M. C., Cuevas, R. P., Ynion, J., Laborte, A. G., Velasco, M. L., & Demont, M. (۲۰۱۹). Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? *Trends in food science & technology*, ۹۲, ۱۲۲-۱۳۷.

Dong, Y., Tsuzuki, E., Lin, D., Kamiunten, H., Terao, H., Matsuo, M., & Cheng, S. (۲۰۰۴). Molecular genetic mapping of quantitative trait loci for milling quality in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, ۴۰(۲), ۱۰۹-۱۱۴.

Fitzgerald, M. A., McCouch, S. R., & Hall, R. D. (۲۰۰۹). Not just a grain of rice: the quest for quality. *Trends in plant science*, ۱۴(۳), ۱۳۳-۱۳۹.

Juliano, B. O., & Villareal, C. P. (۱۹۹۳). Grain quality evaluation of world rices. *Int. Rice Res. Inst.*

Li, H., & Gilbert, R. G. (۲۰۱۸). Starch molecular structure: The basis for an improved understanding of cooked rice texture. *Carbohydrate Polymers*, ۱۹۵, ۹-۱۷.

Little, R. R., Hilder, G. B., & Dawson, E. H. (۱۹۵۸). Differential effect of dilute alkali on ۲۵ varieties of milled white rice.

Nematzadeh, G. A., Oladi, M., Afkhami Ghadi, A., Gholizadeh Ghara, A., Bagheri, F., Aghajani, M., ... & Esfandiyari, A. (۲۰۲۰). Roshan, a new released mutant aromatic rice variety with high yield and early maturity. *Journal of Plant Molecular Breeding*, ۸(۱), ۵۷-۶۷.

Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A., ... & Usman, M. (۲۰۱۶). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, ۳۰(۱), ۱-۱۶.

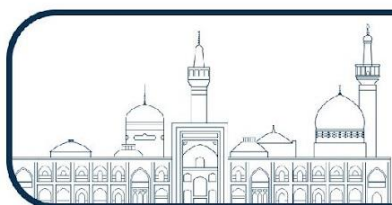
Sahu, P. K., Sao, R., Choudhary, D. K., Thada, A., Kumar, V., Mondal, S., ... & Sharma, D. (۲۰۲۲). Advancement in the breeding, biotechnological and genomic tools towards development of durable genetic resistance against the rice blast disease. *Plants*, ۱۱(۱۸), ۲۳۸۶.

Sharifi, P. (۲۰۱۸). Genetic diversity of rice mutant genotypes using multivariate methods. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, ۸(۱), ۱۱۱-۱۲۴.

Sood, B. C., & Siddiq, E. A. (۱۹۷۸). A rapid technique for scent determination in rice.

Wang, C. X., Zhu, C. C., Lu, C. Y., Yang, Y., Li, Q. F., Liu, Q. Q., & Zhang, C. Q. (۲۰۲۱). Grain quality and starch physicochemical properties of chalky rice mutant. *Agronomy*, ۱۱(۸), ۱۵۷۵.

Xu, H., Xu, S., Xu, Y., Jiang, Y., Li, T., Zhang, X., ... & Wang, L. (۲۰۲۴). Relationship between the physicochemical properties and amylose content of rice starch in rice varieties with the same genetic background. *Journal of Cereal Science*, ۱۱۸, ۱۰۳۹۳۲.



Zhang, C., Chen, S., Ren, X., Lu, Y., Liu, D., Cai, X., ... & Liu, Q. (۲۰۱۷). Molecular structure and physicochemical properties of starches from rice with different amylose contents resulting from modification of OsGBSSI activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, ۶۵(۱۰), ۲۲۲۲-۲۲۳۲.

Zhang, L., Zhao, L., Zhang, J., Cai, X., Liu, Q., & Wei, C. (۲۰۱۹). Relationships between transparency, amylose content, starch cavity, and moisture of brown rice kernels. *Journal of Cereal Science*, ۹۰, ۱۰۲۸۵۴.

Zhou, H., Xia, D., & He, Y. (۲۰۲۰). Rice grain quality—traditional traits for high quality rice and health-plus substances. *Molecular Breeding*, ۴۰, ۱-۱۷.



ارزیابی اثربخشی پرتوهای یونیزان گاما و بتا در کاهش باکتری Salmonella موجود در پساب فاضلاب شهری با استفاده از کد شبیه سازی Geant4-DNA (کد مقاله : ۱۲۲۴)

خانی، کیمیا^۱ - حداد، کمال^۱ - سینا، صدیقه^{۱*} - رفیعی پور، پیمان^۱

۱. دانشگاه شیراز، دانشکده مکانیک، بخش مهندسی هسته‌ای

۲. دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، مرکز تحقیقات تابش

چکیده:

اخیراً استفاده از تابش یونیزان به عنوان یک جایگزین بسیار مناسب مطرح شده است که می‌تواند جمعیت میکرواورگانیزم‌های موجود در پساب‌ها را به طور قابل توجهی کاهش داده و خواص فیزیکی و شیمیایی نامطلوب ایجاد نکند. در همین راستا در این مطالعه، با استفاده از ابزار شبیه‌ساز Geant^۴-DNA، یک نمونه پساب توسط چشمه کبالت-۶۰ و شتابدهنده الکترون MeV ۱۰ طراحی شده و مورد پرتودهی قرار گرفت. در مقیاس ماکروسکوپی پروفایل‌های عمقی دز برای هر دو تابش گاما و الکترون محاسبه شدند که ضخامت‌های بهینه به ترتیب برابر با ۲۰ و ۳ سانتی‌متر به دست آمد. سپس انرژی و فراوانی الکترون‌های ثانویه در حجم پساب به دست آمدند. بدین وسیله اثر رادیکال‌های آزاد تولید شده ناشی از یونیزاسیون ایجاد شده در حجم پساب نیز مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، در مقیاس میکروسکوپی، میزان شکست ایجاد شده ناشی از برخورد رادیکال‌های آزاد در ساختار DNA باکتری Salmonella و نیز مدل ترمیم سلولی مربوط به آن مطالعه شد.

کلمات کلیدی: تصفیه فاضلاب، پرتودهی الکترون، پرتودهی گاما، Geant^۴_DNA.

Evaluating the effectiveness of gamma and beta ionizing rays in removing Salmonella bacteria present in municipal wastewater using Geant^۴-DNA simulation code.

Khani, Kimia^{۱*} - Hadad, Kamal^۱ - Sina, Sedigheh^{۱,۲} - Rafie-pour, Peyman^۱

^۱ Nuclear Engineering Department, Faculty of Mechanic, Shiraz University

^۲ Radiation Research Center, Faculty of Mechanic, Shiraz University

Abstract:

Recently, the use of ionizing radiation has been proposed as a very suitable alternative that can significantly reduce the population of microorganisms in wastewater and does not cause undesirable physical and chemical properties. In this regard, in this study, using the Geant^۴-DNA simulator tool, a wastewater sample was designed and irradiated by a cobalt-^{۶۰} source and a ۱۰ MeV electron accelerator. At the macroscopic scale, dose depth profiles were calculated for both gamma and electron radiation, and the optimal thicknesses were obtained as ۲۰ and ۳ cm, respectively. Then, the energy and frequency of secondary electrons in the wastewater volume were obtained. In this way, the effect of free radicals formed due to ionization in the wastewater volume was also investigated. Finally, at the microscopic scale, the amount of damage caused by free radical collisions in the DNA structure of Salmonella bacteria and the related cell repair model were studied.

Key words: Wastewater treatment, Electron irradiation, Gamma irradiation, Geant^۴_DNA



۱- مقدمه:

در حال حاضر فاضلاب به عنوان یک منبع پیشنهاد می‌شود که در آن بسیاری از تصفیه خانه‌های فاضلاب توسط بیوگاز تولید شده از هضم بی‌هوازی لجن بهره‌برداری می‌شوند و پساب‌های این نیروگاه‌ها می‌توانند پس از تصفیه مناسب برای تامین نیازهای صنعتی، کشاورزی و آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گیرند [۱]. از سوی دیگر، روش‌های متداول برای تثبیت لجن شامل هضم هوازی و بی‌هوازی، تثبیت آهک و قلیایی و کمپوست سازی می‌باشند، اغلب کاملاً موفقیت‌آمیز نیستند [۲]؛ زیرا می‌توانند منجر به تولید خواص فیزیکی و شیمیایی ناخواسته و مضر برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست شوند. در همین راستا، روش پرتودهی یونساز به عنوان فناوری جدید از نوع فرآیند اکسایش پیشرفته و مبتنی بر تولید رادیکال‌های آزاد اکساینده و کاهنده برای تصفیه منابع آب، پساب و لجن فاضلاب مطرح شده است تا بدین وسیله منابع آب موجود در فاضلاب مجدداً به چرخه استفاده بازگردد [۳،۴]. شبیه‌سازی مونت کارلو در حال حاضر یک ابزار علمی پرکاربرد برای مسائلی است که از نظر تحلیلی غیرقابل حل هستند و آزمایش برای آنها بسیار وقت‌گیر، پرهزینه یا غیرعملی است. از جمله نرم‌افزارهای مونت کارلو می‌توان به MCNP، EGS، GEANT، FLUKA و PENELOPE و غیره اشاره کرد که در این پژوهش ابزار شبیه‌سازی Geant^۴، که دارای ویژگی‌ها و توانایی‌های متعددی می‌باشد، و همچنین افزونه Geant^۴-DNA که قابلیت شبیه‌سازی در مقیاس نانومتری را فراهم می‌کند، مورد استفاده قرار گرفته است [۵]. مطالعات انجام شده در این زمینه از حدود سال‌های ۱۹۶۹ شروع شده و تا امروزه ادامه داشته است که همه‌ی آن‌ها نشان‌دهنده اثربخشی مناسب تابش‌های یونیزان از جمله تابش گاما و الکترون، به منظور کاهش عوامل بیماری‌زا و باکتری‌ها در مواد مختلف می‌باشند. [۶،۷]. اما نکته‌ی قابل توجه این است که این مطالعات عموماً به صورت تجربی بوده یا حداقل شبیه‌سازی‌ها در مقیاس میکروسکوپی^{۱۷} انجام شده‌اند که این امر به نوبه خود، دلیلی است تا این پژوهش برهمکنش‌های اتفاق افتاده در مقیاس میکروسکوپی^{۱۸} را نیز بررسی کند تا بدین وسیله فرآیند گندزدایی لجن و پساب فاضلاب با کیفیت بهتری انجام شود.

۲- روش کار:

این پژوهش از سه مرحله کلی شامل فاز ماکروسکوپی، فاز الکترون‌های ثانویه و فاز میکروسکوپی تشکیل شده است که در فاز ماکروسکوپی هدف به دست آوردن عمق بهینه در هندسه هدف (کانال مورد پرتودهی) جهت انجام عملیات پرتودهی در مجتمع‌های تصفیه فاضلاب‌های شهری محاسبه یک ضریب موسوم به ضریب یکنواختی دز^{۱۹} است. معکبی با ابعاد ۲ متر مکعب پر شده از هوا تعریف شد تا به عنوان حجم جهانی در نظر گرفته شود و یک نمونه آب یا پساب با ابعاد ۱×۱×۴/۰ متر مربع نیز تعریف شد که ضخامت اولیه‌ی این مکعب مستطیل ۴۰ سانتی‌متر بوده و در راستای عمق به مرور کاهش پیدا می‌کند و تغییرات توزیع دز در هر عمق ثبت می‌شود. در نهایت یک چشمه صفحه‌ای کبالت-۶۰ که ساطع‌کننده دو فوتون گاما با انرژی‌های MeV ۱/۱۷ و MeV ۱/۳۳ می‌باشد، با ابعادی متناسب با پهنای نمونه و در راستای محورهای X و Y تعریف شده که مرکز آن روی محور Z و در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از سطح نمونه قرار می‌گیرد. در هر اجرا، تعداد ۱ میلیون ذره ترابرد شد. این موارد به طور مشابه برای الکترون MeV ۱۰ نیز انجام شد.

در فاز دوم پژوهش، هدف به دست آوردن فراوانی الکترون‌های ثانویه تولید شده در عمق بهینه‌سازی شده نمونه مورد نظر و انرژی جنبشی آن الکترون‌ها در اثر برخورد ذرات یونیزان موجود در مطالعه است. فاز الکترون‌های ثانویه به نوعی یک رابط بین دو بخش دیگر پژوهش، یعنی فاز ماکروسکوپی و فاز میکروسکوپی می‌باشد زیرا در اثر برخورد پرتوهای یونیزان در ماده و بخصوص محیط آب، الکترون‌های ثانویه تولید شده و نیز فرآیند رادیولیز آب اتفاق می‌افتد که طی آن، رادیکال‌های آزادی

^{۱۷} Macroscopy

^{۱۸} Microscopy

^{۱۹} Dose Uniformity Ratio (DUR)



همچون رادیکال هیدروکسیل اکسید کننده^{۲۰}، الکترون آبی کاهنده^{۲۱} و رادیکال هیدروژن^{۲۲} تولید می‌شوند و این رادیکال‌های آزاد می‌توانند به ساختار DNA آسیب بزنند.

در فاز سوم پژوهش، الکترون‌های ثانویه‌ای که در فاز قبل به دست آمدند، به عنوان چشمه در این بخش استفاده شدند؛ آن‌ها در برابر ساختار DNA باکتری Salmonella که ساختار بیضی‌گون دارد، به صورت چشمه‌ای صفحه‌ای با شکل بیضی کاملاً متناسب با ابعاد باکتری‌ها قرار گرفته و میزان آسیب رسیده به رشته‌های DNA بررسی و مطالعه می‌شود. هندسه به کار رفته در این فاز با نام فراکتال^{۲۳} شناخته می‌شود و با منحنی هیلبرت^{۲۴} توسعه داده شده که برای استفاده در ساختار باکتری‌ها، در این هندسه ساده‌سازی انجام شده است (شکل ۱). هندسه فراکتال شامل حدود ۱۰ هزار مکعب بوده که در واقع همان حجم قرارگیری است که مکعب‌هایی با طول ضلع ۵۰ نانومتر، شامل ۵۶۵۲ قطعه DNA چرخانده شده و همچنین ۳۶۰۰ قطعه صاف است. برای مثال طول ژنوم^{۲۵} کامل یک سلول Salmonella در Geant۴ مدل‌سازی شده است که به طور موثر هسته باکتری را به عنوان یک بیضی با یک محور نیمه اصلی بلند ۹۱۵ میکرومتر و دو محور نیمه اصلی کوتاه ۴۱۵ میکرومتر شبیه‌سازی می‌کند. برای انجام محاسبات آسیب DNA، آسیب‌های احتمالی وارد شده به ساختار آن را با توجه به سطح پیچیدگی و نوع برهمکنش (به عنوان مثال فیزیکی یا شیمیایی) تعیین می‌کنند که افزونه Geant۴-DNA توانایی شبیه‌سازی این فرآیندهای فیزیکوشیمیایی را دارد. به کمک این افزونه شکستگی‌های تک‌رشته‌ای، شکستگی‌های دورشته‌ای، پیچیدگی آسیب آنها و نوع آسیب (یعنی مستقیم، غیرمستقیم، مختلط و ترکیبی) محاسبه می‌شوند. این آسیب‌ها مطابق شکل ۲ برگرفته از مراجع [۸،۹،۱۰]، تعریف شده‌اند. در این پژوهش از یک مدل ریاضی ترمیم آسیب DNA نیز استفاده شد که این مدل بازده پروتئین ترمیم‌شده را از طریق در نظر گرفتن چهار مسیر اصلی ترمیم DSB محاسبه کرده و این مدل تعداد DSB‌های قابل ترمیم (NncDSB) و غیرقابل ترمیم (NcDSB) را در واحد دز و در هر سلول (DSB/Gy/cell) در نظر می‌گیرد. بر اساس مراجع از مدل سنتیک دو-ضایعه‌ای (TLK) برای تخمین منحنی بقای سلول استفاده شد [۱۱]. مدل TLK از معادلات زیر تشکیل شده است:

$$(۱) dL_1(t)/dt = \dot{D}(t)Y\Sigma_1 - \lambda_1 L_1(t) - \eta L_1[L_1(t) + L_2(t)]$$

$$(۲) dL_2(t)/dt = \dot{D}(t)Y\Sigma_2 - \lambda_2 L_2(t) - \eta L_2[L_1(t) + L_2(t)]$$

$$(۳) dL_f(t)/dt = \beta_1 \lambda_1(t) + \beta_2 \lambda_2(t) + \gamma \eta [L_1(t) + L_2(t)]^2$$

که در آن $L_1(t)$ و $L_2(t)$ به ترتیب تعداد DSB‌های ساده (یعنی با پردازش ترمیم سریع) و DSB‌های پیچیده (یعنی با پردازش ترمیم کند) در هر سلول تابش شده در زمان t هستند. $L_f(t)$ فراوانی آسیب کشنده DNA است که ممکن است منجر به مرگ سلولی شود. $D(t)$ نرخ دز و Y طول ژنوم بر حسب Gbps است. Σ_1 و Σ_2 به ترتیب تعداد DSB‌های ساده و پیچیده هستند. به عبارت دیگر Σ_1 و Σ_2 به ترتیب برابر با $N_{DSB} + 2N_{DSB++}$ هستند. به طور کلی، ضایعات ساده و پیچیده به ترتیب با فرآیندهای ترمیم سریع و آهسته ترمیم می‌شوند. η و λ که به عنوان عوامل احتمال تعمیر شناخته می‌شوند، میزان آسیب‌های به هم پیوسته (در هر ساعت) را توصیف می‌کنند. β و γ که به عنوان عوامل احتمال مرگ شناخته می‌شوند، این احتمال را توصیف می‌کنند که آسیب باقیمانده ممکن است سلول را بکشد. زیرنویس‌های ۱ و ۲ برای پارامترهای λ و β به ترتیب با ضایعات ساده و پیچیده مطابقت دارند [۸،۱۱].

^{۲۰} OH⁻

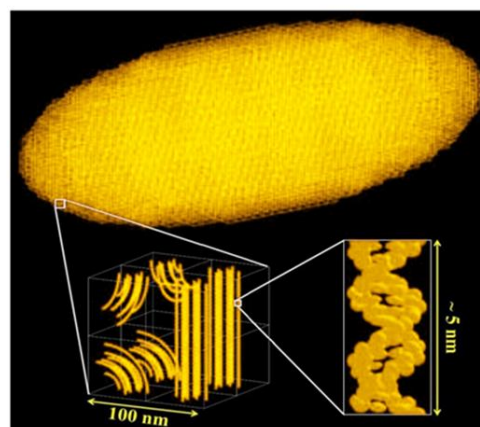
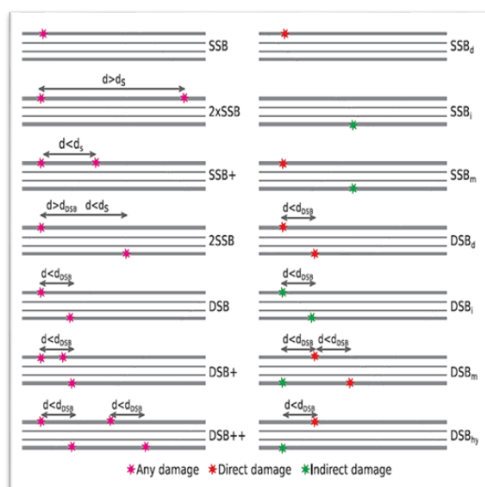
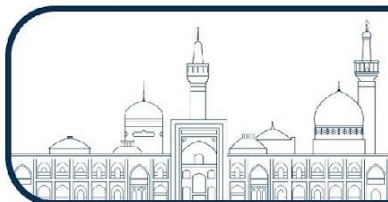
^{۲۱} e⁻

^{۲۲} H⁺

^{۲۳} Fractal

^{۲۴} Hilbert curve

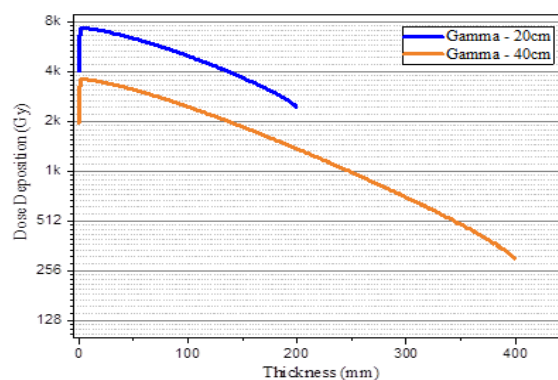
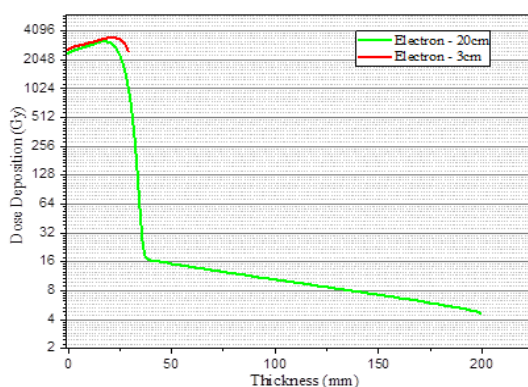
^{۲۵} Genome length



شکل (۱) ساختار هندسه فرکتال [۱۱] شکل (۲) آسیب‌های احتمالی بر ساختار DNA [۱۰]

۳- نتایج:

طبق نتایج فاز اول به خوبی قابل مشاهده است که هرچه ضخامت فانتوم کمتر می‌شود، توزیع دز در حجم فانتوم یکنواخت‌تر انجام شده و باعث می‌شود نمودارها تخت‌تر به نظر برسند. این موضوع ناشی از این است که با توجه به عمق نفوذ و انرژی ذره فرودی، توانایی حرکت در ماده و انجام فرآیند پرتودهی در ضخامت‌های مختلف متفاوت می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، در ضخامت ۲۰ سانتی‌متر برای پرتودهی با چشمه کبالت-۶۰ و در ضخامت ۳ سانتی‌متر با شتابدهنده الکترونی در فانتوم پساب، توزیع دز در نمودار رفتاری تخت‌تر داشته و در نتیجه یکنواختی مناسب‌تری در این ضخامت در حجم فانتوم مشاهده می‌شود.



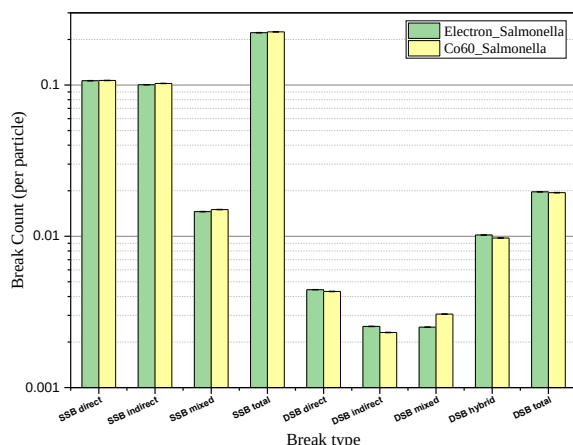
شکل (۳) توزیع دز عمقی ناشی از تابش گاما و الکترون در نمونه آب

در فاز دوم مطالعه، انرژی الکترون‌های ثانویه و میزان فراوانی آن‌ها در ضخامت‌های بهینه تعیین شده در فاز قبل، به دست آمد که در فاز میکروسکوپی از این نتایج به عنوان چشمه در برابر ساختار باکتری استفاده می‌شود. تعریف فاز دوم بدین علت است که سطح مقطع برخورد فوتون‌ها و الکترون‌های پر انرژی که در فاز اول وجود دارند، با ساختار DNA باکتری‌ها بسیار ناچیز بوده و عملاً برخوردی صورت نمی‌گیرد و در عوض، الکترون‌های ثانویه و رادیکال‌های آزاد در ماده ایجاد می‌شوند؛ بنابراین برای نزدیک شدن نتایج مطالعات به واقعیت، اثرات الکترون‌های ثانویه و رادیکال‌های آزاد بر ساختار DNA مورد بررسی قرار می‌گیرد.

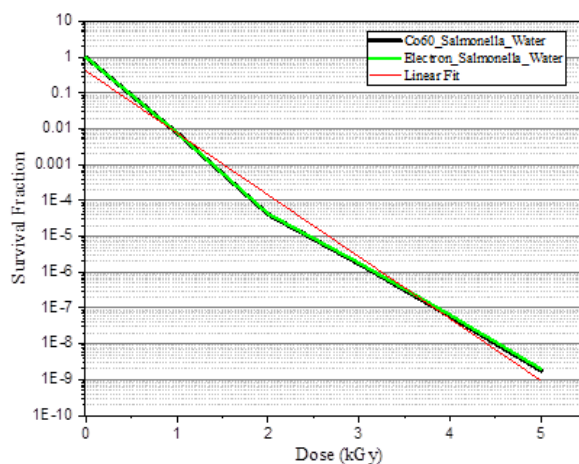
در فاز سوم، فراوانی آسیب و شکست وارد شده به ساختار DNA باکتری Salmonella به ازای یک ذره اولیه با چشمه‌های تابش گاما و الکترون و در محیط پساب به دست آمد که در شکل ۴ نمودارهای مربوط به فراوانی شکست در هر باکتری نشان



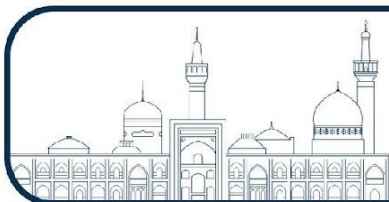
داده شده‌اند. باید دقت شود که این نمودار در حالت نیمه لگاریتمی رسم شده‌اند؛ بدین معنا که مقادیر گزارش شده در راستا محور عمود، در صورت لگاریتمی بوده و مثلاً میزان اختلاف در تعداد دو مولفه SSB و DSB، بیشتر از حالتی است که به صورت بصری به نظر می‌رسد. اگر به هر دو نمودار گزارش شده مربوط به چشمه کبالت-۶۰ و الکترون ۱۰ MeV دقت شود، استنباط می‌شود که هر دو چشمه تابش برای غیرفعالسازی میکرواورگانیزم‌های مورد مطالعه قابل استفاده بوده و تفاوت محسوسی بین آن دو وجود ندارد. علت این است که هم فراوانی و هم بازده DSB، DSB+ و DSB++ تقریباً مقادیر مشابهی دارند. البته همانطور که در ادامه در نمودارهای بقا نیز به عبارت دیگری بیان شده است، مشاهده خواهد شد که مقدار D_{10} برای هر دو چشمه تابش نیز تقریباً یکسان به دست آمده است (شکل ۵). البته این نکته را باید مدنظر داشت که در این پژوهش از مفهوم فاز الکترون‌های ثانویه برای هر دو چشمه استفاده شده است. بنابراین، چشمه اولیه در هر دو حالت یک چشمه الکترونی (الکترون‌های ثانویه) بوده است. لازم به توضیح است که این نمودارها با استفاده از یک کد پایتون که همراه با هندسه DNA پستانداران توسط Geant ارائه شده، استفاده شد؛ بدین صورت که فراوانی DSB، DSB+ و DSB++ به دست آمده در منحنی‌های شکست DNA، به کد پایتون داده شد تا بعد از ساده‌سازی انجام گرفته برای باکتری‌ها، در فرمول‌های محاسباتی موجود در این کد پایتون، مقادیر کسر بقا را در ۵ دز مختلف گزارش کند. به طور کلی هدف از ترسیم نمودارهای منحنی بقا، بررسی جمعیت میکروبی زنده مانده برحسب میزان دز اعمالی می‌باشد که طبیعتاً توقع می‌رود روند نزولی را طی کند، درست همانند رفتاری که در این نمودارها مشاهده می‌شود.



شکل (۴) فراوانی شکست و آسیب ایجاد شده در ساختار باکتری



شکل (۵) منحنی بقا باکتری Salmonella مربوط به شکست‌های ایجاد شده ناشی از تابش گاما و الکترون در پساب فاضلاب.



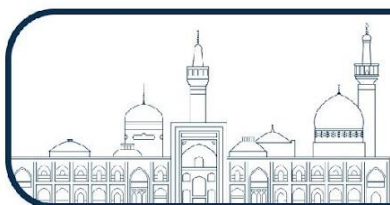
طبق شکل شماره ۵، مقدار مولفه D_{10} برای دو منحنی مشکی و سبز رنگ به طور میانگین برابر با ۵۴۶۵/۰ محاسبه شد که با توجه به مطابقت گذشته، عدد قابل قبولی به شمار می‌آید [۱۱].

۴- بحث و نتیجه گیری:

در مقیاس ماکروسکوپی می‌توان نتیجه گرفت که در مورد پرتودهی نمونه‌های پساب با کبالت-۶۰، عمق نمونه‌ها از ۲۰ سانتیمتر، و در پرتودهی باریکه الکترونی عمق نمونه‌ها بیشتر از ۳ سانتیمتر، به منظور توزیع دز یکنواخت در حجم نمونه، نباید باشند. در مقیاس میکروسکوپی، شمارش شکست‌های DNA برای هر دو تابش یونیزان در ساختار باکتری روند تقریباً یکسانی را نشان داد که بیانگر اثربخشی یکسان هر دو منبع تابش برای غیرفعالسازی این باکتری است. زیرا که تمامی الکترون‌های ثانویه در ضخامت‌های بهینه برای هر دو تابش به دست آمدند و در نهایت به عنوان منبع تابش در برابر ساختار DNA باکتری *Salmonella* قرار داده شدند؛ بنابراین انتظار میرفت که در این شرایط، میزان شکست‌های اعمال شده به DNA باکتری‌ها برای هر دو تابش تقریباً مشابه باشد.

۵- مراجع:

- [۱] Abdel Rahman RO, Hung YT (۲۰۱۹) Application of Ionizing Radiation in Wastewater Treatment: An Overview. Water ۲۰۲۰, Vol ۱۲, Page ۱۹ ۱۲, ۱۹.
- [۲] Asgari Lajayer B, Najafi N, Moghiseh E, Mosaferi M, Hadian J (۲۰۲۰) Effects of gamma irradiation on physicochemical and biological characteristics of wastewater effluent and sludge. International Journal of Environmental Science and Technology ۱۷, ۱۰۲۱-۱۰۳۴.
- [۳] Asgari Lajayer B, Najafi NA, Moghiseh A (۲۰۰۳) A review of some applications of ionizing radiation in water, wastewater and sewage sludge treatment on an industrial scale, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.
- [۴] Tarr, M.A. ed., ۲۰۰۳. Chemical degradation methods for wastes and pollutants: environmental and industrial applications. CRC press.
- [۵] Kyriakou I, Sakata D, Tran HN, Perrot Y, Shin WG, Lampe N, Zein S, Bordage MC, Guatelli S, Villagrasa C, Emfietzoglou D, Incerti S (۲۰۲۲) Review of the geant⁴-dna simulation toolkit for radiobiological applications at the cellular and dna level. Cancers (Basel) ۱۴.
- [۶] Lessel T, Suess A (۱۹۸۴) Ten year experience in operation of a sewage sludge treatment plant using gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry (۱۹۷۷) ۲۴, ۳-۱۶.
- [۷] Ranković B, Sagatova A, Vujčić I, Mašić S, Veljović Đ, Pavićević V, Kamberović Ž (۲۰۲۰) Utilization of gamma and e-beam irradiation in the treatment of waste sludge from a drinking water treatment plant. Radiation Physics and Chemistry ۱۷۷, ۱۰۹۱۷۴.
- [۸] Stewart R. D. (۲۰۰۱). Two-lesion kinetic model of double-strand break rejoining and cell killing. Radiation research, ۱۵۶(۴), ۳۶۵-۳۷۸.
- [۹] Chatzipapas KP, Tran NH, Dordevic M, Zivkovic S, Zein S, Shin WG, Sakata D, Lampe N, Brown JMC, Ristic-Fira A, Petrovic I, Kyriakou I, Emfietzoglou D, Guatelli S, Incerti S (۲۰۲۳) Simulation of DNA damage using Geant⁴-DNA: an overview of the “molecularDNA” example application. Precis Radiat Oncol ۷, ۴-۱۴.
- [۱۰] Lampe N, Karamitros M, Breton V, Brown JMC, Kyriakou I, Sakata D, Sarramia D, Incerti S (۲۰۱۸) Mechanistic DNA damage simulations in Geant⁴-DNA part ۱: A parameter study in a simplified geometry. Physica Medica ۴۸, ۱۳۵-۱۴۵.
- [۱۱] Rafiepour P, Sina S, Amoli ZA, Shekarfroush SS, Farajzadeh E, Mortazavi SMJ (۲۰۲۴) A mechanistic simulation of induced DNA damage in a bacterial cell by X- and gamma rays: a parameter study. Phys Eng Sci Med ۱-۲۱.



تعیین مناسب‌ترین فاصله کاشت و مقدار مصرف کود نیتروژن برای رقم برنج موتانت هستی (کد

مقاله : ۱۲۲۹)

عبادی، علی‌اکبر^۱ - حلاجیان، محمدطاهر^۲ - محمدی، محمد^۱

۱. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران

چکیده:

یکی از فاکتورهای موثر در افزایش تولید برنج در واحد سطح رعایت اصول به‌زراعی می‌باشد. به منظور تعیین فاصله کاشت و توصیه مناسب کود نیتروژن برای رقم برنج موتانت هستی تحقیقی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از چهار سطح کودی نیتروژن خالص شامل صفر، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار و سه سطح فاصله کاشت (۱۰×۲۰، ۱۵×۲۰، ۲۰×۲۰ سانتی‌متر) به مدت دو سال در موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد ولی فاصله کاشت تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت بالاترین عملکرد دانه با تیمار ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به مقدار ۴۷۴۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تفاوت معنی‌داری نداشت. لذا برای دستیابی به پتانسیل عملکرد رقم هستی، کاهش هزینه‌های اقتصادی تولید در واحد سطح و همچنین، کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، مصرف ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار با فاصله کاشت ۲۰×۱۵ سانتی‌متر توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: برنج، رقم موتانت، سطوح نیتروژن، فاصله کاشت

Determining the optimal planting distance and nitrogen fertilizer application rate for the Hasti mutant rice variety.

Ebadi, AliAkbar^{۱*}, Hallajian, MohammadTaher^۲, Khoshkdaman, Maryam^۱, Mohammadi, Mohammad^۱

۱. Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
۲. Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Nuclear Agriculture Research School, Karaj, Iran.)

Abstract:

One of the effective factors in increasing rice production per unit area is the observance of agronomic principles. In order to determine the planting distance and recommend the appropriate nitrogen fertilizer for the Hasti mutant rice variety, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications using four levels of pure nitrogen fertilizer including ۰, ۶۰, ۷۵, and ۹۰ kilograms per hectare and three planting distances (۲۰×۱۰, ۲۰×۱۵, ۲۰×۲۰ cm) for two years at the Rice Research Institute of Iran in



Rasht. The results of the combined analysis of variance showed that the effect of different nitrogen levels on grain yield was statistically significant at the 1% level, but planting distance did not have a significant effect on this trait. The highest grain yield of 4,740 kg/ha was obtained with the treatment of 90 kg/ha of pure nitrogen, which was not significantly different from the treatment of 70 kg/ha of pure nitrogen. Therefore, to achieve the yield potential of the Hasti variety, reduce the economic costs of production per unit area, and also reduce the harmful effects of excessive use of chemical fertilizers, the application of 70 kg/ha of pure nitrogen with a planting distance of 20 × 10 cm is recommended.

Key words: rice, Hasti Variety, nitrogen fertilizer application, planting distance.

۱ - مقدمه:

در ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای در حال پیشرفت که با افزایش جمعیت مواجه‌اند ضرورت دارد که به توسعه بخش کشاورزی بیش از پیش توجه شود. کود یکی از مهم‌ترین نهاده‌های بخش کشاورزی است که تاثیرگذاری فوق‌العاده‌ای بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی، سلامت و بویژه زیست بوم خاک دارد. هم‌چنان که مصرف صحیح این نهاده می‌تواند افزایش عملکرد گیاهان زراعی و باغی، غنی شدن محصولات و در نتیجه ارتقای سلامت جامعه را فراهم کند، مصرف غیرعلمی آن می‌تواند با کاهش ارزش کیفی محصولات، افزایش تجمع آلاینده‌ها در گیاه، تخریب محیط زیست و حتی کاهش عملکرد، صدمات جدی را به بهره‌برداران این بخش و سلامت جامعه وارد سازد. تحلیل ۵۰ ساله روند تغییرات سطح زیرکشت، تولید و منابع آب، دشواری افزایش سطح زیرکشت و تمرکز بر تولید بیشتر در واحد سطح برای تامین غذای مورد نیاز جمعیت رو به رشد را نشان می‌دهد این امر موجب فشار بیشتر بر منابع خاک و به مخاطره افتادن دستیابی به تولید پایدار و امنیت غذا بوده و توجه به حاصلخیزی خاک بعنوان کلید پایداری را بیش از پیش آشکار می‌نماید [۱].

بسیاری از محققین افزایش صفاتی مانند وزن هزار دانه، تعداد پنجه، تعداد خوشه، عقیمی کمتر خوشه‌ها و سرعت پر شدن دانه را با افزایش مقادیر کود نیتروژن گزارش کرده‌اند [۲ و ۳]. نتایج آزمایش محدثی در سال ۱۳۷۴ برای رقم مازند نشان داد که مناسب‌ترین میزان مصرف کود اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد [۴]. گزارشات برخی از محققین حاکی از آن است که با افزایش مصرف کود نیتروژن از صفر به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه به میزان ۸۴/۵ درصد افزایش می‌یابد [۵]. نتایج بدست آمده در مورد بررسی تراکم بوته و کود نیتروژن در مازندران نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تراکم مختلف کاشت وجود داشته و بالاترین عملکرد در فاصله ۱۵×۱۵ سانتی‌متر مربع حاصل شد. هم‌چنین با کاهش تعداد بوته در واحد سطح از ۱۰×۳۰ به ۲۵×۲۵ سانتی متر مربع در برنج موجب افزایش تعداد پنجه در هر بوته شده ولی تعداد خوشه در واحد سطح کاهش یافت [۶]. نتایج آزمایشات محققان روی دو رقم برنج در شرایط خوزستان نشان داد که برای رقم چمپا با ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن و فاصله کاشت ۲۲×۲۲ سانتی‌متر و برای رقم چرام ۲ با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و فاصله نشاکاری ۱۵×۱۵ سانتی‌متر، بیشترین عملکرد را به‌همراه داشت [۷]. هرچه فاصله بین بوته‌ها کمتر باشد سبب افزایش تعداد بوته و در نهایت تعداد برگ سبز در واحد سطح می‌گردد. هدف از این تحقیق تعیین میزان مناسب کود نیتروژن و فاصله کاشت مطلوب در رقم موتانت برنج به نام هستی می‌باشد.



۲- روش کار:

این تحقیق بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از چهار سطح کودی نیتروژن خالص شامل صفر، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار و سه سطح فاصله کاشت (۱۰×۲۰، ۱۵×۲۰، ۲۰×۲۰ سانتی‌متر) به مدت دو سال با استفاده از رقم برنج موتانت هستی در موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه آزمایشی به صورت مرکب نمونه‌برداری و برخی از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک، واکنش گل اشباع خاک، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد مواد آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و درصد نیتروژن در آزمایشگاه تعیین شد. در مزرعه انتخابی آماده‌سازی زمین شامل شخم اول، دوم و تسطیح اجرا شد و سپس کرت‌بندی به ابعاد ۴×۵ (۲۰ مترمربع) انجام گرفت. به منظور جلوگیری از اختلاط آب کرت‌ها، مرزها با پلاستیک پوشش داده شد و کانال‌های ورود و خروج آب کرت‌ها به‌طور جداگانه تعبیه شدند. همچنین براساس نتایج آزمون خاک مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل قبل از کشت در کرت‌ها مصرف شد. مصرف کود پتاسیمی ضروری نبود. نیتروژن نیز از منبع اوره با توجه به تیمارهای پیش‌بینی شده در دو مرحله پایه و حداکثر پنجه‌زنی مصرف شد. عملیات نشاکاری در فواصل تعیین شده برای تیمارهای آزمایشی با استفاده از ۲ تا ۳ عدد گیاهچه ۳۰ روزه رقم هستی انجام گرفت. تعداد پنجه و ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی شمارش و اندازه‌گیری شد.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، ۱۲ بوته از منطقه نمونه‌برداری هر کرت بصورت کف‌بر، برداشت شد. کاه و دانه نمونه‌ها پس از هواخشک شدن از هم جدا و سپس وزن نمونه دانه و رطوبت موجود در آنها اندازه‌گیری شد و در نهایت عملکرد دانه هر کرت براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. نمونه کاه کرت‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد و مقدار آن برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. براساس مقادیر وزن دانه و کاه، مقدار شاخص برداشت تیمارها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری و محاسبه عملکرد دانه کرت‌ها، سطح ۵ متر مربع از منطقه برداشت هر کرت برداشت شد و پس از هواخشک شدن، خرمن‌کوبی شد و وزن و رطوبت دانه کرت‌ها اندازه‌گیری و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. داده‌های بدست آمده با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت.

در این آزمایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با استفاده از معادلات زیر تعیین شد [۸].

$$(\text{کیلوگرم در هکتار}) = \text{عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)} + \text{عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (عملکرد کاه)}$$

$$(\text{Kg/ha}) / \text{عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)} \times \text{شاخص برداشت} = \text{عملکرد دانه ()}$$

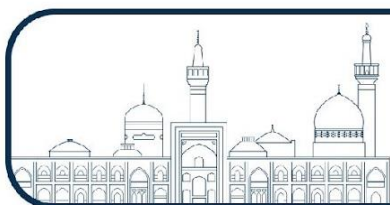
$$(\text{کیلوگرم در هکتار}) \text{ عملکرد دانه}$$

$$= \frac{(\text{شاخص برداشت (درصد)})}{100} \times$$

$$(\text{عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)})$$

مقدار پروتئین دانه از معادله زیر محاسبه شد [۹].

$$\text{نیتروژن کل (درصد)} = \text{پروتئین دانه (درصد)} \times 5.95$$



مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز با استفاده از معادله زیر برآورد شد [۱۰].

(
کیلوگرم در هکتار) وزن ماده خشک $\times$ غلظت عنصر در ماده خشک (کیلوگرم
در هکتار)

جذب عنصر (کیلو گرم در هکتار) -----

=)

100

۳ - نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های به‌زراعی نشان داد که اثر سال بر صفات عملکرد دانه، میزان جذب نیتروژن دانه، پروتئین دانه معنی‌دار نشد ولی بر روی بقیه صفات در سطح یک درصد (به‌جز شاخص برداشت در سطح ۵ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر اصلی کود نیتروژن در سال بر روی صفات مهمی مانند عملکرد دانه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک و میزان جذب نیتروژن دانه و کاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی فاصله کاشت بر روی تعداد پنجه و شاخص برداشت در سطح یک درصد و طول خوشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دو فاکتور میزان نیتروژن در فاصله کاشت فقط بر روی میزان جذب نیتروژن کاه و عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود اثر متقابل سال در کود نیتروژن بر روی سه صفت ارتفاع بوته، وزن خشک کاه و شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل سال در فاصله کاشت فقط بر روی صفت تعداد پنجه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل سه گانه میزان نیتروژن در فاصله کاشت در سال بر روی هیچ کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود.

۳-۱- صفت تعداد پنجه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف نیتروژن و فاصله کاشت و اثر سال به‌طور مجزا بر تعداد پنجه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). اثر متقابل سال و فاصله کاشت نیز بر تعداد پنجه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها بیشترین تعداد پنجه با تیمار ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به تعداد ۱۰/۱ عدد بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به تعداد ۹/۵ عدد نداشت (جدول ۳). عملکرد دانه در غلات تا حد زیادی به تعداد پنجه در گیاه بستگی دارد و بین تعداد پنجه و عملکرد همبستگی مثبت وجود دارد. از دلایل اثر سطوح مختلف نیتروژن بر تعداد پنجه می‌توان به پتانسیل بالای لاین‌های اصلاحی در جذب نیتروژن با افزایش مصرف کود و ارتقای رشد رویشی و تولید پنجه‌های بیشتر اشاره کرد نتایج بدست آمده در این زمینه با گزارش فاگرایا^{۲۶} و بالیگار^{۲۷} مطابقت دارد [۱۱].

^{۲۶} Fageria

^{۲۷} Baligar



۳-۲- صفت طول خوشه

بررسی نتایج مرتبط به طول خوشه نشان داد که اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل بین این عامل و فاصله کاشت بر طول خوشه معنی‌دار نمی‌باشد این نتایج با گزارش علیزاده (۱۳۹۱) همخوانی دارد [۱۲]. در این ارتباط اثر فاصله کاشت بر طول خوشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. کمترین طول خوشه مربوط به فاصله کاشت 20×10 سانتی‌متر و بیشترین طول خوشه با فاصله کاشت 20×20 سانتی‌متر بدست آمد (جدول ۱). طول خوشه مستقیماً در محاسبه عملکرد نقش ندارد ولی به عنوان یکی از صفات ارزیابی عملکرد مورد توجه می‌باشد معمولاً ارقام با طول خوشه بلندتر دارای عملکرد بالاتری می‌باشند [۱۲].

۳-۳- صفت ارتفاع بوته

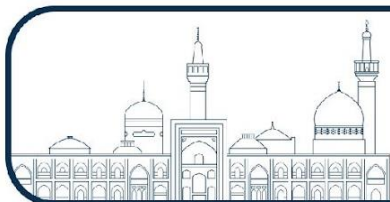
اثر متقابل سطوح مختلف نیتروژن و سال اجرای آزمایش بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته به مقدار $139/89$ سانتی‌متر در تیمار 75 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای 60 و 75 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص نداشت (جدول ۲). سالم^{۲۸} (۲۰۰۶) گزارش کردند که مصرف کود نیتروژن در برنج موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردد [۱۳]. در این آزمایش اثر فاصله کاشت و همچنین اثر متقابل سطوح مختلف نیتروژن و فاصله کاشت بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد. گیاه در تراکم‌های کشت بالاتر به دلیل رقابت بیشتر، رشد رویشی کمتری داشته ولی در تراکم‌های کمتر به دلیل استفاده بهینه از شرایط مناسب محیطی، ارتفاع گیاه افزایش یافته است. مبصر و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند با افزایش تراکم کاشت در گیاه برنج ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد [۱۴].

۳-۴- صفت عملکرد دانه و کاه

اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد ولی فاصله کاشت تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. اثر متقابل سطوح مختلف نیتروژن و فاصله کاشت نیز بر عملکرد دانه تأثیر گذار نبود (جدول ۱). بالاترین عملکرد دانه با تیمار 90 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به مقدار $4740/93$ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با تیمار 75 و 60 کیلوگرم در هکتار نیتروژن تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در مورد عملکرد کاه نتایج نشان داد اثر مقدار نیتروژن مصرف شده بر این صفت در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). حداکثر عملکرد کاه به مقدار 5646 کیلوگرم در هکتار با تیمار 75 کیلوگرم نیتروژن خالص بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار 90 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص نداشت (جدول ۳). نیتروژن به عنوان یک عامل محدودکننده در رشد و تولید برنج محسوب می‌شود و در مرحله رشد رویشی به خصوص پنجه‌زنی و افزایش سطح سبز در گیاه نقش دارد و در مرحله زایشی نیز از طریق افزایش شیره پرورده، افزایش فتوسنتز و پر شدن دانه نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد دارد [۱۵]. الباتال^{۲۹} و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که افزایش میزان نیتروژن از 50 تا 80 کیلوگرم بطور محسوس ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر شده در هر خوشه و عملکرد دانه و کاه را افزایش می‌دهد [۱۶]. نتایج مشابهی در این زمینه توسط سایر محققین گزارش شد [۱۷]. عملکرد شلتوک مشخصه‌ای پیچیده بوده که

^{۲۸} Salem

^{۲۹} El-Batal



هریک از اجزای عملکرد می‌توانند روی آن تاثیرگذار باشند. گراویس و هلمز^{۳۰} [۱۸] عملکرد را به صورت حاصل اجزای عملکرد تعریف کردند که کاهش در هر یک از اجزا می‌تواند به درجات مختلف با افزایش در سایر اجزای عملکرد جبران گردد.

۳-۵- صفت جذب نیتروژن توسط دانه و کاه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر سطوح مختلف نیتروژن بر جذب نیتروژن توسط دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. فاصله کاشت بر جذب نیتروژن در دانه اثر معنی‌دار نداشت. بیشترین مقدار جذب نیتروژن توسط دانه به مقدار ۴۴/۸ کیلوگرم در هکتار با تیمار ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص بدست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای مصرف ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نداشت (جدول ۳).

۳-۶- صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و میزان پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمار نیتروژن و فاصله نشاکاری و همچنین اثر ساده سال اجرای آزمایش بر عملکرد بیولوژیک به ترتیب در سطوح ۵ و یک درصد اثر معنی‌دار دارد (جدول ۱). بیشترین عملکرد بیولوژیک به مقدار ۱۰۲۹۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار با تیمار ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص نداشت (جدول ۳). حداکثر عملکرد بیولوژیک در سال اول اجرای آزمایش به مقدار ۹۹۷۸/۰۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۲). حداکثر شاخص برداشت به مقدار ۴۷/۰۷ درصد در سال دوم اجرای آزمایش بدست آمد (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت با فاصله نشاکاری ۲۰×۱۰ سانتی‌متر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با فاصله نشاکاری ۲۰×۱۵ سانتی‌متر نداشت. اثر سطوح مختلف نیتروژن و فاصله کاشت بر پروتئین دانه بی‌تاثیر بود.

۴- نتیجه‌گیری:

با توجه به اهداف آزمایش و بررسی روند تغییرات مثبت و منفی صفات مورد اندازه‌گیری و تاثیرگذار در این مطالعه بر عملکرد شلتوک، فاصله کاشت ۲۰×۱۵ سانتی‌متر و تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به عنوان مناسب‌ترین فاصله کاشت و مصرف نیتروژن برای رقم هستی پیشنهاد می‌شود.



جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب خصوصیات زراعی رقم هستی طی دو سال زراعی

میانگین مربعات										درجه آزادی	منابع تغییرات
شاخص	عملکرد بیولوژیک	پروتئین دانه	میزان جذب نیتروژن کاه	میزان جذب نیتروژن دانه	وزن کاه خشک در هکتار	وزن دانه	ارتفاع بوته	طول خوشه	تعداد پنجه		
*62/41	**48/5667864	ns18/1	ns17/40	ns86/42	*35/3806500	ns04/184395	**61/642	**40/46	**53/32	۱	سال
*33/24	ns00/294768	ns3/0	ns03/12	ns68/80	ns01/424042	ns16/95406	ns04/33	**14/8	ns84/2	۴	تکرار/سال
ns14/10	**42/9712920	ns21/0	**02/70	**80/406	**61/3362584	**48/1725331	**10/494	ns50/2	**34/12	۳	کود نیتروژن
**01/46	ns52/189810	ns52/1	ns70/35	ns47/12	ns93/454739	ns84/99320	ns92/29	*92/8	**87/76	۲	فاصله کاشت
ns85/3	*03/688465	ns32/0	*56/30	ns21/10	ns36/307928	ns30/85328	ns92/10	ns94/1	ns81/2	۶	کود نیتروژن × فاصله کاشت
**50/52	ns78/604945	ns15/0	ns09/6	ns17/19	**61/848084	ns58/33927	**27/80	ns51/2	ns54/3	۳	سال × کود نیتروژن
ns89/5	ns50/343166	ns56/1	ns67/5	ns29/40	ns60/211656	ns98/28909	ns41/34	ns90/4	*89/4	۲	سال × فاصله کاشت
ns34/6	ns24/221818	ns81/0	ns47/16	ns25/12	ns80/159622	ns69/17620	ns65/15	ns62/2	ns44/0	۶	سال × کود نیتروژن × فاصله کاشت
۷۰/۸	۳۹/۲۸۵۷۸۵	۶۷/۰	۱۵/۱۱	۹۱/۳۸	۷۷/۱۸۷۸۱۷	۸۸/۸۷۳۰۵	۳۹/۱۵	۸۰/۱	۵۱/۱	۴۴	خطا
۹۲/۶	۷۰/۷	۷۷/۸	۰۷/۱۷	۰۱/۱۵	۸۷/۱۰	۰۲/۱۰	۸۷/۲	۵۸/۴	۴۱/۱۳		ضریب تغییرات (درصد)

*ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪



جدول ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر خصوصیات زراعی گیاه برنج رقم هستی

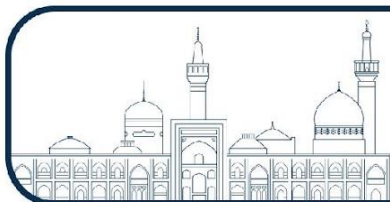
سال	تعداد پنجه	طول خوشه (cm)	ارتفاع بوته (cm)	وزن دانه (kg/ha-1)	وزن کاه خشک (kg/ha-1)	میزان جذب نیتروژن دانه (kg/ha-1)	میزان جذب نیتروژن کاه (kg/ha-1)	پروتئین دانه (%)	بیولوژیک (kg/ha-1)	شاخص (%)
سال ۱۳۹۹	a83/9	a08/30	a44/139	۳۷/۴۴۹۶	a67/5481	۷۶/۴۰	۳۱/۲۰	۲۵/۹	a04/9978	b06/45
سال ۱۴۰۰	b48/8	b47/28	b46/133	۵۵/۴۳۴۴	b81/4883	۳۱/۴۲	۸۱/۱۸	۵۱/۹	b36/9228	a07/47

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند، تفاوت معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی کود نیتروژن بر خصوصیات زراعی گیاه برنج رقم هستی

کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	تعداد پنجه	طول خوشه (cm)	ارتفاع بوته (cm)	وزن دانه (kg/ha-1)	وزن کاه خشک (kg/ha-1)	میزان جذب نیتروژن دانه (kg/ha-1)	میزان جذب نیتروژن کاه (kg/ha-1)	پروتئین دانه (%)	بیولوژیک (kg/ha-1)	شاخص (%)
۰	c23/8	۲۵/۲۹	b67/128	b60/3732	c60/4398	b49/34	b94/16	۲۳/۹	c20/8131	۹۰/۴۵
۶۰	bc76/8	۰۱/۲۹	a13/138	a82/4561	b96/5159	a26/42	ab18/19	۳۹/۹	b78/9721	۹۲/۴۶
۷۵	ab52/9	۰۴/۲۹	a89/139	a76/4646	a30/5646	a84/44	a34/21	۴۹/۹	a06/10293	۱۴/۴۵
۹۰	a11/10	۸۱/۲۹	a12/139	a93/4740	a10/5530	a56/44	a78/20	۴۱/۹	a03/10271	۱۶/۴۶

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشابه می‌باشند، تفاوت معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.



۵- مراجع:

- ۱- طهرانی، محمد، مهدی. بلالی، محمد، رضا. مشیری، فریدون. دریا شناس، علی. ۱۳۸۹. توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها. چکیده مقالات اولین کنگره چالش‌های کود در ایران، نیم قرن مصرف کود. اسفند ۱۳۸۹ هتل المپیک - تهران.
- ۲- Khush, G.S., ۲۰۰۵. What it will take to Feed ۵,۰ Billion Rice consumers in ۲۰۳۰. *Plant Molecular Biology*, ۵۹, ۱ - ۶.
- ۳- Manzoor, Z., Awan, T.H., Safdar, M.E., Ali, R.I., Ashraf, M.M. and Ahmad, M. ۲۰۰۶. Effect of nitrogen levels on yield and yield components of basmati ۲۰۰۰. *Pakistan. J. Agric. Res.*, ۴۴(۲): ۱۱۵-۱۲۰.
- ۴- محدثی، علی. ۱۳۷۴. ارزیابی مناسب‌ترین فاصله ردیف کاشت سه رقم برنج. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور. معاونت مازندران.
- ۵- موسوی، سید غلامرضا. محمدی، ام‌لیلا. برادران، رضا. ثقه‌اسلامی، محمدجواد. امیری، ابراهیم. ۱۳۹۴. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم برنج. پژوهش‌های زراعی ایران. دوره ۱۳ شماره ۱.
- ۶- Mohaddesi, A., Abbasian, A., Bakhshipour, S. and Mohammad Salehi. ۲۰۱۰. Effects of nitrogenous fertilizer and planting density on yield and yield components of ۸۴۳ rice line. *Journal of Crop Ecophysiology*. ۲(۳): ۱۹۸-۲۰۸.
- ۷- امیری، حمید. رضا. ۱۳۷۷. اثرات مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد چهار رقم برنج در منطقه سرباز. ششمین کنگره ملی علوم زراعی ایران. تهران.
- ۸- Yoshida, S., ۱۹۸۱. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines. ۲۶۹.
- ۹- AOAC ۲۰۰۰. Official methods of analysis, ۱۷th edition, Washington D.C.
- ۱۰- Lindsay, W.L and Norvell, W.A. ۱۹۷۸. Developments of DTPA soil test for zinc, iron, managanese and copper. *Soil Science Society of American Journal*. ۴۲: ۴۲۱-۴۲۸.
- ۱۱- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. ۲۰۰۱. Low land rice response to nitrogen fertilization. *Soil. Sci. Plant Anal*. ۳۲(۱-۹): ۱۴۰۵-۱۴۲۹.
- ۱۲- علیزاده، مهدی. ۱۳۹۱. بررسی خصوصیات کمی و کیفی دو لاین برنج هیبرید در شرایط مدیریت کود نیتروژن و تراکم کاشت. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد واحد لاهیجان.
- ۱۳- Salem, A.K.M., ۲۰۰۶. Effect of Nitrogen Levels, Plant Spacing and Time of Farmyard Manure Application on the Productivity of Rice. *Journal of Applied Sciences Research*, ۲(۱۱): ۹۸۰-۹۸۷.
- ۱۴- مبصر، حمیدرضا. نورمحمدی، قربان. فلاح، ولی محمد. درویش، فرخ. مجیدی، اسلام. ۱۳۸۴. اثرات مقادیر و تقسیط نیتروژن بر عملکرد دانه برنج. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. سال یازدهم. شماره ۳.
- ۱۵- Zayd. B.A., I.S. EL-refae, R.N. Gorgy and A.A.M. Abd EL-Rahman, ۲۰۰۵. Effect sowing dates, plant spacing and nitrogen levels on growthing and yield of rice under saline soil. The ۱۱ conference of Agronomy , Dept., Fac. Agric., Assiut univ., pp: ۲۶۵-۲۸۳.
- ۱۶- El-Batal, M.A., M.H. Abd El-Gawad, Fatma, A.Abd. El-Set A.Abd. El-Aziz, ۲۰۰۴. Uniconazole application as antilodging for rice plants fertilized with high nitrogen rate. *Zagazig J.Agric. Res.*, ۳۱: ۴۷۳-۴۹۰.
- ۱۷- Hari, O.M., S.K. Katyal and S.D.Himan. ۲۰۰۰. Respons of two rice hybrids to graded levels of nitrogen. *Indian J. Agric. Sci*. ۷۰: ۱۴۰-۱۴۲.
- ۱۸- Gravois, K.A., and Helms, R.S. ۱۹۹۲. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seedling rate. *Agron. J*. ۸۴: ۱-۴.



یکپارچه سازی PIGE، ANN و MCNPX از تشخیص دقیق میکروپلاستیک ها تا استاندارد سازی

جهانی پایش آلاینده های پلاستیکی (کد مقاله : ۱۲۵۱)

اتقائی، مرجان^۱ - رضائی، محمد رضا^۱ - آفریده، حسین^۲ - طیبی، جواد^۱

۱. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه مهندسی هسته ای

۲. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده:

آلودگی میکروپلاستیک‌ها در منابع آبی تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان است. این پژوهش روشی ترکیبی شامل پرتوی گامای القاشده (PIGE)، شبکه عصبی *Bi-LSTM* و شبیه‌سازی *MCNPX* را برای تشخیص دقیق میکروپلاستیک‌ها ارائه می‌دهد. انرژی بهینه پروتون بین ۳ تا ۷ مگاالکترون‌ولت شناسایی شد که برای غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها کارایی بالایی نشان داد. مدل *Bi-LSTM* با معماری پیشرفته و مکانیزم‌های جلوگیری از بیش‌برازش با دقت ۹۵٪، حساسیت ۹۳٪، و $F1$ -score برابر با ۹۴٪ دست یافت. همچنین در آینده، می‌توان آن را با اینترنت اشیا (IoT) ترکیب کرد تا پایش لحظه‌ای و حفاظت بهتر از محیط‌زیست ممکن شود.

کلمات کلیدی: یکپارچه سازی فناوری ها، تشخیص میکروپلاستیک ها، شبیه سازی *MCNPX*، استاندارد سازی جهانی، هوش مصنوعی در محیط‌زیست

Integration of PIGE, ANN, and MCNPX: From Accurate Detection of Microplastics to Global Standardization of Plastic Pollution Monitoring

Atghaei, Marjan^{۱*}, Rezaie, M.Rezaie^۱, Afarideh, Hossein^۲, Tayebi, Javad^۱

۱. Department of Nuclear Engineering, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

۲. Amirkabir University of Technology, Faculty of Physics and Energy Engineering, Department of Nuclear Engineering

Abstract:

Microplastic pollution in water resources is a serious threat to the environment and human health. This research presents a hybrid method including induced gamma ray (PIGE), Bi-LSTM neural network, and MCNPX simulation for accurate detection of microplastics. The optimal proton energy was identified between ۳ and ۷ MeV, which showed high performance for different concentrations of microplastics. The Bi-LSTM model with advanced architecture and overfitting prevention mechanisms achieved ۹۵% accuracy, ۹۳% sensitivity, and $F1$ -score of ۹۴%. Also, in the future, it can be combined with the Internet of Things (IoT) to enable real-time monitoring and better environmental protection.

Keywords: Technology Integration, Microplastics Detection, MCNPX Simulation, Global Standardization, Artificial Intelligence in Environmental Science

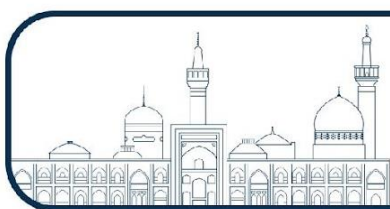


۱ - مقدمه:

آلودگی محیط زیست توسط میکروپلاستیک‌ها (MPs) مشکلی است که به طور فزاینده ای قابل مشاهده و نگران کننده است [۱]. میکروپلاستیک‌ها ذرات پلاستیکی با شعاع کمتر از ۵ میلی متر در آب می باشند که در اثر فعالیت های صنعتی انسان تراکم آن ها در جو زمین و آب در حال افزایش است [۲]. برای تشخیص تراکم این ذرات روش های زیادی معرفی شده است. اخیراً تحقیقات گسترده ای در زمینه استفاده از روش های آنالیز هسته ای برای تشخیص میزان میکروپلاستیک در هوا و آب در حال انجام است [۳]. پروژه CRP که در اروپا در سال ۲۰۲۴ کلید خورده است با تشکیل یک تیم بین المللی به همین موضوع پرداخته است [۴]. روش های آنالیز هسته ای شامل PIXE, PIGE, RBS, STIM و ... می باشند [۵] که در این روش ها با تابش ذرات باردار، نوترون، گاما و یا اشعه X بر هدف مورد نظر و بررسی تابش های ثانویه یا تغییر در شار و انرژی ذرات اولیه می توان به شناسایی درصد عناصر، نوع ترکیب، چگالی و تعیین درصد آلودگی های موجود در یک نمونه پی برد [۶]. از بین کدهای مطرح هسته ای مثل $Fluka$, $MCNPX$, $Geant4$ و ... کد $MCNPX$ یکی از کارآمدترین کدهای هسته ای است که در آن می توان ذرات اولیه و ذرات ثانویه تولید شده در اثر برهمکنش آنها به هر محیطی و ماده را بطور دقیق ردیابی کرد [۷]. جهت تحلیل نتایج خروجی کد شبیه سازی $MCNPX$ ، از نرم افزار $Origin$ جهت ترسیم و بررسی استفاده می شود. از شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) در تحقیقات هسته ای مربوط به میکروپلاست ها و تشخیص عناصر استفاده شده است [۸]. هدف این تحقیق ادغام سیستم های تشخیص پرتوهای گامای ناشی از ذرات (PIGE)، شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) و شبیه سازی های عددی $MCNPX$ ، بعنوان یک پیشرفت بی سابقه در حوزه تشخیص میکروپلاستیک ها می باشد. این رویکرد با مدلسازی دقیق برهمکنش ذرات پرنرژی (مانند پروتون ها) با نمونه های زیست محیطی، امکان پیش بینی طیف های گامای تولید شده توسط PIGE را فراهم می کند. این یکپارچه سازی، کاهش خطای سیستماتیک در تفسیر داده های تجربی و بهینه سازی پارامترهای تابشی را ممکن می سازد. چگونگی انجام این تحقیق در مراحل بعدی توضیح داده می شود.

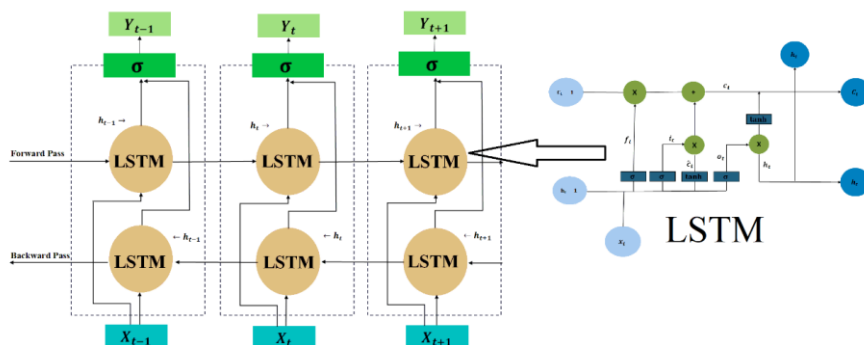
۲ - روش کار:

در این تحقیق، در کد $MCNPX$ در قسمت سلول های فایل ورودی بصورتی تعریف می شود که شامل هدف مورد تابش و آشکارساز باشد. در این تحقیق هدف مورد نظر یک مکعب پر از آب به ابعاد $1 \times 0.1 \times 0.1 \text{ cm}^3$ در نظر گرفته می شود چشمه مورد نظر نیز که در تعریف عمومی بصورتی تعریف می شود که می تواند شامل پرتوهای مختلفی مثل پروتون، گاما، ایکس، نوترون و یون های دیگر باشد. در این کد چشمه را میتوان بصورت $Sdef$ تعریف کرد. ماده ترکیبی از آب و میکروپلاستیک است. همچنین از باریکه پروتون با انرژی $20\text{--}40 \text{ MeV}$ جهت تشخیص میکروپلاستیک در آب استفاده شد دلیل انتخاب آن با توجه به بازه سیکلوترون پروتون کرج بوده است تا امکان عملی سازی فراهم گردد. برای تعریف میکروپلاستیک در آب ماده میکروپلاستیک از نوع پلی متیل متاکریلات (PMMA) در نظر گرفته شده است این ماده یکی از سخت ترین و محکم ترین پلیمرها با شفافیتی بالاتر از شیشه و سطحی صیقلی و براق و مقاوم در برابر عوامل جوی است [۹]. در این حالت ذرات میکروپلاستیک بصورت ترکیب همگنی در آب فرض می شود. آشکارساز Sipm و تالی $8f$ برای محاسبه طیف انرژی ذرات استفاده شده و برای دقت نتایج، فرآیند PIGE ارزیابی شده است تعداد ذرات ردیابی شده برای رسیدن به خطای زیر ۱٪ 10^8 ذره در نظر گرفته می شود. برای اینکه صحت نتایج مورد بررسی قرار گیرد یک فرآیند PIGE که منطبق بر نتایج علمی است مورد ارزیابی و دقت قرار می گیرد.



۲-۱- مدل و ساختار شبکه عصبی باز گشتی بهینه شده از پیش تعلیم یافته

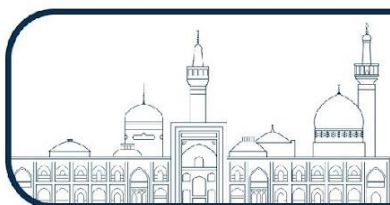
شبکه های حافظه کوتاه مدت دو جهته (Bi-LSTM) به دلیل توانایی شان در پردازش داده های ترتیبی و زمانی، در بسیاری از زمینه ها از جمله پردازش زبان طبیعی (NLP)، تشخیص گفتار، پیش بینی سری های زمانی و تحلیل داده های بیولوژیکی کاربرد دارند. این شبکه ها با استفاده از دو (LSTM) که به صورت موازی و در دو جهت مخالف عمل می کنند، قادر به درک بهتر وابستگی های زمانی در داده ها هستند [۱۰]. الگوریتم آدام (Adaptive Moment Estimation) یکی از محبوب ترین الگوریتم های بهینه سازی در یادگیری عمیق است که به دلیل سرعت همگرایی بالا و کارایی در تنظیم پارامترها، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. این الگوریتم با ترکیب مزایای دو الگوریتم (AdaGrad) و (RMSProp)، به بهبود عملکرد شبکه های عصبی کمک می کند. ساختار شبکه عصبی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) ساختار شبکه عصبی باز گشتی Bi-LSTM

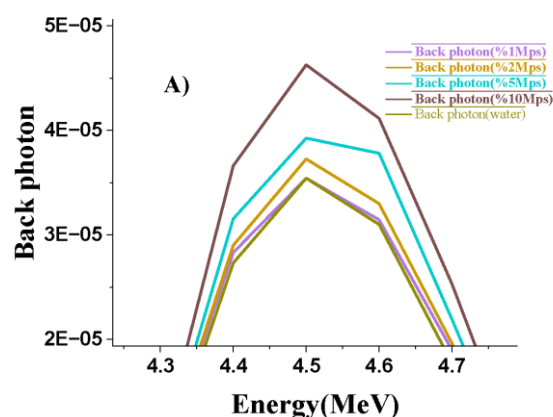
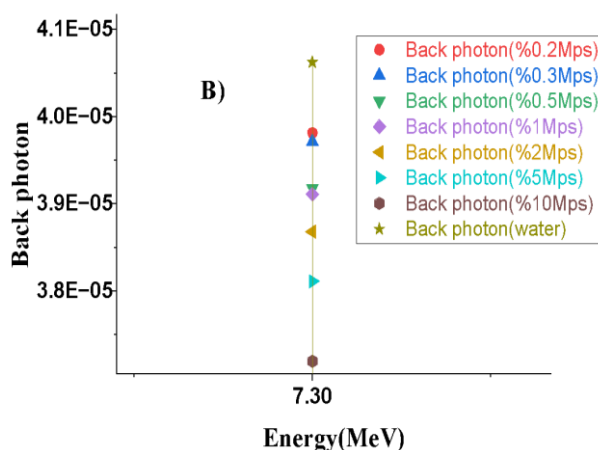
۲-۲- معیارهای ارزیابی مدل

میزان خطا بین مقادیر پیش بینی شده و مقادیر واقعی را با Test Loss نشان می دهند. هرچه این مقدار کمتر باشد، عملکرد مدل بهتر است. درصد نمونه هایی که به درستی پیش بینی شده اند را Test Accuracy نشان می دهد. هر چه این مقدار بیشتر باشد دقت پیش بینی مدل هم بالاتر است. توانایی مدل در تشخیص نمونه های مثبت واقعی را Sensitivity (Recall) گویند. هرچه این مقدار بالاتر باشد، حساسیت مدل در تشخیص نمونه ها بهتر می باشد. درصد نمونه های تشخیص درست را Precision گویند و مقدار بیشتر آن نشان دهنده دقت بالاتر در تشخیص می باشد. میانگین بین عوامل دقت و حساسیت را با F1 Score نشان می دهند و هر چه مقدار آن بیشتر باشد تعادل بین این عوامل جهت تشخیص درست بالاتر است.

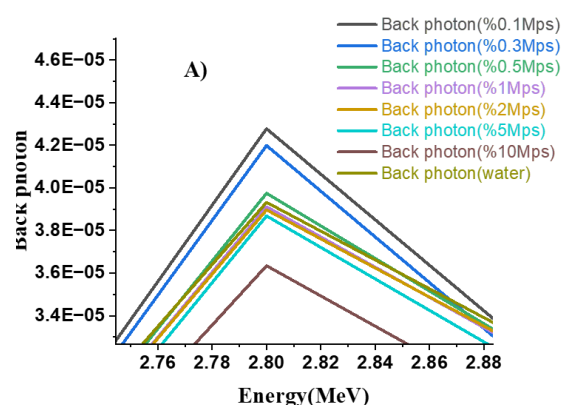
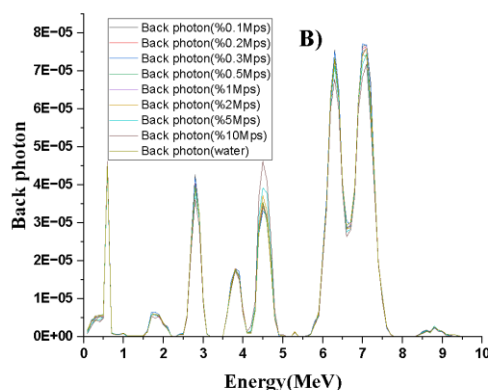


۳ - نتایج:

در این تحقیق از باریکه پروتون با انرژی $20-0\text{ MeV}$ جهت تشخیص میکروپلاستیک در آب استفاده شد روش مورد مطالعه طیف گاما یا ایکس تابش شده از نمونه آب با و بدون میکروپلاستیک در درصدهای مختلف می باشد. نتایج طیف گامای ساطع شده از نمونه آب با میکروپلاستیک و بدون میکروپلاستیک نیز در شکل های ۲-۳ آورده شده است.

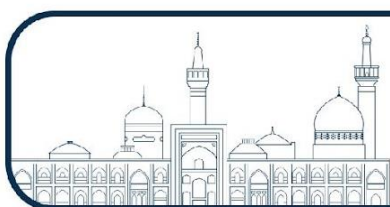


شکل (۲) تغییر در قله فوتونهای برگشتی در انرژی زیر 5 MeV و تشخیص آب با و بدون میکروپلاستیک (A) $1\%-10\%$ و تغییر در ارتفاع فوتونهای برگشتی در انرژی $7/3\text{ MeV}$ و تشخیص آب با و بدون میکروپلاستیک (B) $0.2\%-10\%$

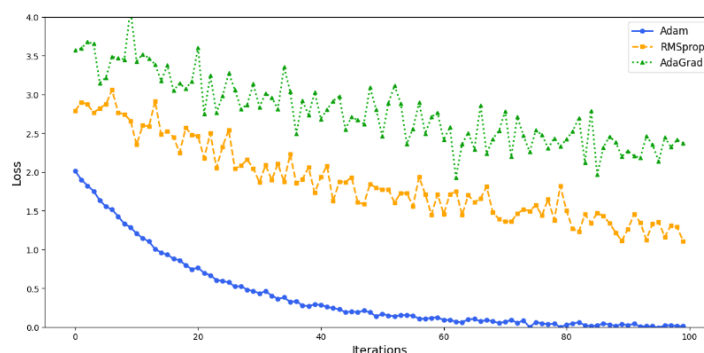


شکل (۳) (A) تغییر در قله فوتون های برگشتی در انرژی زیر 3 MeV برای تشخیص میکروپلاستیک در آب در بازه $10\%-$ (B) انرژی فوتون های برگشتی در انرژی $20-0\text{ MeV}$

نتایج نشان می دهد که در انرژی های 7.3 MeV و زیر 5 MeV مقدار درصد میکروپلاستیک ها و آب بدون میکروپلاستیک متغیر است و تغییر در قله فوتون های برگشتی در انرژی زیر 3 MeV با افزایش درصد میکروپلاستیک ارتفاع قله فوتون های برگشتی کاهش پیدا می کند و کمترین ارتفاع مربوط به حضور 10% میکروپلاستیک می باشد. داده های استخراجی به شبکه

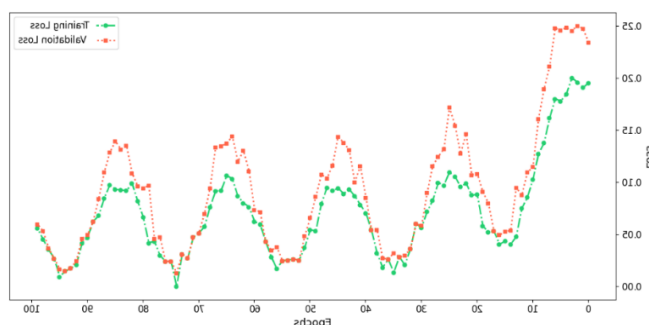


عصبی بازگشتی Bi-LSTM داده شد. ابتدا عملکرد الگوریتم های مختلف برای بهینه کردن شبکه عصبی بازگشتی بمنظور خطای کم تر در تشخیص میکروپلاستیک ها برای (فوتون های برگشتی) در شکل ۴، آورده شده است.



شکل (۴) عملکرد خوب بهینه ساز آدام (Adam) در مقایسه با بهینه سازهای RMSProp و AdaGrad

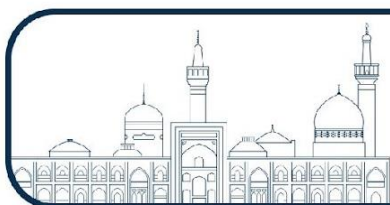
همچنین تلفات آموزش شبکه و اعتبار سنجی داده ها توسط شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم آدام در شکل ۵، آورده شده است.



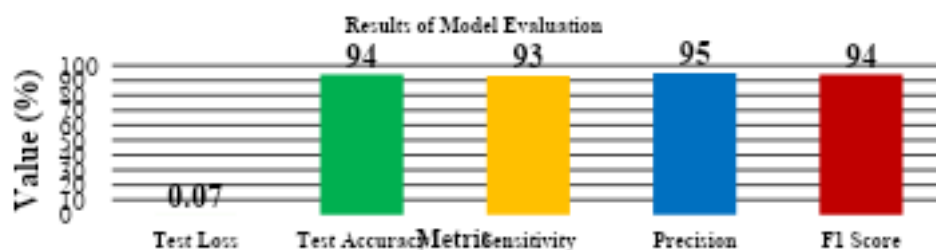
شکل (۵) تلفات آموزشی و تلفات اعتبارسنجی شبکه عصبی Bi-LSTM بهینه شده با الگوریتم آدام نشان داده شده است که هر دو مقدار تلفات در ۱۰۰ دوره آموزشی به مقدار حدودی ۰.۰۷ رسیده اند.

۴ - بحث و نتیجه گیری:

در این تحقیق از روش PIGE برای تعیین درصد میکروپلاستیک در آب استفاده شد. نتایج نشان می دهد که ترکیب روشهای آنالیز هسته ای با شبکه عصبی Bi-LSTM ابزاری توانمند برای تشخیص درصد میکروپلاستیک در آب می باشد. در درصد های بالای میکروپلاستیک، تغییر انرژی و احتمال تابش فوتون های برگشتی تابعی از درصد میکروپلاستیک در نمونه ها است. مقایسه طیف PIGE نمونه های آب با و بدون میکروپلاستیک نشان می دهد که در انرژی مشخصه ۳-۷.۳ MeV برای آب، میزان شدت پرتوهای گاما متناسب با درصد میکروپلاستیک در آب می باشد. در نتیجه، استفاده از روش های آنالیز هسته ای یکی از روش های کارآمد برای تشخیص آلودگی های میکروپلاستیک در آب می باشد. علاوه بر این، تکنیک های ارزیابی شبکه عصبی بازگشتی Bi-LSTM که بهینه سازی شده و از پیش تعلیم یافته اند، برای کارهای بعدی در حوزه میکروپلاستیک پیشنهاد می شوند. این تکنیک ها با بهره گیری از مدل های از پیش تعلیم یافته، دقت و



کارایی تشخیص را به طور قابل توجهی افزایش می دهند و چارچوبی قوی برای تحلیل های آینده ارائه می دهند. در شکل ۶، تکنیک های ارزیابی کننده شبکه آورده شده است.



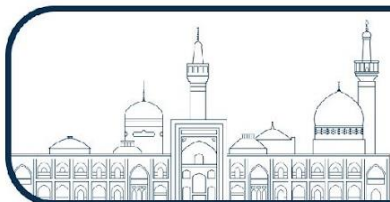
شکل (۶): ارزیابی عملکرد شبکه عصبی بازگشتی Bi-LSTM با استفاده از معیارهای ارزیابی کننده درون شبکه

این ارزیابی ها نشان می دهند که مدل بهینه سازی شده و از پیش تعلیم یافته Bi-LSTM می تواند به طور قابل توجهی دقت و کارایی تشخیص میکروپلاستیک ها را افزایش دهد، که برای تحقیقات آینده بسیار مفید و قابل اتکا خواهد بود. در جدول ۲، عملکرد معماری پیشنهادی این پژوهش علمی، بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش روش کار، و با توجه به مقایسه آن با سایر معماری های شبکه عصبی (Bi-LSTM) مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲. مقایسه ارزیابی کننده های شبکه عصبی بازگشتی Bi-LSTM

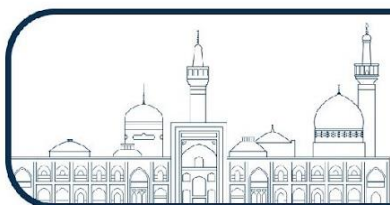
مقایسه با معماری های پیشنهادی	Accuracy	Precision	Sensitivity	F1-score
مرید حسین و همکاران [۱۱]	٪۸۷.۶۵	٪۸۸.۶۷	٪۸۶.۵۴	٪۸۷.۶۰
زهیر ملکی و همکاران [۱۲]	٪۹۱.۵۹	٪۹۳.۷۵	٪۹۲.۶۶	٪۹۲.۶۶

این معماری همچنین در مقایسه با کارهای دیگر که از معماری شبکه عصبی بازگشتی Bi-LSTM استفاده کرده اند، ارزیابی شده و برتری خود را با استناد به تکنیک های ارزیابی مورد استفاده نشان داده است. بنابراین ترکیب فناوری تشخیص میکروپلاستیکها مبتنی بر PIGE و ANN با شبیه سازیهای عددی پیشرفته (MCNPX)، گامی نوین در جهت بهینه سازی تحلیل های تجربی و کاهش هزینه های آزمایشگاهی است. شبیه سازی MCNPX با مدلسازی دقیق برهمکنش ذرات پرانرژی (مانند پروتونها) با نمونه های زیست محیطی، امکان پیشبینی طیف های گامای تولیدشده توسط PIGE را فراهم می کند. این رویکرد یکپارچه، کاهش خطای سیستماتیک در تفسیر دادههای تجربی و بهینه سازی پارامترهای تابشی را ممکن می سازد. ترکیب PIGE - ANN - MCNPX نه تنها یک جهش فناورانه در حوزه تشخیص میکروپلاستیک هاست، بلکه الگویی برای تحول دیجیتال در علوم زیست محیطی ارائه می دهد. این سیستم با کاهش هزینه ها، افزایش دقت و امکان کاربرد در مقیاس جهانی، جایگزین اجتناب ناپذیر روشهای سنتی خواهد شد و تا سال ۲۰۳۰ به عنوان ستون فقرات پایش آلاینده های پلاستیکی در پروتکل های بین المللی تثبیت خواهد شد.



۵ - مراجع:

- [۱] H. Miera-Domínguez, P. Lastra-González, I. Indacoechea-Vega, and D. Castro-Fresno, "What is known and unknown concerning microplastics from tyre wear?," *Road Materials and Pavement Design*, vol. ۲۵, no. ۸, pp. ۱۶۵۸-۱۶۷۹, ۲۰۲۴.
- [۲] Y. Guo, R. Wu, H. Zhang, C. Guo, L. Wu, and J. Xu, "Distribution of microplastics in the soils of a petrochemical industrial region in China: Ecological and Human Health Risks," *Environmental Geochemistry and Health*, vol. ۴۷, no. ۱, pp. ۱-۱۶, ۲۰۲۵.
- [۳] M. Günther and W. Imhof, "Highly selective solid-liquid extraction of microplastic mixtures as a pre-preparation tool for quantitative nuclear magnetic resonance spectroscopy studies," *Analyst*, vol. ۱۴۹, no. ۲۴, pp. ۵۸۰۰-۵۸۱۱, ۲۰۲۴.
- [۴] J. Adu-Gyamfi and O. Meniailo, "New CRP Assessing the Fate, and Environmental Impact of Plastics in Soil and Crop Ecosystems Using Isotopic Techniques (D^{۱۵}, ۲۱)," ۲۰۲۳.
- [۵] M. Miwa *et al.*, "Comparison of in-vacuum micro-PIXE and in-air micro-PIXE for unfixed plant sample," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. ۵۵۷, p. ۱۶۵۵۳۶, ۲۰۲۴.
- [۶] F. Boussahoul, "Optimization of irradiation and measurement parameters for analyzing depth profiles of trace heavy elements in silicon using RBS technique," ۲۰۲۴.
- [۷] N. Chatzisavvas, G. Priniotakis, M. Papoutsidakis, D. Nikolopoulos, I. Valais, and G. Karpetas, "Monte Carlo computational software and methods in radiation dosimetry," *Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC)*, vol. ۵, no. ۳, pp. ۳۶-۵۱, ۲۰۲۱.
- [۸] Y. Qiu, Z. Li, T. Zhang, and P. Zhang, "Predicting aqueous sorption of organic pollutants on microplastics with machine learning," *Water Research*, vol. ۲۴۴, p. ۱۲۰۵۰۳, ۲۰۲۳.
- [۹] T. Boran *et al.*, "An evaluation of a hepatotoxicity risk induced by the microplastic polymethyl methacrylate (PMMA) using HepG۲/THP-۱ co-culture model," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. ۳۱, no. ۲۰, pp. ۲۸۸۹۰-۲۸۹۰۴, ۲۰۲۴.
- [۱۰] S. M. Hasanat *et al.*, "Enhancing Load Forecasting Accuracy in Smart Grids: A Novel Parallel Multichannel Network Approach Using ۱D CNN and Bi-LSTM Models," *International Journal of Energy Research*, vol. ۲۰۲۴, no. ۱, p. ۲۴۰۳۸۴۷, ۲۰۲۴.
- [۱۱] M. Hussain and M. Naseer, "Comparative Analysis of Logistic Regression, LSTM, and Bi-LSTM Models for Sentiment Analysis on IMDB Movie Reviews," *Journal of Artificial Intelligence and Computing*, vol. ۲, no. ۱, pp. ۱-۸, ۲۰۲۴.
- [۱۲] Z. Malki, E. Atlam, G. Dagneu, A. R. Alzighaibi, E. Ghada, and I. Gad, "Bidirectional residual LSTM-based human activity recognition," *Computer and Information Science*, vol. ۱۳, no. ۳, p. ۴۰, ۲۰۲۰.



الزامات ایمنی پرتوی و ضوابط واحد قانونی سامانه‌های پرتو دهی گاما با تاکید بر ارزیابی انطباق با استاندارد ایمنی پرتوی تابش-دهنده خودحفاظ گاما ساخت داخل (کد مقاله : (۱۲۸۷

آل ابراهیم دهکردی، حامد- کریمی آشتیانی، حسین^۱- ارمزد، حمیدرضا^۱- تقی زاده اشرفی، سعید^۱-
شیرمردی، سید پژمان^۲

^۱. اداره کل حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

^۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

چکیده:

امروزه استفاده از سامانه‌های پرتو دهی گاما در حوزه‌های مختلف پزشکی، کشاورزی و مواد غذایی کاربردهای گسترده‌ای دارد. سامانه‌های پرتو دهی با توجه به نوع طراحی و حفاظ به کار رفته برای چشمه‌های پرتوزا، در چهار گروه طبقه بندی میشوند. در این مقاله با توجه به اهمیت بالای ایمنی پرتوی این سامانه‌ها، به تبیین الزامات و ضوابط دریافت پروانه اشتغال از منظر واحد قانونی پرداخته شد. همچنین با توجه به طراحی وساخت تابش‌دهنده خودحفاظ گاما (گروه I) داخل کشور، به تشریح الزامات واحد قانونی در مرحله ساخت و استاندارد حفاظت پرتوی ANSI ۴۳.۷:۲۰۱۸ و حدود دز این تابش‌دهنده پرداخته شد. نتایج اندازه‌گیری آهنگ دز در فواصل مختلف از سطح تابش‌دهنده، حاکی از تطابق با استاندارد مرجع میباشد.

کلمات کلیدی: سامانه پرتو دهی گاما، ضوابط و الزامات، ایمنی پرتوی، واحد قانونی.

Radiation safety requirements and regulations of the regulatory body for gamma irradiators with emphasis on assessing compliance with the radiation safety standard of manufactured self-contained gamma irradiator

Aleebrahim Dehkordi, Hamed^{۱*}, Karimi Ashtiani, Hossein^۱, Armozd, Hamidreza^۱,
Taghizadeh Ashrafi, Saeed^۱, Shirmardi, Seyed Pejman^۲

^۱. National Radiation Protection Department, Iran Nuclear Regulatory Authority, Tehran,
Iran

^۲. Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Abstract:

Nowadays, the use of gamma irradiators has wide applications in various fields of medicine, agriculture and food. Gamma irradiators are classified into four general categories according to their design, and the shielding used for radioactive sources. In this article, due to the high importance the radiation safety of these irradiators, the requirements and criteria for obtaining a license were explained from the point of view of the regulatory body. In addition, according



to the design and construction of the self-contained gamma irradiator (Category I) in the country, the requirements of the legal body in the construction phase and the radiation protection standard ANSI ۴۳,۷:۲۰۱۸ and the dose limits of this irradiator were discussed. The results of measuring the dose rate at different distances from the irradiating surface indicate compliance with the reference standard.

Key words: Gamma irradiator, requirements, Radiation safety, Regulatory body.

۱ - مقدمه:

امروزه دستیابی به دانش و فناوری سامانه‌های پرتودهی بر اساس رشد جمعیت و افزایش نیاز کشور به تولیدات دامی و کشاورزی، مواد غذایی، تجهیزات و کالاهای پزشکی و همچنین توجه به محدودیتهای منابع آبی و خاکی، یک ضرورت محسوب میشود. انجام فرایند پرتودهی مناسب میتواند به منظور استرلیزه کردن محصولات پزشکی و بهداشتی، میکروب زدائی و بالا بردن زمان ماندگاری مواد غذایی، دفع آفات محصولات زراعی و کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار گیرد؛ که در مقایسه با فرایندهای گرمایی و شیمیایی، فواید قابل توجهی را به همراه دارد. استفاده تجاری از پرتوگاما در سترونسازی محصولات پزشکی و مراقبت از سلامت در اواخر دهه ۱۹۵۰ آغاز شد و در حال حاضر فن‌آوری پرتودهی محصولات با اشعه گاما به‌خوبی تثبیت شده است [۱]. با افزایش تجربه و اعتماد به نفس در این فن‌آوری، کاربردهای گوناگونی در حال بررسی و انجام بوده و تجهیزات مرتبط نیز در حال ساخت میباشد. این گسترش در سامانه‌های پرتودهی و طراحیهای جدید، نقش ملاحظات و الزامات ایمنی پرتوی را پررنگتر می‌نماید. حفاظت افراد در برابر پرتوگیری و ایمنی چشمه‌های پرتوزا در این سامانه‌ها با اجرای الزامات مندرج در قانون حفاظت در برابر اشعه، مقررات پایه حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو و ضوابط کار با پرتو در سامانه‌های پرتودهی گاما، الکترون و ایکس و ضوابط دریافت پروانه اشتغال مربوطه قابل حصول میباشد [۲,۳].

هدف از ارائه این مقاله، تشریح سامانه‌های پرتودهی گاما و الزامات ایمنی و حفاظت پرتویی در بهره‌برداری ایمن از این سامانه‌ها میباشد و اهم ضوابط دریافت مجوزها و پروانه‌های موردنیاز از واحد قانونی جهت بهره‌برداری از این سامانه‌ها و وضعیت حال حاضر سامانه‌های پرتودهی گاما در کشور ارائه میشود. همچنین در این پژوهش به ارائه الزامات ساخت تابش‌دهنده خودحفاظ گاما و استاندارد پرتوی مورد تایید واحد قانونی پرداخته میشود و حدود دز اندازه‌گیری شده روی سطح تابش‌دهنده خودحفاظ گاما ساخت داخل و میزان مطابقت نتایج مربوطه با مندرجات استاندارد مورد تایید واحد قانونی مورد ارزیابی قرار میگردد.

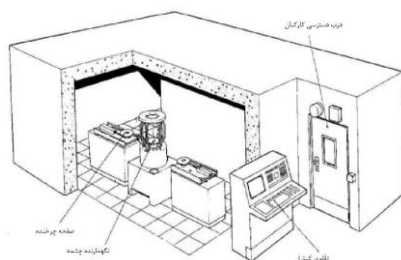
۲ - سامانه‌های پرتودهی گاما:

براساس اسناد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، سامانه‌های پرتودهی گاما با توجه به نوع طراحی، به ویژه به لحاظ دسترسی به محل پرتودهی محصولات یا نمونه‌ها و حفاظ به کار رفته برای چشمه‌های پرتوزا در چهار گروه طبقه‌بندی میشوند: گروه I. تابش‌دهنده حاوی چشمه بسته درون محفظه خشک فاقد دسترسی فیزیکی (خود نگهدارنده در مخزن خشک^{۳۱})؛ در این نوع سامانه، چشمه بسته پرتوزا به طور کامل در یک محفظه متشکل از مواد جامد محصور است و به طور دائم محافظت میشود و به گونه‌ای طراحی شده که دسترسی انسان به چشمه بسته و حجم و فضای تحت تابش پرتو از نظر فیزیکی امکانپذیر نمیشود.

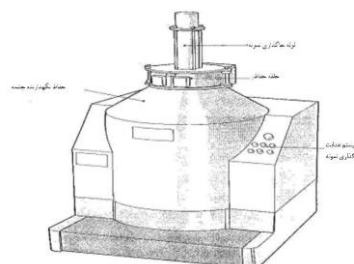
^{۳۱} Self-Contained, Dry Source Storage Irradiator



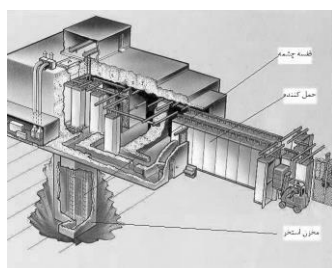
شماتیک این نوع سامانه در شکل ۱ نشان داده شده است. گروه II. تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون محفظه خشک و دسترسی تحت کنترل (پانورامیک در مخزن خشک^{۳۲})؛ شماتیک این نوع سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است. گروه III. تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون استخر پر از آب فاقد دسترسی فیزیکی (خود نگهدارنده استخری^{۳۳})؛ شماتیک این نوع سامانه در شکل ۳ نشان داده شده است.



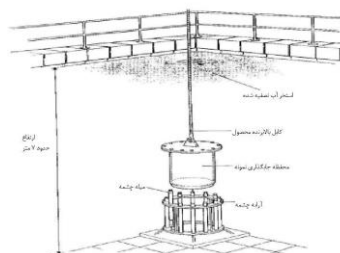
شکل (۲): تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون محفظه خشک و دسترسی تحت کنترل (گروه II)



شکل (۱): تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون محفظه خشک فاقد دسترسی فیزیکی (گروه I)



شکل (۴): تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون استخر پر از آب و دسترسی تحت کنترل (گروه IV)



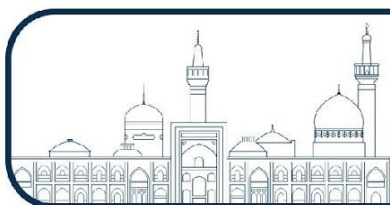
شکل (۳): تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون استخر پر از آب فاقد دسترسی فیزیکی (گروه III)

گروه IV. تابش دهنده حاوی چشمه بسته درون استخر پر از آب و دسترسی تحت کنترل (پانورامیک استخری^{۳۴})؛ شماتیک این سامانه در شکل ۴ نشان داده شده است [۴]. چشمه‌های گسیلنده گاما مورد استفاده در سامانه‌های پرتودهی گاما، چشمه کبالت-۶۰ یا سزیم-۱۳۷ می‌باشد. چشمه کبالت-۶۰ دارای نیمه عمر ۵/۲۷ سال و ساطع کننده پرتوهای گاما با انرژی ۱۱۷۳ و ۱۳۳۳ کیلو الکترون ولت می باشد و چشمه سزیم-۱۳۷ دارای نیمه عمر ۳۰/۱۷ سال و ساطع کننده پرتو گاما با انرژی ۶۶۱ کیلو الکترون ولت می باشد. بر اساس طبقه‌بندی فوق الذکر تعداد سامانه‌های پرتودهی گاما در کشور و آخرین وضعیت این سامانه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

^{۳۲} Panoramic, Dry Source Storage Irradiator

^{۳۳} Self-Contained, Wet Source Storage Irradiator

^{۳۴} Panoramic, Wet Source Storage Irradiator



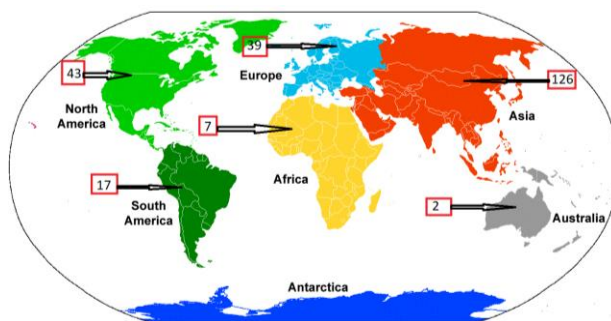
جدول (۱): آخرین وضعیت و تعداد سامانه‌های پرتودهی گاما کشور

نوع سامانه	تعداد	وضعیت
گروه I - گاماسل	۱۹	بهربرداری
گروه I - خودحفاظ گامای ثابت	۱	بهربرداری
	۳	نصب و راهاندازی
گروه II	۱	بهربرداری
گروه III	۲	ساخت
گروه IV	۳	بهربرداری

چشمه‌های کبالت-۶۰ عموماً در سامانه‌های پرتودهی در مقیاس صنعتی استفاده میشوند و روسیه، کانادا، آرژانتین و هند از بزرگترین تامین کننده چشمه کبالت-۶۰ در جهان می باشند [۵]. در ۵۰ سال اخیر بیش از ۸۰۰ میلیون کوری کبالت-۶۰ برای کشورهای جهان انتقال داده شده و امروزه حدود ۳۰۰ میلیون کوری کبالت-۶۰ در جهان وجود دارد.

۲-۱- آمار سامانه‌های پرتودهی گاما در جهان و کاربرد آنها

اولین واحد تجاری پرتودهی در اوایل دهه ۶۰ میلادی تاسیس شد بر اساس آمارها در سال ۱۹۸۵ در ۴۱ کشور حدود ۳۳ سامانه پرتودهی گاما وجود داشته است و در حال حاضر بیش از ۲۰۰ سامانه پرتودهی گاما در جهان فعالیت دارند. در شکل ۵ توزیع برخی از سامانه‌های پرتودهی بزرگ گاما در جهان ارائه شده است. سامانه‌های پرتودهی گاما بیش از پنجاه سال است که در زمینه‌هایی همچون استریلیزاسیون تجهیزات و لوازم پزشکی و بهداشتی، میکروبی‌دائی و بالا بردن زمان ماندگاری مواد غذایی به کار می‌رود. لوازم پزشکی با شکلهای فیزیکی مختلف و سطح زیاد مثل سرنگها و تجهیزات جراحی در درون بسته‌های خود استریل شده و بلافاصله پس از پرتودهی بدون آنکه هیچ باقیمانده ناخواسته‌ای داشته باشند آماده مصرف می‌باشند. از دیگر کاربردهای سامانه‌های پرتودهی گاما، میتوان به پرتودهی انواع مواد غذایی در بسته‌بندیهای مختلف اشاره نمود. با در نظر گرفتن میزان دز مناسبی از پرتو و همچنین عمق نفوذ این پرتوها میتوان بدون آسیب به ماده غذایی و با حفظ کیفیت مدت ماندگاری آنها را افزایش داد. پرتودهی مواد غذایی تقریباً در ۷۰ کشور، مجاز اعلام شده است و تقریباً در سال ۲۰۱۴ حدود ۷۰۰،۰۰۰ تن مواد غذایی شامل انواع ادویه، دانه‌ها، محصولات گوشتی، غذاهای دریایی، خشکبار، سبزیهای خشک و دیگر فراورده‌های غذایی مورد پرتودهی قرار گرفته است [۶].



شکل (۵): توزیع برخی از سامانه‌های پرتودهی بزرگ گاما در دنیا



۳- ملاحظات ایمنی پرتوی و ضوابط دریافت پروانه در سامانه های پرتو دهی گاما:

سامانه های پرتو دهی گاما در کنار کاربردهای مختلف تحقیقاتی، تجاری و صنعتی در زمره تاسیساتی می باشد که الزامات مرتبط با مباحث ایمنی پرتوی در آنها اهمیت زیادی دارد. مطابق با سند آژانس بین المللی انرژی اتمی RS-G-1.9، چشمه های پرتو زای این سامانه ها جزء طبقه یک محسوب شده و از اینرو بالاترین اهمیت از منظر ایمنی و امنیت را دارند که در نتیجه بهره برداری از آنها مستلزم رعایت ملاحظات و الزامات ایمنی می باشد. واحد قانونی بر اساس مدارک تدوین شده و سند SSG-8 آژانس بین المللی انرژی اتمی به تبیین الزامات و معیارها در بهره برداری ایمن از سامانه های پرتو دهی گاما در قالب "ضوابط کار با پرتو در سامانه های پرتو دهی گاما، الکترون و ایکس" پرداخته است که عناوین مهم ترین الزامات و ملاحظات به شرح ذیل می باشد [۷].

- الزامات چشمه های بسته پرتوزا؛
 - الزامات رک، ماژول چشمه و استخر نگهداری چشمه پرتوزا (مختص گروه III و IV)؛
 - ملاحظات طراحی حفاظ و اتاق پرتو دهی؛
 - الزامات اتاق کنترل، سیستم های ایمنی پرتوی و قفل های همبند؛
 - ملاحظات امنیت منابع پرتو؛
 - ملاحظات حفاظت در برابر پرتو گیری شغلی؛
 - ملاحظات ایمنی در بار گذاری، تخلیه و حمل و نقل چشمه های پرتوزا.
- بر اساس ماده ۴ قانون حفاظت در برابر اشعه، انجام هرگونه فعالیت با منابع پرتو (نظیر احداث، بهره برداری و ...) مستلزم اخذ پروانه اشتغال از واحد قانونی میباشد. واحد قانونی پس از بررسی مدارک و مستندات ارائه شده توسط متقاضی و انجام ارزیابی ایمنی، منوط به رعایت تمامی الزامات مربوطه نسبت به صدور مجوز/پروانه اشتغال اقدام مینماید. مطابق با مندرجات "ضوابط دریافت پروانه در سامانه های پرتو دهی گاما، الکترون و ایکس" مراحل اخذ پروانه از واحد قانونی برای سامانه های پرتو دهی گاما (گروه II، III و IV) به ترتیب شامل: موافقت اولیه، تأییدیه انتخاب ساختگاه، پروانه احداث، پروانه راه اندازی و پروانه بهره برداری میباشد. مطابق با مدرک مذکور، بهره برداری از سامانه پرتو دهی گروه I صرفاً مستلزم اخذ مجوز نصب و پروانه اشتغال کار با پرتو میباشد [۸].

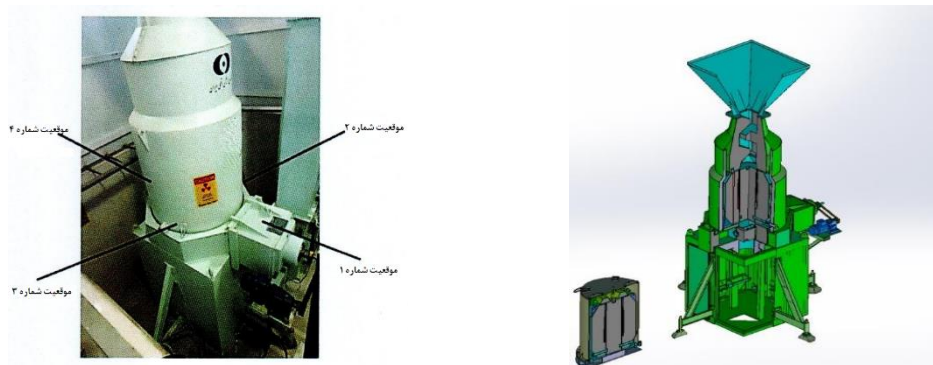
۴- الزامات داخلی جهت ساخت تابش دهنده خود حفاظ گاما (گروه I):

مطابق با "ضوابط دریافت پروانه اشتغال ساخت دستگاه های پرتوساز و تجهیزات حاوی منبع پرتو" واحد قانونی، دریافت مجوز/پروانه اشتغال ساخت دستگاه پرتوساز یا حاوی منبع پرتو نظیر تابش دهنده خود حفاظ گاما شامل: اخذ مجوز موافقت اولیه، اخذ مجوز آزمون پرتوی و اخذ مجوز/پروانه ساخت می باشد [۹]. متقاضی پس از اخذ مجوز آزمون پرتوی، علاوه بر سایر مدارک اعلامی در ضوابط فوق الذکر، جهت اخذ گواهی تطابق دستگاه با استاندارد معتبر مورد تأیید واحد قانونی از مراجع ذی صلاح، اقدام می نماید و با توجه به نوع گواهی اخذ شده، مجوز موقت و یا پروانه ساخت توسط واحد قانونی صادر خواهد شد همچنین مراکز متقاضی بهره برداری از این نوع تابش دهنده، لازم است مطابق با مفاد "ضوابط دریافت پروانه و مسئولیتها" و بر اساس مدارک مندرج در "ضوابط دریافت پروانه سامانه های پرتو دهی گاما، الکترون و ایکس" مصوب سال ۱۳۹۶ اداره کل حفاظت در برابر اشعه نسبت به دریافت پروانه اشتغال اقدام نمایند [۱۰].

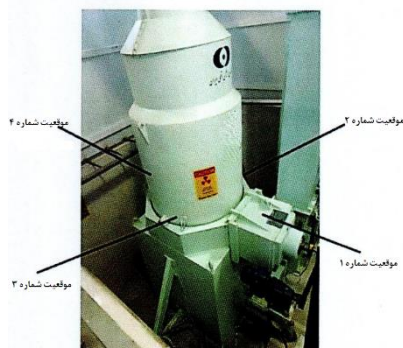


۴-۱- معرفی تابش دهنده خود حفاظ گاما و سیستمهای ایمنی آن

در تابش دهنده خودحفاظ گاما محصولاتی نظیر حبوبات و غلات، از قسمت بالای تابش دهنده (قیف ورودی) وارد ماریچ پلکانی و سپس محفظه پرتودهی می شود. در زمانیکه تابش دهنده در حالت پرتودهی قرار میگیرد استوانه سربی از داخل محفظه به پایین می آید و فضایی جهت ورود محصولات ایجاد می شود. محصولات در طی عبور از فضای ایجاد شده در داخل محفظه، پرتودهی شده و از قسمت زیرین تابش دهنده خارج میشود. این تابش-دهنده شامل محفظه ای سربی با ۳۶ موقعیت جهت قرارگرفتن مدادک های چشمه بسته کبالت-۶۰ و دامی می باشد که مدادکها در یک چیدمان متقارن استوانه ای قرار دارند. طول و قطر مدادک ها به ترتیب ۴۵.۲ سانتی متر و ۱.۱ سانتی متر میباشد و حداکثر میزان اکتیویته مجاز چشمه های پرتوزا جهت بارگذاری در این نوع تابشدهنده ۵۰ کیلو کوری میباشد. میزان دز دریافتی محصول به خصوصیات محصول (نظیر چگالی و نوع محصول) و مدت زمان حضور محصول در محفظه پرتودهی بستگی دارد [۱۱]. مدت زمان حضور محصول در محفظه پرتودهی، به سرعت چرخش ماردون در محل خروج محصول وابسته است در واقع سرعت چرخش ماردون، تعیین کننده میزان دبی خروجی محصول داخل محفظه پرتودهی میباشد. تصویر شماتیک و واقعی تابشدهنده خودحفاظ ثابت گاما در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. طراحی تابشدهنده به گونهای است که دسترسی به محفظه پرتودهی وجود ندارد و درصورت بروز اختلال در عملکرد تابشدهنده، سیستم کنترل ایمنی و هشداردهنده های مربوطه فعال میگردد از جمله این سیستمها: سیستم کنترل دسترسی به تابشدهنده، قفل همبند راهاندازی و توقف چرخش ماردون، هشدار سطح محصول در قیف ورودی، هشدار اتمام محصول ورودی، کلیدهای توقف اضطراری و تجهیزات مونیتورینگ پرتوی ثابت در محل نصب تابشدهنده میباشد.



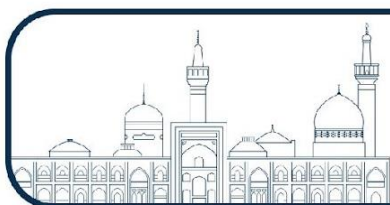
شکل (۶): تصویر شماتیک تابشدهنده خودحفاظ گاما



شکل (۷): تصویر واقعی تابش دهنده خودحفاظ گاما

۴-۲- استاندارد حفاظت پرتوی تابشدهنده خود حفاظ گاما

استاندارد بینالمللی ANSI ۴۳.۷:۲۰۱۸ با عنوان "طراحی و استفاده ایمن از تابشدهنده های خود حفاظ خشک (گروه I)" استاندارد مورد استفاده نهاد ارزیابی کننده مورد تایید واحد قانونی برای تابشدهنده خود حفاظ گاما میباشد. این استاندارد توصیه های ایمنی جهت طراحی و استفاده از تابشدهنده را ارائه میدهد. بطور کلی در استاندارد فوق الذکر در خصوص ملاحظات مربوط به چشمه های بسته پرتوزا، سطوح پرتوی مجاز، یکپارچگی حفاظ، کنترلها و قفلهای همبند ایمنی، علائم ایمنی و هشدار دهنده پرتو و خدمات نصب و ایمنی توضیحات ارائه میگردد. اندازه گیریها و بررسیهای پرتوی موردنیاز هنگام ساخت، نصب و استفاده از تابشدهنده شامل بررسی حفاظهای پرتوی، آزمونهای آلودگی، پایش کارکنان و بررسیها و آزمونهای آلودگی روی



کانتینر حمل و نقل چشمه پرتوزا می‌باشد. مطابق با استاندارد مذکور، بررسی الزامات مرتبط پرتوی (آزمونهای دزیمتری) باید بر روی تابش‌دهنده، پس از هر بار جابجایی دستگاه به محل جدید و پس از نصب آن انجام پذیرد تا مطابقت آن با مقررات واحد قانونی و سطوح پرتوی اعلامی در این استاندارد تضمین شود. زمانی که تغییراتی در میزان پرتوایی، آرایش چشمه‌های پرتوزا، حفاظ و یا هر تغییر دیگری در تابش‌دهنده رخ دهد که ممکن است سطوح پرتو خارجی را افزایش دهد، بررسی مجدد الزامات پرتوی مذکور ضروری می‌باشد [۱۲]. بیشینه آهنگ دز مجاز بر روی سطح تابش‌دهنده و در فواصل مختلف از سطح قابل دسترس دستگاه بر اساس الزام واحد قانونی در جدول ۲ ارائه شده است. هرگونه حمل و نقل چشمه‌های پرتوزای این تابش‌دهنده‌ها، مستلزم رعایت مقررات ترابری ایمن مواد پرتوزا می‌باشد که مطابق با آن، بسته مربوطه (تابش‌دهنده حاوی چشمه و یا کانتینر مجزای حاوی چشمه) باید الزامات بسته B(U) را برآورده نماید [۱۳]. از آنجاییکه این تابش‌دهنده‌ها الزامات مذکور را برآورده نکرده‌اند جابجایی چشمه با این تابش‌دهنده میسر نبوده و باید از بسته B(U) برای این منظور استفاده شود. این ملاحظات سبب اطلاق عنوان ثابت برای این نوع تابش‌دهنده بوده است. بطوریکه پس از اخذ مجوزهای حمل (با بسته B(U)) و بارگذاری از واحد قانونی، بارگذاری چشمه‌های پرتوزا در محل نصب تابش‌دهنده انجام می‌شود.

جدول ۲: بیشینه آهنگ دز مجاز بر روی سطح تابش‌دهنده

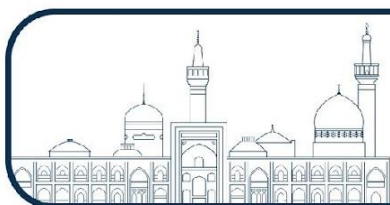
بیشینه سطح پرتو مجاز		فاصله از سطح تابش‌دهنده (cm)	حالت عملکرد
منطقه محدود نشده	منطقه محدود شده		
میکروسیورت بر ساعت	میکروسیورت بر ساعت		
۲۰	۲	۱۰۰	
۵۰	۵	۳۰	پرتودهی/ذخیره
۲۰۰	۲۰	۵	

۵- بررسی آهنگ دز تابش‌دهنده خودحفاظ ساخت داخل:

در جدول ۳ آهنگ دز اندازه گیری شده در زمان نصب تابش‌دهنده در فواصل مختلف از سطح تابش‌دهنده با اکتیویته مدادکهای کبالت-۶۰ به میزان ۳۷۳۰۰ کوری در منطقه محدود شده و در حالت پرتودهی/ذخیره بر اساس شماره موقعیتهای مندرج در شکل ۷، ارائه شده است.

جدول ۳: آهنگ دز تابش‌دهنده در منطقه محدود شده در حالت پرتودهی/ذخیره

فاصله از سطح دستگاه (cm)	موقعیت مکانی (شماره موقعیت)	آهنگ دز در حالت پرتودهی (Sv/hμ)	آهنگ دز در حالت ذخیره (Sv/hμ)
	۱	۷۶.۴	۶.۷
۵	۲	۴۰.۱	۵.۷
	۳	۲۸.۸	۷.۳



۵.۶	۲۶.۰	۴	
۱.۱	۱۸.۵	۱	
۱.۵	۱۳.۶	۲	۳۰
۱.۵	۲۰.۰	۳	
۲.۰	۱۱.۵	۴	
۰.۴	۱۲.۶	۱	
۰.۸	۴.۶	۲	۱۰۰
۱.۴	۴.۱	۳	
۱.۵	۳.۸	۴	

نتایج اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که، آهنگ دز در کلیه نقاط روی سطح دستگاه تابش‌دهنده در فاصله‌های ۵، ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از حدود تعیین شده در استاندارد و الزام واحد قانونی کمتر می‌باشد.

۶- نتیجه گیری:

در دنیای امروز کاربردهای فناوری پرتودهی مبتنی بر سامانه‌های پرتودهی گاما در زمینه‌های کشاورزی، پزشکی و صنعتی در حال افزایش می‌باشد. در این مطالعه با توجه به اهمیت بالای ایمنی و امنیت پرتوی سامانه‌های پرتودهی گاما، به تبیین الزامات و ملاحظات در بهره‌برداری از این سامانه‌ها پرداخته و مراحل اخذ پروانه و مجوزهای پرتوی برای چهار گروه سامانه‌های پرتودهی شرح داده شد. در ادامه با توجه به اهمیت تابش‌دهنده خودحفاظ گاما (گروه I) ساخت داخل به تشریح الزامات واحد قانونی در مرحله ساخت و استاندارد حفاظت پرتوی و حدود دز این تابش‌دهنده پرداخته شد که در این راستا نهاد ارزیاب‌کننده مورد تایید واحد قانونی بر اساس استاندارد ANSI ۴۳.۷:۲۰۱۸، اقدام به ارزیابی تطابق تابش‌دهنده خود حفاظ گاما ساخت داخل نموده است. مطابق با اندازه‌گیری‌های آهنگ دز در فواصل ۵، ۳۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح تابش‌دهنده در حالت‌های عملکردی مختلف، نشان داده شد که مقادیر آهنگ دز در کلیه نقاط روی سطح تابش‌دهنده در فواصل مختلف، از حدود تعیین شده در استاندارد و الزام واحد قانونی کمتر می‌باشد. لذا نتایج اندازه‌گیری آهنگ دز، حاکی از تطابق با استاندارد مرجع می‌باشد.

۷- مراجع:

[۱] M. Handayani, H. Permawati, Gamma irradiation technology to preservation of foodstuffs as an effort to maintain quality and acquaint the significant role of nuclear on food production to Indonesia society. ۲۷ (۲۰۱۷) ۳۰۲-۳۰۹.

[۲] قانون حفاظت در برابر اشعه. مجلس شورای اسلامی (۱۳۶۸).

[۳] مقررات پایه حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو، حفاظت در برابر اشعه (۱۴۰۱).

[۴] Radiation Safety of Gamma, Electron and X ray Irradiation Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-۸, IAEA, ۲۰۱۰.

[۵] Global Cobalt-۶۰ Market - By Type, Application, Region; Trend Analysis, Competitive Market Share and Forecast, BWC, ۲۰۲۱.

[۶] Directory of Gamma Processing Facilities in Member States, IAEA, ۲۰۰۴.

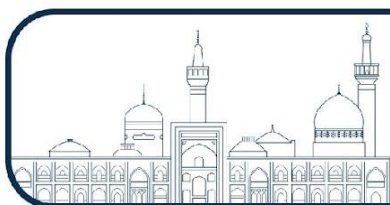
[۷] ضوابط کار با پرتو در سامانه‌های پرتودهی گاما، الکترون و ایکس، حفاظت در برابر اشعه (۱۴۰۱).

[۸] ضوابط دریافت پروانه سامانه‌های پرتودهی گاما، الکترون و ایکس، حفاظت در برابر اشعه (۱۳۹۶).

[۹] ضوابط دریافت پروانه اشتغال ساخت دستگاه‌های پرتوساز و تجهیزات حاوی منبع پرتو، حفاظت در برابر اشعه (۱۴۰۱).

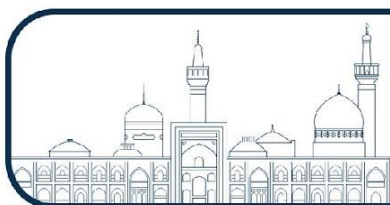
[۱۰] ضوابط دریافت پروانه و مسئولیت‌ها. مرکز نظام ایمنی هسته‌ای، حفاظت در برابر اشعه (۱۴۰۱).

[۱۱] Radiation Processing of Food and Medical Products, AERB, ۲۰۱۴.



[۱۲] Safe Design and Use of Self-Contained, Dry Source Storage Irradiators (Category I),
HPS - ANSI/ N۴۳,۷, ۲۰۱۸.

[۱۳] مقررات ترابری ایمن مواد پرتوزا. مرکز نظام ایمنی هسته‌ای، حفاظت در برابر اشعه (۱۴۰۰).



بررسی پرتودهی پسته خشک با پرتوهای الکترونی ۱۰ MeV به منظور کاهش آلودگی قارچی و افزایش طول مدت انبار مانی (کد مقاله : ۱۲۸۸)

وخشور بهرام^۱ - مسعودی محمدحسین^۱ - جمهوری ابوالفضل^۱ - زارعیان سمانه^۱
۱. سازمان انرژی اتمی ایران، شرکت توسعه کاربرد پرتوها، مجتمع پرتوآیند ایران مرکزی

چکیده:

حذف آلودگی باکتریایی و قارچی و به دنبال آن افزایش طول مدت انبار مانی پسته به کمک پرتودهی به وسیله باریکه الکترون و نیز به دست آوردن دز بهینه پرتودهی که کمترین تأثیر نامطلوب را بر روی طعم و بوی پسته داشته باشد هدف این پژوهش بود. در این تحقیق از پرتوهای الکترونی به منظور کاهش بار آلودگی قارچی پسته خشک و به طبع آن افزایش طول مدت انبار مانی پسته به همراه حفظ کیفیت آن مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها تحت پرتودهی با دزهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ kGy قرار گرفتند. پرتودهی با دزهای ۳ و ۴ kGy با وجود کاهش آلودگی قارچی موجب تغییرات محسوس و نامطلوب در طعم و بوی نمونه شدند. پسته‌های پرتودهی شده با دزهای ۱ و ۲ kGy خواص ظاهری و طعم و بوی مطلوب را حفظ کردند، ضمن اینکه پرتودهی با دز ۱ kGy آلودگی قارچی را از ۱۷۰۰ cfu/gr به ۱۰۰ cfu/gr و پرتودهی با دز ۲ kGy آلودگی قارچی را به ۱۰ cfu/gr کاهش داد.

کلمات کلیدی: آلودگی قارچی، انبار مانی، باریکه الکترون، پرتودهی، پسته

Investigation of irradiation of dried pistachios with ۱۰ MeV electron beams to reduce fungal contamination and increase shelf life

Vakhshour, Bahram^{۱*}, Masudi, Mohammadhosain^۱, Jomhouri, Abolfazl^۱,
Zaareian, Samaneh^۱

۱. Central Iran Research Complex, Iran Radiation Application Development
Company, Atomic Energy Organization of Iran. Yazd, Iran

Abstract:

The goal of this research was to eliminate bacterial and fungal contamination and subsequently increase the shelf life of pistachios using electron beam irradiation as well as to obtain the optimal irradiation dose that would have the least adverse effect on sensory properties of pistachio. In this study, electron beam irradiation was investigated to reduce the fungal contamination load of dried pistachios and thus increase the storage life of pistachios while maintaining their quality. The samples were irradiated with doses of ۱, ۲, ۳, and ۴ kGy. Irradiation with doses of ۳ and ۴ kGy, despite reducing fungal contamination, caused noticeable and undesirable changes in the taste and odor of the sample. Pistachios irradiated with doses of ۱ and ۲ kGy maintained their desired appearance, taste, and odor, while irradiation with a dose of ۱ kGy reduced fungal contamination from ۱۷۰۰ cfu/gr to ۱۰۰ cfu/gr and irradiation with a dose of ۲ kGy reduced fungal contamination to ۱۰ cfu/gr.

Key words: electron beam, fungal contamination, irradiation, pistachio, storage



۱. مقدمه:

پسته درختی است که خاستگاه آن خاورمیانه و آسیای میانه است. ۱۱ گونه متعلق به جنس *Pistacia* وجود دارد، گونه‌ی پسته‌ای که برای مغزهای خوراکی آن کاشته می‌شود *Pistacia vera* است و بومی مناطق مرتفع کویری ایران، افغانستان و آسیای مرکزی است. [۱] ایران طبق گزارش سازمان خواربار جهانی با تولید ۳۰۷۸۶۶ تن بعد از آمریکا با تولید ۶۷۵۸۵۰ تن در سال؛ دومین تولید کننده‌ی پسته‌ی جهان در سال ۲۰۲۳ بوده است. [۲] آلودگی پسته به آفلاتوکسین یک چالش بهداشتی است که بزرگترین محصول صادراتی غیر نفتی کشور را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. این سم بالقوه سرطان‌زا توسط برخی گونه‌های قارچ *Aspergillus* به ویژه *Aspergillus flavus* تحت شرایط ویژه در طول مدت تشکیل میوه در مرحله‌ی برداشت حمل و نقل و انبارداری ممکن است تولید شود. عامل کلیدی در بروز آلودگی پسته به آفلاتوکسین قرار گرفتن مغز پسته در معرض آلودگی قارچی در باغ است. این وضعیت با تشکیل پسته‌های زود خندان و آسیب‌های مکانیکی ناشی از عوامل زنده و غیرزنده روی می‌دهد. دما و رطوبت نسبی محیط و میزان رطوبت مغز پسته طی مراحل مختلف تولید و فرآوری پسته در بروز و اشاعه آلودگی قارچی و افزایش تولید آفلاتوکسین نقش به‌سزایی دارد. [۳] آفلاتوکسین از دسته مایکوتوکسینهاست که در دسته‌ی متابولیت‌های ثانویه‌ی قارچی محسوب می‌شوند و بر طبق گزارشهای سازمان جهانی خواربار (FAO) حدود ۲۵٪ محصولات کشاورزی را در جهان در حین تولید و انبارداری آلوده می‌سازد. [۴] هدف برای سم آفلاتوکسین کلیه و کبد بوده و منجر به سرطان خواهند شد. آلودگی پسته به این سم چالش بزرگ برای صادرات آن است. در حال حاضر بیشترین حد مجاز برای آفلاتوکسین B₁، ۲۰ ng/g و برای کل آفلاتوکسین ها تا ۳۵ ng/g می باشد. اداره ی استاندارد ایران سطح آفلاتوکسین B₁ و کل آفلاتوکسین ها را در پسته به ترتیب ۵-۱۵ ng/g قابل قبول می داند.

تکنیک های جداسازی مکانیکی غیر فعال سازی سم به وسیله ی حرارت و نیز پرتودهی روش‌هایی هستند که برای کنترل رشد قارچ در پسته در هنگام انبارداری مورد استفاده قرار می گیرند.

پرتودهی یونیزان یکی از موثرترین روش ها برای رفع آلودگی قارچی پسته می باشد و در عین حال روشی دوست دار محیط زیست است. [۵].

به طور کلی پرتودهی مواد غذایی استفاده از تابش های یونیزه کننده برای کاهش جمعیت یا برای جلوگیری از رشد ارگانیسم های میکروبی و بیولوژیکی نامطلوب در مواد غذایی را توصیف می‌کند. ذرات اولیه شامل تابش های یون ساز مثل الکترون ها، اشعه ایکس، اشعه گاما و غیره به قدر کافی پراثری می باشند به طوری که قابلیت بیرون راندن الکترون ها از اتم ها و مولکول ها را دارند در نتیجه باعث شکسته شدن پیوندهای شیمیایی می شوند. اثرات زیستی ناشی از تابش های یون ساز یا به علت شکسته شدن مولکول های DNA در هسته سلول ها (اثرات اولیه) و یا به علت تولید و حمله‌ی رادیکال های آزاد در پی تجزیه شیمیایی تابشی آب می باشد. یک دلیل مهم برای حساسیت نسبتا بالای DNA به اثرات تابش های یون ساز بزرگی مولکول های آن است. در نتیجه با دزهای تابشی نسبتا میانه‌ای به طور نمونه ۵-۱ KGY ممکن است به طور موثر قابلیت پاسخ دهی ارگانیسم ها برای بیماری های ناشی از مواد غذایی را نابود کند و هیچ اثری بر روی مواد غذایی و کیفیت حس شده از کربوهیدرات ها، پروتئین ها و چربی های موجود در آن مواد غذایی نداشته باشد. در واقع حرارت دادن خشک کردن و پختن مواد غذایی



ممکن است سبب تلفات بالاتری از مواد غذایی گردد.^[۶] ر این میان روش پرتودهی با باریکه الکترون‌ها فناوری‌های اکسیدکننده‌ی پیشرفته محسوب می‌شود که در مقایسه با روش‌های دیگر از کارایی بیشتری برخوردار است.

استفاده از پرتوهای یونیزان برای کنترل آلودگی قارچی پسته در نقاط مختلف جهان انجام شده است که میتوان به چند مورد آن اشاره کرد.

بختیاری و همکاران از تابش های UV برای حذف *Aspergills flavus* و در پی آن کاهش سطح آفاتوکسین استفاده کردند، که بهترین نتیجه حاصل استفاده از لامپ‌های UV-C در فاصله ۱۰ cm و به مدت ۳۰ دقیقه بود. اما این تابش در عین حال باعث کاهش اسید لینولنیک که در پسته های پرتو دیده نسبت به شاهد شد. [۷] مکسیس^{۳۵} و همکارانش پسته‌ی خشک را با دزهای مختلف تا ۷ کیلوگری پرتودهی کردند. که در این تحقیق اسیدهای چرب اشباع افزایش یافته و اسیدهای چرب غیراشباع کاهش پیدا کردند. با افزایش دز تغییرات ظاهری همچون رنگ و طعم بیشتر شد و نتیجه این که حداکثر دز دریافتی با کمترین تغییرات فیزیکوشیمیایی در پسته ۳ کیلو گری می باشد. [۸] پسته حاوی مقدار زیادی پروتئین، چربی، اسیدچرب، فیبر، ویتامین و مواد معدنی است. قسمت عمده ی اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در آن شامل اولئیک اسید (بین ۵۱/۶ تا ۵۱/۱۷ درصد) و لینولئیک اسید (بین ۱۵ تا ۳۰ درصد) و همچنین اسید چرب غیر اشباع استئاریک اسید (بین ۰/۸ تا ۳/۵ درصد) می باشد [۹] [۱۰] و این محتوای اسیدهای چرب موجود در پسته چالش اساسی در هر گونه روش برای حذف آلودگی قارچی و یا کاهش سموم قارچی می باشد، زیرا هر گونه روشی که باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع و تبدیل آن به اسید چرب اشباع گردد در طعم و بوی پسته تأثیر خواهد گذاشت. حذف آلودگی قارچی و به دنبال آن کاهش تولید سم آفاتوکسین در طول مدت انبارمانی به کمک پرتودهی به وسیله باریکه الکترون و همچنین به دست آوردن دز بهینه ای که کمترین تأثیر منفی را در طعم و بوی پسته داشته باشد هدف نهایی این تحقیق بود.

۲- روش کار:

۲-۱ جمع آوری نمونه:

در ابتدا نمونه‌های مختلف از پسته‌های خشک واریته‌ی احمدآقایی که محصول امسال بودند جمع آوری شد.

۲-۲ کشت میکروبی:

آزمون های میکروبی نمونه های پسته، قبل و بعد از پرتودهی به روش زیر انجام شد. برای ساخت سوسپانسیون اولیه (از خرد کردن ۱۰ گرم مغز پسته و اضافه کردن آن به ۹۰ سی سی آب پپتونه بافری به صورت جداگانه تهیه شد) و همچنین رقت های اعشاری بعدی از آب پپتونه بافری^{۳۶}، ساخت کمپانی کیولب^{۳۷} با حل کردن ۲۵/۵ گرم از پودر در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر و برای ساخت رقت های اعشاری از لوله های حاوی ۹ سی سی از همین محلول استفاده شد.

تمام محلول های رقیق کننده در دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر با اتوکلاو استریل شد. برای شمارش باکتری های مزوفیل هوازی از محیط کشت پلیت کانت آگار^{۳۸} شرکت کیولب استفاده شد. برای ساخت آن ۲۳/۵ گرم از آن در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر حل شد و برای شمارش قارچ‌ها کپک و مخمر از حل کردن ۶۵ گرم در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر محیط کشت سابورو دکستروز آگار^{۳۹} ساخت شرکت لیوفیلکم^{۴۰} استفاده شد.

هر دو این محیط کشت ها در دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر استریل شد.

برای کشت نمونه ها از روش کشت آمیخته استفاده شد.

^{۳۵} Mexis

^{۳۶} Buffered Peptone Water

^{۳۷} QUELAB

^{۳۸} Plate count AGAR

^{۳۹} Sabouraud dextrose Agar

^{۴۰} liofilchem



برای رشد و شمارش باکتری ها از انکوباتور با دمای ۳۷ درجه به مدت ۳ روز و برای کشت و رشد کپک و مخمرها از انکوباتور یخچال دار با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد به مدت ۳ تا ۵ روز استفاده شد.

۲-۳ آزمونهای ارگانولپتیکی

آزمون های ارگانولپتیکی یک غذا شامل دیدن، بوییدن، چشیدن و لمس کردن می شود. غذاها بر طبق خواص ارگانولپتیکی دوست داشته می شوند و یا رد می شوند.

نمونه های پسته قبل و بعد از پرتودهی به صورت مجهول توسط داوطلبان از نظر بو مزه بافت و شکل ظاهری و نرمی و سفتی مورد آزمون قرار گرفت.

۲-۴ پرتودهی

پرتودهی نمونه ها توسط شتاب دهنده ی الکترونی رودترون TT۲۰۰ مرکز پرتوآیند ایران مرکزی که باریکه الکترون با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت تولید می نماید انجام گرفت. [۱۱] پسته ها در بسته های پلاستیکی با ارتفاع بسیار کم (یک ردیف پسته) با دزهای ۱ تا ۴ کیلوگری پرتودهی شد. مقدار دز دریافتی نمونه ها توسط فیلمهای مخصوص دزیمتری CTA که روی بسته ها چسبانده شده بود با روش اسپکتروسکوپی ارزیابی شد.

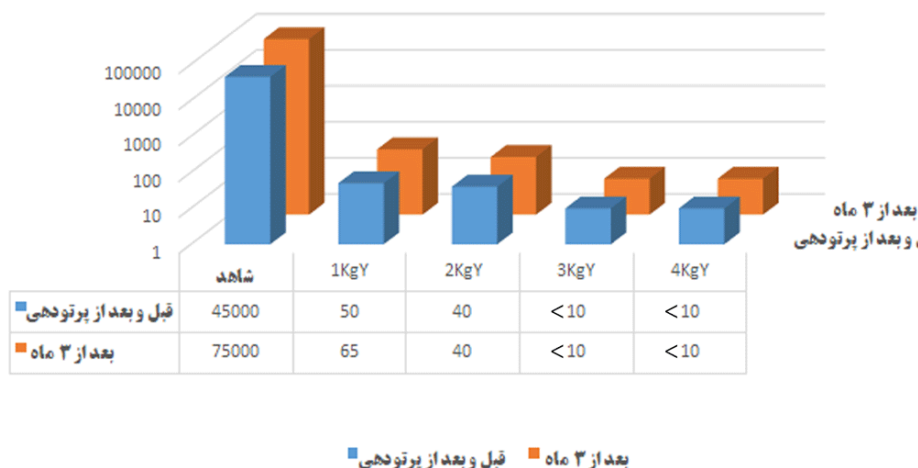
۲-۵ آنالیز آماری

از هر نمونه ۴ تکرار برای آزمون های میکروبی قبل و بعد از پرتودهی استفاده شد و از میانگین حسابی هر شمارش برای رسم نمودار استفاده گردید. برای آزمون های ارگانولپتیکی که شامل بو و مزه و شکل ظاهری نمونه ها بود، توسط هر داوطلب بر حسب مطلوبیت از ۱ تا ۱۰ به هر پارامتر نمره داده شد و سپس نمودار مربوطه رسم گردید.

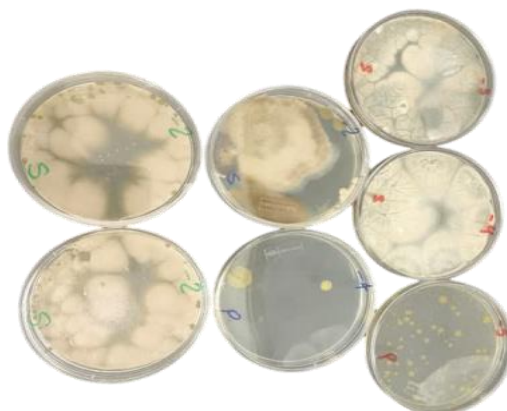
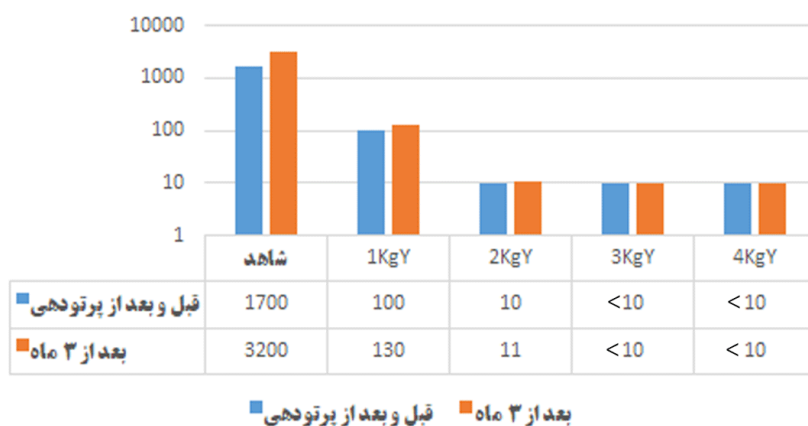
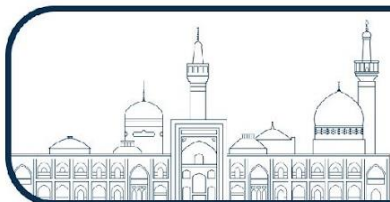
۳-نتایج:

نتیجه آزمون میکروبی نمونه ها پسته قبل و بعد از پرتودهی بلافاصله پس از پرتودهی و همچنین ۳ ماه پس از پرتودهی در نمودار شماره نشان داده شده است که به طور واضح نشان گر تأثیر مثبت پرتودهی در کاهش آلودگی باکتریایی و قارچی نمونه ها می باشد.

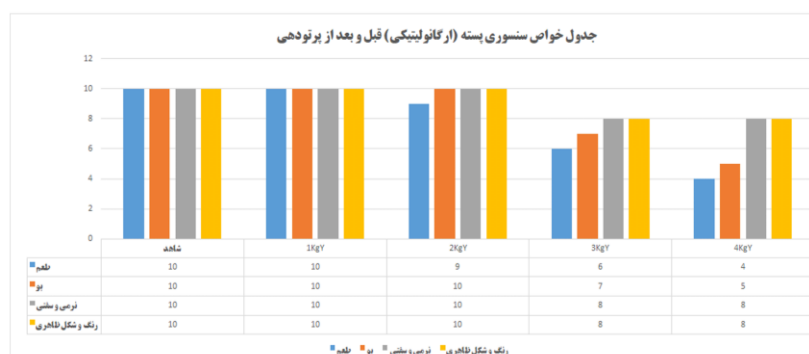
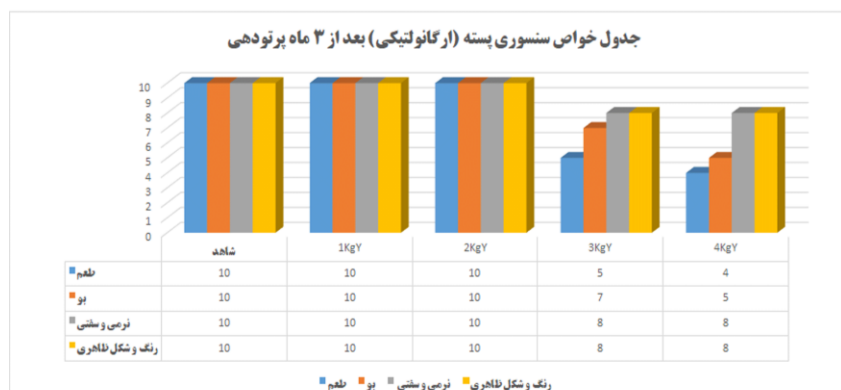
نمودار شماره ۱: آلودگی باکتریایی نمونه های پسته قبل و بعد از پرتودهی



نمودار شماره ۲: آلودگی قارچی نمونه های پسته قبل و بعد از پرتودهی



شکل ۱: پلیت های کشت داده شده نمونه های پسته
همچنین نتایج آزمون ارگانولپتیکی در نمودار شماره ۳ نشان داده شده است که با افزایش دز تغییر در طعم و بوی نمونه‌ها به طور آشکار مشخص است.
نمودار شماره ۳: جدول خواص حسی (سنسوری) قبل و بعد از پرتودهی

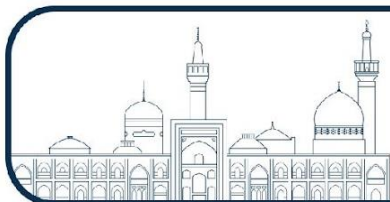


۴- بحث و نتیجه گیری:

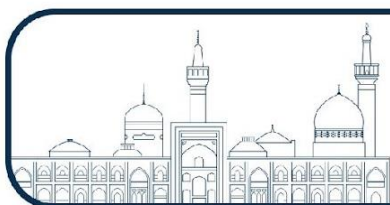
با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت برای کاهش بار آلودگی باکتریایی و قارچی پسته ها حداکثر دز ۲ کیلوگری کافیهست. در عین حال نمونه های پسته تا دز ۲ کیلوگری خواص حسی مطلوب خود را حفظ می کنند و دز ۳ و ۴ کیلوگری با اینکه به طور موثرتری آلودگی باکتریایی و قارچی نمونه ها را کاهش می دهند اما به طور قابل توجهی باعث به وجود آمدن بوی نامطبوع بوی ماندگی و نیز تغییر طعم نامطبوع در نمونه ها می شوند که علت آن تغییر ماهیت اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در پسته ها می باشد.

۵- مراجع:

- [۱] M. G. AL-Saghir and D. M. Porter, "Taxonomic revision of the genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae)," *Am. J. Plant Sci.*, vol. ۳, no. January, pp. ۱۲-۳۲, ۲۰۱۲.
- [۲] "FAOSTAT." Accessed: Jan. ۲۷, ۲۰۲۵. [Online]. Available: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- [۳] M. Moradi and S. R. Fani, "Review of Aflatoxin in Pistachio and its Control Strategies," *Plant Pathol. Sci.*, vol. ۷, no. ۲, pp. ۲۲-۳۳, ۲۰۱۸, doi: ۱۰.۲۹۲۵۲/ppls.۷.۲.۲۲.
- [۴] S. K. Pankaj, H. Shi, and K. M. Keener, "A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food," Jan. ۰۱, ۲۰۱۸, *Elsevier Ltd.* doi:



- ۱۰,۱۰۱۶/j.tifs.۲۰۱۷,۱۱,۰۰۷.
- [۵] A. Mahroudi, H. Eslami, M. Mehrabpour, and M. Dolatabadi, "Azam Mahroudi et al./ Aflatoxin Contamination of Pistachio and the Problems Aflatoxin Contamination of Pistachio and the Problems and Strategies of Decontamination; A Review Study," *Pist. Heal. J.*, vol. ۳, no. ۴, pp. ۲۱-۳۲, ۲۰۲۰, doi: ۱۰,۲۲۱۲۳/PHJ.۲۰۲۱,۲۷۵۲۵۷,۱۰۸۵.
- [۶] R. B. Miller, *Electronic irradiation of foods: an introduction to the technology*. Springer Science & Business Media, ۲۰۰۵.
- [۷] F. Bakhtiary, H. Maghsoudi, H.-R. Akhavan, and S. Khorasani, "Effect of UV-C Irradiation on Fatty Acid Profile of Pistachio Kernels and Prevention of Aflatoxin Production Fatemeh Bakhtiary et al./ Pistachio UV-C Irradiation," *Pist. Aflatoxin Pist. Heal. J.*, vol. ۵, no. ۳, pp. ۵۰-۶۱, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۲۲۱۲۳/PHJ.۲۰۲۴,۳۸۳۹۱۱,۱۱۴۶.
- [۸] S. F. Mexis and M. G. Kontominas, "Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and sensory properties of raw shelled peanuts (*Arachis hypogaea* L.) and pistachio nuts (*Pistacia vera* L.)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. ۸۹, no. ۵, pp. ۸۶۷-۸۷۵, ۲۰۰۹, doi: ۱۰,۱۰۰۲/jsfa.۳۵۲۶.
- [۹] P. Fantozzi, S. F. Mary Traynor, and A. Chiriotti Chiriotti Editori sp, "ITALIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE (RIVISTA ITALIANA DI SCIENZA DEGLI ALIMENTI)," ۲۰۰۳. [Online]. Available: www.chiriottieditori.it
- [۱۰] L. N. Gündüz, M. Kazan, H. Topçu, and S. Kafkas, "Fatty acids composition in Pistachio," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Jan. ۲۰۲۴. doi: ۱۰,۱۰۵۱/bioconf/۲۰۲۴۸۵۰۱۰۰۸.
- [۱۱] *et al.*, "بهجت", *مجله آب و فاضلاب*, vol. ۱۸, no. ۱, pp. ۶۰-۶۸, ۲۰۰۷.
- بهجت،
et al.,
"بهجت",
مجله آب و فاضلاب,
vol. ۱۸, no. ۱, pp. ۶۰-۶۸, ۲۰۰۷.



ارزیابی فاصله نشاکاری و مقادیر کود نیتروژن بر خصوصیات زراعی لاین موتانت برنج (کد

مقاله : ۱۳۱۵)

عبادی، علی‌اکبر* - محمود سلطانی، شهرام^۱ - راحمی، محمدرضا^۲ - برزویی، اعظم^۲ - خشکدامن، مریم^۱

۱. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران

چکیده:

استفاده از فاصله کشت و مقدار نیتروژن مناسب از فاکتورهای موثر و مهم به‌زراعی در برنج می‌باشد. به منظور تعیین فاصله کاشت و توصیه مناسب کود نیتروژن برای لاین موتانت برنج DM۸-۳۰۰-۳۹ (حاصل موتاسیون رقم محلی دیلمانی) تحقیقی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از چهار سطح کودی نیتروژن خالص شامل صفر، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار و سه سطح فاصله کاشت (۲۵×۲۵، ۲۰×۲۰، ۱۶×۳۰ سانتی‌متر) به مدت یک سال در موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد شلتوک و اجزای عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد البته فاصله کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک داشت. بالاترین عملکرد دلنه با تیمار ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به مقدار ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین بیشترین عملکرد در فاصله کاشت ۱۶×۳۰ سانتی‌متر (۴۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. لذا برای دستیابی به پتانسیل عملکرد لاین موتانت، کاهش هزینه‌های اقتصادی تولید در واحد سطح و همچنین، کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار با فاصله کاشت ۱۶×۳۰ سانتی‌متر توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: برنج، لاین موتانت، سطوح نیتروژن، فاصله کاشت

Evaluation of planting distance and nitrogen fertilizer levels on the agronomic characteristics of a rice mutant line.

Ebadi, AliAkbar^{۱*}, MahmoodSoltani, Shahram^۱, Rahemi, MohammadReza^۲, Borzoei, Azam^۲, Khoshkdaman, Maryam^۱

۱. Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

۲. Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Nuclear Agriculture Research School, Karaj, Iran.)

Abstract:

To optimize rice production in the mutant line DM۸-۳۰۰-۳۹ (derived from Dilamani landrace), a study investigated the impact of planting distance and nitrogen fertilization. A factorial experiment in a randomized complete block design with three replications tested four nitrogen levels (۰, ۶۰, ۹۰, ۱۲۰, and ۱۳۸ kg N/ha) and three planting distances (۲۵×۲۵, ۲۰×۲۰, and ۳۰×۱۶ cm). Analysis of variance revealed that nitrogen levels significantly influenced paddy yield and yield components ($p < 0.01$). Planting distance significantly affected paddy and biological yield.



The highest grain yield ($5,000 \text{ kg/ha}$) was achieved with 138 kg N/ha , but this was statistically similar to the yield obtained with 120 kg N/ha . The $30 \times 16 \text{ cm}$ planting distance resulted in the maximum yield of $4,400 \text{ kg/ha}$. Based on these findings, a nitrogen application of 120 kg/ha combined with a $30 \times 16 \text{ cm}$ planting distance is recommended to maximize the yield potential of the DM⁸-300-39 rice mutant line, while reducing production costs and minimizing the negative environmental impacts of excessive fertilizer use.

Key words: rice, mutant line, nitrogen fertilizer application, planting distance.

۱- مقدمه:

در طی فرآیند معرفی رقم، مطالعه و سنجش میزان سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های اصلاح شده در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاح نباتات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چالش اصلی برای متخصصین اصلاح نباتات، به حداقل رساندن مقدار مصرف کود نیتروژن در مزرعه بدون تأثیر بر عملکرد و همچنین انتخاب ارقامی است که متابولیسم نیتروژن را بطور مؤثری انجام دهند. زیرا استفاده دائمی از مقدار بیش از حد از نیتروژن نه تنها منجر به خسارت آفات و ورس محصول می‌شود بلکه باعث کاهش کیفیت و کمیت عملکرد برنج می‌شود. به دلیل اهمیت نیتروژن به عنوان عنصر غذایی اصلی برای رسیدن به عملکرد دانه در محصول برنج، تعیین مقدار و زمان مناسب مصرف نیتروژن در هر رقم برنج و همچنین تأثیر آن بر شاخص‌های زراعی به عنوان مثال تعداد پنجه، ارتفاع گیاه، عملکرد، ورس و سایر پارامترها بسیار مهم است.

در بین بسته‌های به زراعی، تعیین مقدار و نحوه و زمان مصرف کودهای شیمیایی مناسب به‌ویژه نیتروژن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [۱]. در بین عناصر اصلی، نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر مورد نیاز برنج است. به‌علاوه این عنصر مهم‌ترین نهاده تولید و محدود کننده‌ترین عنصر غذایی در تولید برنج در گستره جهانی محسوب می‌شود. به ازای تولید هر تن دانه (شلتوک) بایستی حدود ۲۰ کیلوگرم نیتروژن جذب گیاه شده باشد، از طرفی نیاز برنج به دیگر عناصر غذایی پرمصرف (ماکرو) عمدتاً به عرضه و فراهمی نیتروژن بستگی دارد. هنگامی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، نیاز به دیگر عناصر غذایی اصلی مثل فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش ارتفاع و تعداد پنجه)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه درخوشه، درصد دانه‌های پر در هر خوشه، مقدار پروتئین دانه و وزن هزار دانه کمک می‌نماید. بنابراین نیتروژن تمامی مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲ و ۱]. هارل و همکاران (۲۰۱۱) پاسخ خطی برنج در مقادیر نیتروژن کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار را گزارش کردند و بیان کردند که عملکرد به مقادیر مصرف نیتروژن بالاتر از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پاسخی نشان نداد [۲]. گزارشات حاکی از آن است که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه به میزان ۸۴ درصد افزایش یافت [۳]. با بررسی عملکرد کمی رقم کوهسار در کشت مجدد برنج بیان شد که عملکرد دانه در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (13×30 و 20×20 بوته در متر مربع) بیشتر از تراکم ۱۶ بوته در مترمربع (25×25 سانتی‌متر) بود [۴]. هدف از این تحقیق تعیین میزان مناسب کود نیتروژن و فاصله کاشت مطلوب در لاین موتانت امیدبخش DM⁸-300-39 حاصل از موتاسیون رقم محلی دیلمانی می‌باشد.

۲- روش کار:

این آزمایش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط غرقابی انجام شد. عامل‌های آزمایش عبارتند از: فاکتور اصلی کود نیتروژن در پنج سطح ۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (۰، ۱۳۰، ۱۹۵، ۲۶۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره) و فاکتور فرعی فاصله کاشت با ۳ سطح 25×25 ، 20×20 و 30×16 سانتی‌متر. بعد از عملیات شخم کرت‌هایی به ابعاد (4×5) مترمربع با مرزبندی مشخص ایجاد و برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی مرزها با پلاستیک پوشانده شد. بر اساس آزمون خاک مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم پیش از ناکاری به کرت‌ها اضافه شد.



نیترژن نیز به مقدار تعیین شده در تیمارهای کودی از منبع اوره به تمامی کرت‌ها به صورت ۵ درصد پایه، ۲۵ درصد در مرحله پنجه‌زنی و ۲۵ درصد در آغاز بروز خوشه اضافه شد. گیاهچه‌های یکدست لاین موتانت امیدبخش برنج MD-۳۰۰-۳۹ به فواصل تعیین شده در فاکتور فاصله کاشت و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها و وجین طبق روش‌های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. این لاین حاصل از موتاسیون رقم محلی دیلمانی بوده و کار اصلاحی آن از سال ۱۳۹۳ آغاز شد این لاین با عملکرد ۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و ارتفاع بوته ۱۲۳ سانتی متر جزء ارقام نیمه پاکوتاه و با طول دوره رشد ۱۲۰ روز جزء ارقام زودرس طبقه‌بندی می‌شود از طرفی با داشتن میزان آمیلوز ۲۱/۵ و درجه حرارت ژلاتینی شدن ۴ جزو ارقام با کیفیت مطلوب می‌باشد [۶ و ۷]. صفات مورفولوژیک مانند تعداد کل پنجه، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی (تعداد کل دانه، وزن هزاردانه) با درصد رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) در سطح ۲۰ متر مربع اندازه‌گیری شد.

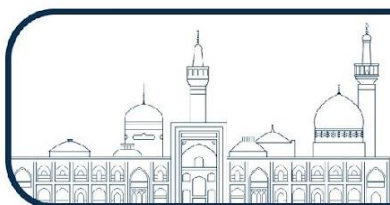
۳- نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس داده‌های به‌زراعی نشان داد که اثر اصلی کود نیترژن بر روی صفات مهمی مانند عملکرد دانه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، وزن هزاردانه، تعداد خوشه در متر مربع و شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی فاصله کاشت بر روی صفات تعداد پنجه کل، تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در متر مربع، عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. اثر متقابل میزان کود نیترژن در فاصله کاشت برای هیچ کدام از صفات مورد ارزیابی معنی‌دار نبود. ضریب تغییرات نیز از ۲/۵۱ برای تعداد پنجه کل تا ۱۴/۰۵ در شاخص برداشت متغیر بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد لاین موتانت برنج MD۸-۳۰۰-۳۹

میانگین مربعات						$\frac{\sum Y^2}{n}$	تکرار
تعداد دانه کل در خوشه	طول خوشه	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد پنجه بارور	تعداد پنجه کل	ارتفاع بوته		
۴۱/۹۱ ^{ns}	۲/۹۱ ^{ns}	۱۴۲۲/۹**	۳/۲۵ ^{ns}	۴/۳۹ ^{ns}	۱۸۴/۱۲ ^{ns}	۲	بلوک
۴۶۰/۹۸ ^{ns}	۳/۲۹ ^{ns}	۱۹۳۹۹/۲۴**	۱۲۲/۳۵*	۱۶۰/۳۶**	۲۶۷۳/۵۷**	۴	نیترژن
۱۴/۷۷ ^{ns}	۴/۱۷ ^{ns}	۸۰۲۹/۰۶**	۱۱/۴۸**	۳۸/۱۱**	۴/۵۹ ^{ns}	۲	فاصله کاشت
۱۳۲/۴۷ ^{ns}	۱۱/۶۳ ^{ns}	۹۷/۶۱ ^{ns}	۱/۹۳ ^{ns}	۱/۳۸ ^{ns}	۸/۱۱ ^{ns}	۸	نیترژن × فاصله کاشت
۱۸۷/۲۱	۵/۰۹	۲۵۶/۴۵	۱/۵۶	۸/۹۲	۹۸/۷۶	۲۸	خطا
۷/۵۹	۷/۹۹	۸/۹۴	۷/۸	۲/۵۱	۸	-	ضریب تغییرات (%)

میانگین مربعات						$\frac{\sum Y^2}{n}$	تکرار
شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد شلتوک	وزن هزار دانه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه پر در خوشه		

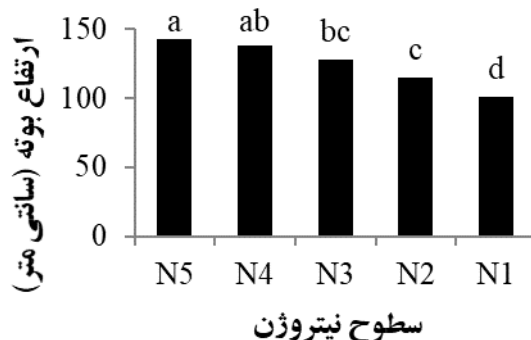


۷/۳ ^{ns}	۱۰۶۷۶۹۷۹۲*	۱۱۲۶۸۲۸۱**	۲۱/۶**	۲۵/۷۱**	۲۳۱۵/۳۶**	۲	بلوک
	*						
۱۰۶/۴۹**	۱۹۸۰۱۷۱۱*	۶۳۸۸۷۲۶**	۳/۹۹**	۲/۷۶*	۳۱۷۴/۸۹**	۴	نیترژن
	*						
۲۴/۴۴ ^{ns}	۲۸۵۲۶۷۳۴**	۱۰۳۹۹۷۷*	۰/۲ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۹۹/۸ ^{ns}	۲	فاصله کاشت
							نیترژن ×
۱/۶۴ ^{ns}	۱۸۱۵۵۲ ^{ns}	۸۵۷۱۷ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۶۱ ^{ns}	۷۲/۳۳ ^{ns}	۸	فاصله کاشت
۱۷/۱۳	۱۴۶۱۸۰۷	۲۴۱۶۰۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۹۸/۱	۲۸	خطا
							ضریب
۱۴/۰۵	۸/۷	۱۱/۹۴	۳/۷۷	۸/۰۳	۷/۲۷	-	تغییرات (/.)

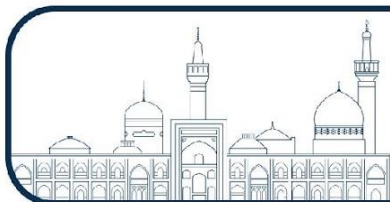
ns و ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

۱.۳. صفت ارتفاع بوته

بر اساس نتایج ارائه شده، تأثیر سطوح مختلف نیترژن بر ارتفاع بوته لاین موتانت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیترژن در هکتار با میانگین ۱۴۲ سانتی‌متر مشاهده شده که تفاوت آن با تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیترژن در هکتار با میانگین ۱۳۷ سانتی‌متر، از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱). در مقابل، کمترین ارتفاع بوته در لاین موتانت برنج در تیمار N^۱ (بدون نیترژن) با میانگین ۱۰۰ سانتی‌متر مشاهده که ۲۹ درصد نسبت به تیمار N^۵ کم‌تر بود (شکل ۱). نتایج نشان داد که افزایش میزان نیترژن تا حد مشخصی می‌تواند بر افزایش ارتفاع بوته مؤثر باشد. با این حال، به نظر می‌رسد پس از رسیدن به سطح مشخصی از نیترژن (در این مطالعه N^۴)، افزایش بیشتر آن تأثیر چشمگیری بر ارتفاع بوته نداشت. بررسی تأثیر فاصله کاشت بر ارتفاع بوته نتایج نشان داد که تفاوت بین سطوح مختلف فاصله کاشت بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود؛ به عبارت دیگر، تغییر فاصله کاشت در این مطالعه تأثیری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۱). این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت داشت [۸ و ۹].

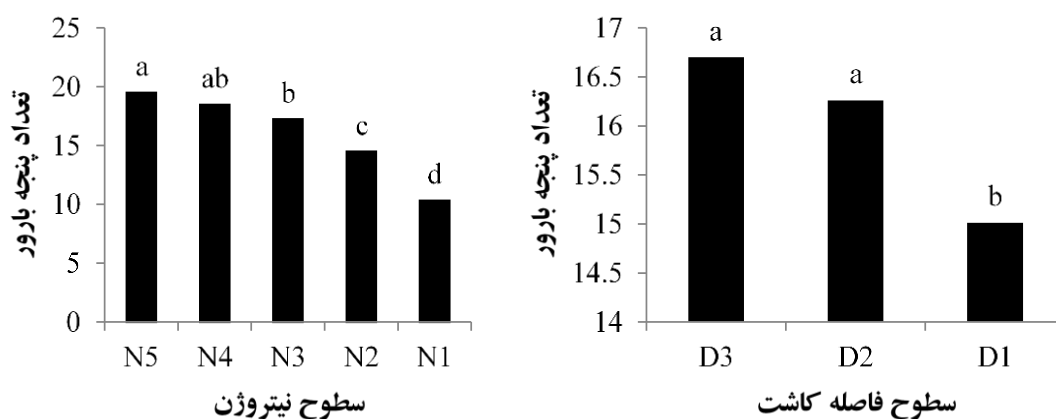


شکل ۱- تغییرات ارتفاع بوته تحت تیمارهای نیترژن در لاین موتانت برنج (N^۱= صفر کیلوگرم در هکتار نیترژن، N^۲= ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن، N^۳= ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن، N^۴= ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن، N^۵= ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیترژن).



۳-۲- صفت تعداد پنجه بارور

بر اساس نتایج آزمایش، در لاین موتانت برنج بیشترین تعداد پنجه بارور به‌طور متوسط ۱۹/۴۸ عدد در هر بوته در تیمار N^5 (۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار N^4 (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) با میانگین ۱۸/۴۵ نداشت (شکل ۲۳). در مقابل، کمترین تعداد پنجه بارور با میانگین ۱۰/۳۱ عدد در هر بوته در تیمار N^1 (بدون کود نیتروژن) به دست آمد (شکل ۲). این اختلاف نشان‌دهنده افزایش ۸۸ درصدی تعداد پنجه بارور با افزایش میزان نیتروژن تا سطح ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار است. در سطوح فاصله کاشت، تیمار D^3 (۱۶*۳۰ سانتی‌متر) با میانگین ۱۶/۰۷ پنجه بارور در هر بوته بهترین عملکرد را داشت که تفاوت معنی‌داری با تیمار D^2 (۱۶*۳۰ سانتی‌متر) با میانگین ۱۶/۲۶ نداشت، در حالی که تیمار D^1 (۲۵*۲۵ سانتی‌متر) با میانگین ۱۵/۰۱ پنجه بارور، کمترین تعداد را نشان داد (شکل ۲). اختلاف در سطوح فاصله کاشت حدود ۷/۱ درصد بود که نشان می‌دهد فاصله کاشت تأثیر کمتری نسبت به نیتروژن بر تعداد پنجه بارور داشته است. نتایج نشان داد که افزایش میزان نیتروژن از ۱۲۰ به ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار و یا تغییر فاصله کاشت از 20×20 به 30×16 سانتی‌متر، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش تعداد پنجه بارور نداشته است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که میزان نیتروژن عامل مهم‌تری در افزایش تعداد پنجه بارور در لاین موتانت نسبت به فاصله کاشت است. با افزایش میزان نیتروژن تا سطح ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد پنجه بارور به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است، اما افزایش بیشتر میزان نیتروژن تأثیر چشمگیری نداشته است. عملکرد دانه در غلات تا حد زیادی به تعداد پنجه در گیاه بستگی دارد و بین تعداد پنجه و عملکرد همبستگی مثبت وجود دارد. از دلایل اثر سطوح مختلف نیتروژن بر تعداد پنجه می‌توان به پتانسیل بالای لاین‌های اصلاحی در جذب نیتروژن با افزایش مصرف کود و ارتقای رشد رویشی و تولید پنجه‌های بیشتر اشاره کرد نتایج بدست آمده در این زمینه با گزارش برخی محققین مطابقت دارد [۱۰].



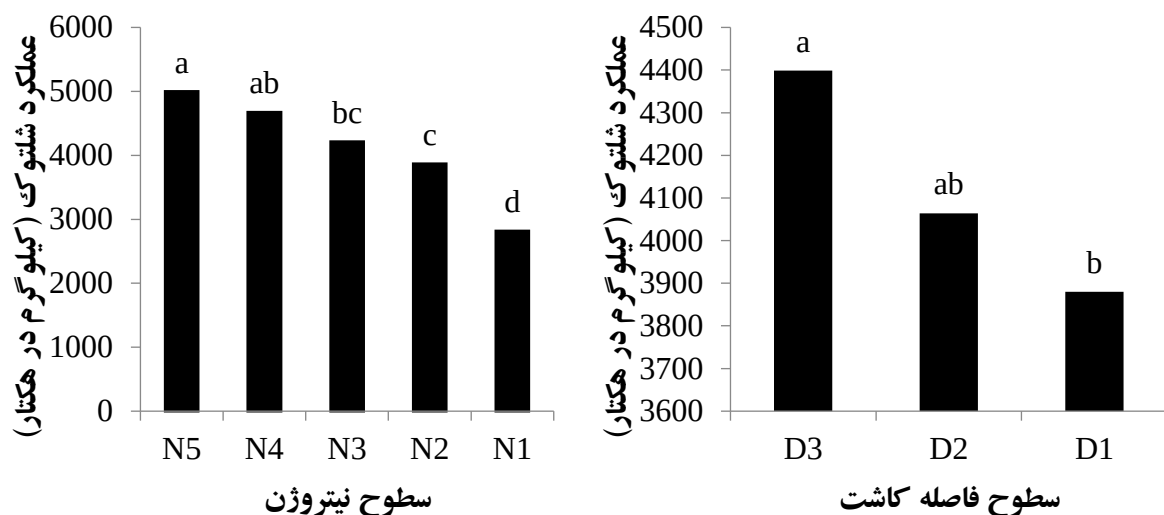
شکل ۲- تغییرات تعداد پنجه بارور تحت تیمارهای نیتروژن و فاصله کاشت در لاین موتانت برنج (N^1 = صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^2 = ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^3 = ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^4 = ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^5 = ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، D^1 = فاصله کاشت ۲۵*۲۵ سانتی‌متر مربع، D^2 = فاصله کاشت ۲۰*۲۰ سانتی‌متر مربع، D^3 = ۱۶*۳۰ سانتی‌متر مربع).

۳-۳- صفت عملکرد شلتوک

بر اساس نتایج ارائه شده در لاین موتانت برنج، بالاترین عملکرد شلتوک در تیمار N^5 (۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با مقدار ۴۹۹۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که اختلاف آن با تیمار N^4 (۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با عملکرد ۴۶۷۲



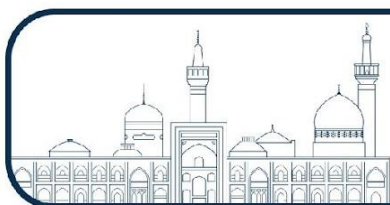
کیلوگرم در هکتار، حدود ۶/۹ درصد و غیرمعنی‌دار بود (شکل ۳). در مقابل، کمترین عملکرد شلتوک در تیمار N^1 (بدون مصرف نیتروژن) با مقدار ۲۸۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر بسیار زیاد مصرف نیتروژن بر افزایش عملکرد شلتوک است. در سطوح تیمارهای فاصله کاشت، بالاترین عملکرد شلتوک در لاین موتانت برنج در تیمار D^3 (۱۶*۳۰ سانتی‌متر) با مقدار ۴۳۹۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که اختلاف آن با تیمار D^2 (۲۰*۲۵ سانتی‌متر) با عملکرد ۴۰۶۴ کیلوگرم در هکتار، حدود ۸/۲ درصد و غیرمعنی‌دار بود (شکل ۳). کمترین عملکرد شلتوک نیز در تیمار D^1 (۲۵*۲۵ سانتی‌متر) با مقدار ۳۸۷۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۳). نتایج نشان داد در لاین موتانت برنج بهترین تیمار، N^5 (۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با افزایش حدود ۷۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمار بدون نیتروژن (N^1) بوده است (شکل ۳). تیمار D^3 نیز سبب افزایش حدود ۱۳ درصدی عملکرد نسبت به تیمار D^1 شد (شکل ۳). فاصله مطلوب بین بوته‌ها باعث می‌شود هر گیاه به دلیل داشتن فضای مناسب در اطراف خود نور بیشتری دریافت نموده و فعالیت فتوسنتزی خود را بهتر انجام دهد و از گیاهانی که به هم نزدیک هستند بهتر رشد کنند و در نهایت عملکرد بالاتری داشته باشند [۱۱].



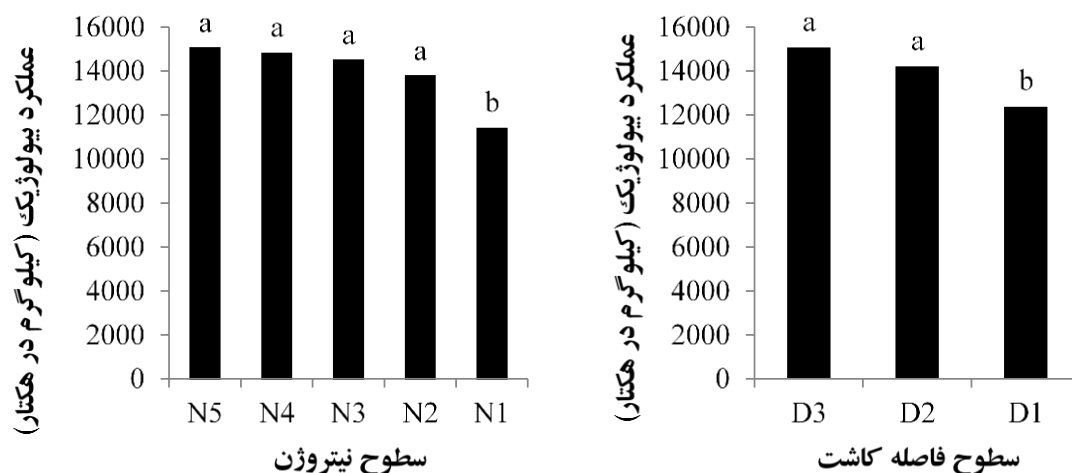
شکل ۳- تغییرات عملکرد شلتوک تحت تیمارهای نیتروژن و فاصله کاشت در لاین موتانت برنج (N^1 = صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^2 = ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^3 = ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^4 = ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^5 = ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، D^1 = فاصله کاشت ۲۵*۲۵ سانتی‌متر مربع، D^2 = فاصله کاشت ۲۰*۲۵ سانتی‌متر مربع، D^3 = ۱۶*۳۰ سانتی‌متر مربع).

۳-۴- صفت عملکرد بیولوژیک

در لاین موتانت برنج بالاترین عملکرد بیولوژیک در تیمار N^5 (۱۵۰۳۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که به ترتیب با تیمارهای N^4 (۱۴۷۸۸ کیلوگرم در هکتار)، N^3 (۱۴۴۷۲ کیلوگرم در هکتار) و N^2 (۱۳۷۶۲ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار N^1 (۱۱۳۷۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمده که تفاوت آن با سایر تیمارها معنی‌دار بود (شکل ۴). درصد اختلاف بین تیمار N^5 (بهترین) و N^1 (بدترین) حدود ۳۲/۴ درصد بود (شکل ۴). در سطوح فاصله کاشت بالاترین عملکرد بیولوژیک در تیمار D^3 (۱۵۰۷۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شده است که با تیمار D^2 (۱۴۲۰۹ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار D^1 (۱۲۳۷۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۴). درصد اختلاف بین تیمار D^3 و D^1 حدود ۲۱/۹ درصد بود. نتایج نشان داد که هر دو عامل نیتروژن و فاصله کاشت بر عملکرد بیولوژیک لاین موتانت مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشتند. با این حال، به نظر می‌رسد که



افزایش سطح نیتروژن تا حد مشخصی منجر به افزایش عملکرد شده است و پس از آن افزایش قابل توجهی در عملکرد مشاهده نشده است. همچنین، فاصله کاشت ۱۶×۳۰ سانتی متر بهترین عملکرد را داشته است.

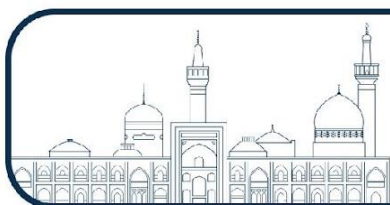


شکل

۴- تغییرات عملکرد پیولوژیک تحت تیمارهای نیتروژن و فاصله کاشت در لاین موتانت برنج (N^۱ = صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^۲ = ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^۳ = ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^۴ = ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، N^۵ = ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، D^۱ = فاصله کاشت ۲۵×۲۵ سانتی متر مربع، D^۲ = فاصله کاشت ۲۰×۲۰ سانتی متر مربع، D^۳ = ۱۶×۳۰ سانتی متر مربع).

۴- نتیجه گیری:

تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که سطح نیتروژن تأثیر بسیار چشمگیری بر اکثر صفات زراعی مورد بررسی در لاین موتانت برنج داشته است. افزایش میزان نیتروژن تا حد مشخصی منجر به افزایش قابل توجهی در ارتفاع بوته، تعداد پنجه کل، تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در متر مربع، عملکرد دانه، عملکرد پیولوژیک و شاخص برداشت شده است. این نشان می‌دهد که نیتروژن به عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای رشد و نمو گیاه، نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج ایفا می‌کند. با این حال، افزایش بیش از حد نیتروژن پس از رسیدن به یک سطح مشخص، تأثیر معنی‌داری بر بهبود بیشتر صفات نداشته و ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. بر اساس نتایج این تحقیق، برای لاین موتانت برنج، استفاده از ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌تواند به عنوان یک نقطه شروع مناسب در نظر گرفته شود. این میزان نیتروژن منجر به افزایش قابل توجهی در اکثر صفات زراعی مورد بررسی شده است و در عین حال، تفاوت معنی‌داری با بالاترین میزان نیتروژن (۱۳۸ کیلوگرم در هکتار) نداشته است؛ بنابراین، استفاده از این میزان نیتروژن می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا به عملکرد مطلوب دست یابند و از هدر رفت کود نیز جلوگیری کنند. علت تفاوت عملکرد دانه لاین موتانت برنج در تراکم‌های مختلف کاشت می‌تواند مرتبط با خصوصیات ژنتیکی و مورفولوژیکی باشد. هر لاین برنج دارای مجموعه‌ای منحصر به فرد از صفات ژنتیکی است که بر نحوه رشد و نمو و پاسخ آن به عوامل محیطی مختلف تأثیر می‌گذارد. این تفاوت‌های ژنتیکی می‌تواند در خصوصیات مختلفی مانند توانایی رقابت برای نور، آب و مواد غذایی، تحمل به تنش‌های محیطی، زمان گلدهی و رسیدن و همچنین الگوی توزیع ریشه‌ها متفاوت باشد. در نتیجه، لاین موتانت برنج ممکن است در تراکم کاشت بالاتر توانایی بیشتری در رقابت برای منابع و تولید دانه داشته باشد.



باشد. این پدیده نشان می‌دهد که عملکرد برنج تحت تأثیر تعامل پیچیده‌ای بین ژنوتیپ (ویژگی‌های ژنتیکی) و فنوتیپ (ویژگی‌های ظاهری) و همچنین شرایط محیطی قرار دارد.

۵- مراجع:

۱- محمود سلطانی، شهرام، کاوسی، مسعود، شکری واحد، حسن، ۱۴۰۰. تغذیه گیاه. موسسه تحقیقات برنج کشور. ۱۵۶ ص.

۲- Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmed, M., Bughio, H.R., Bughio, M.S., Mastoi, N.N. ۲۰۰۲. Optimum plant density for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). Asian Journal of plant sciences. ۱(۱): ۲۵-۲۷.

۳- Harrell, D.L., Tubana, B.S., Lofton, J. and Kanke, Y., ۲۰۱۱. Rice response to nitrogen fertilization under stale seedbed and conventional tillage systems. Agronomy journal, ۱۰۳(۲), pp.۴۹۴-۵۰۰.

۴- Mousavi, S.Gh., Mohammadi, A.L., Baradaran, R., Seghatol eslami, M.G. and Amiri. A. (۲۰۱۵). Effect of nitrogen fertilizer rates on morphological traits, yield and yield components of three cultivar of rice. Journal of Iranian Agricultural Research. ۱۳(۱): ۱۴۶-۱۵۲.

۵- غلامی، م. ۱۳۹۲. مقایسه خصوصیات زراعی و عملکرد ارقام برنج (کوهسار و هاشمی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس. ۹۳ صفحه.

۶- عبادی، علی‌اکبر، راحمی محمد رضا (۱۴۰۱) ارزیابی مقدماتی لاین‌های موتانت انتخابی حاصل از موتاسیون ارقام محلی. گزارش نهایی به شماره ثبت ۶۲۹۸۶-موسسه تحقیقات برنج کشور-رشت.

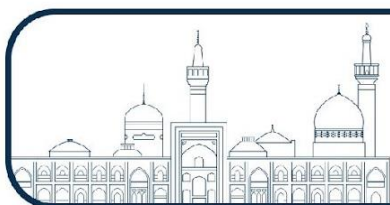
۷- عبادی، علی‌اکبر، راحمی محمد رضا (۱۴۰۲) بررسی سازگاری و پایداری لاین‌های امیدبخش موتانت برنج با منشا ارقام محلی. گزارش نهایی به شماره ثبت ۶۵۲۶-موسسه تحقیقات برنج کشور-رشت.

۸- نحوی، ن.، الله قلی‌پور، م.، قربانپور، م.، مهرگان، ح. ۱۳۸۴. تأثیر تراکم کاشت و میزان کود نیتروژن بر رقم هیبرید GRH1 برنج. مجله پژوهش و سازندگی. ۱۶(۶۶): ۳۸-۳۳.

۹- Mobasser, H.R., Noor mohamadi, G., Fallah, V.M., Darvish, F. and Majidi, S. (۲۰۰۵). Effect of nitrogen rates and splitting on grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) Var. Tarom Hashemi. Journal of Agricultural Sciences. ۱۱(۳): ۱۰۹-۱۲۰.

۱۰- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. ۲۰۰۱. Low land rice response to nitrogen fertilization. Soil. Sci. Plant Anal. ۳۲(۱-۹): ۱۴۰۵-۱۴۲۹.

۱۱- Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmed, M., Bughio, H.R., Bughio, M.S., Mastoi, N.N. ۲۰۰۲. Optimum plant density for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). Asian Journal of plant sciences. ۱(۱): ۲۵-۲۷.



بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی توت‌فرنگی پس از تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری (کد مقاله

(۱۳۳۷:

مسعود قلی نژاد بهنمیری^۱، سید پژمان شیرمردی^۲، حسین آفریده^۱، سمیرا شهبازی^۳، ابوالفضل مازندرانی^۴،
فاطمه ربیع‌نژاد^۱

^۱ دانشکده فیزیک و انرژی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - ایران

^۲ شرکت توسعه کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران، ایران

^۳ پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۳۱۴۶۵/۱۴۹۸، کرج، ایران

^۴ پژوهشکده پلاسما و گداخت، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران، ایران

چکیده

توت‌فرنگی میوه‌ای ریز و لذیذی است که در گذشته به عنوان دارو از آن استفاده می‌شد. توت‌فرنگی جزو غنی‌ترین میوه‌ها از نظر مواد غذایی است که حدود ۹۰ درصد آن از آب تشکیل شده است. این میوه دارای لطافت و حساسیت بسیار بالایی است که سبب آسیب‌پذیری و فساد سریع این میوه پس از برداشت می‌شود. یکی از روش‌های حفظ و ماندگاری محصولات کشاورزی تیمار به‌وسیله پلاسمای سرد اتمسفری است، در این پژوهش در بازه‌های زمانی ۴۵، ۹۰ و ۱۵۰ ثانیه از پلاسمای سرد تخلیه سد دی‌الکتریک اتمسفری حاوی گاز آرگون برای تیمار توت‌فرنگی استفاده شد و پس از آن به بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی توت‌فرنگی که شامل رنگ، بافت، فنول کل، پروتئین، مواد جامد محلول و قند محلول می‌شود، پرداخته شد. نتایج نشان داد افزایش مدت زمان پلاسمای سرد سبب کاهش مقادیر مواد جامد محلول، قند محلول، افزایش پروتئین و سفتی بافت توت‌فرنگی می‌شود، این در حالی است که تغییری در شاخص‌های رنگی پس از تیمار با پلاسمای سرد تخلیه سد دی‌الکتریک اتمسفری حاوی گاز آرگون مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: توت‌فرنگی، پلاسمای سرد اتمسفری، تغییرات فیزیکی و شیمیایی

Investigation of physical and chemical changes in strawberries after treatment with cryoprotectant plasma

Masoud Gholinezhad Bahnamiri^۱, Hossein Afrideh^۱, Seyed Pezhman Shirmardi^۲,
Samira Shahbazi^۳, Abolfazl Mazandarani^۴, Fatemeh Rabinezhad^۱

^۱ Faculty of Physics and Energy, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

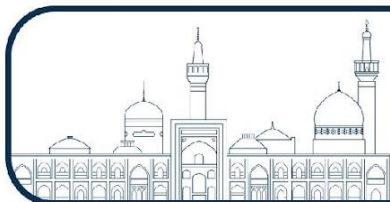
^۲ Radiation Application Development Company, Atomic Energy Organization of Iran,
P.O. Box ۸۳۶-۱۴۳۹۵, Tehran, Iran

^۳ Nuclear Agriculture Research Institute, Institute of Nuclear Science and Technology,
P.O. Box ۱۴۹۸/۳۱۴۶۵, Karaj, Iran

^۴ Plasma and Fusion Research Institute, Institute of Nuclear Science and Technology,
P.O. Box ۸۳۶-۱۴۳۹۵, Tehran, Iran

Abstract

Strawberries are a small and delicious fruit that have been used as medicine in the past. They are among the richest fruits in terms of nutrients, with about ۹۰% of their composition being water. This fruit is very tender and sensitive, which makes it vulnerable and causes it



to spoil quickly after harvest. One of the methods for preserving agricultural products is treatment with cold plasma. In this study, cold plasma from an atmospheric dielectric barrier discharge containing argon gas was used for the decontamination of strawberries at time intervals of ۹۰, ۴۵, and ۱۵۰ seconds. The physical and chemical changes in strawberries, including color, texture, total phenols, protein, soluble solids, and soluble sugar, were then examined. The results showed that increasing the duration of cold plasma treatment caused a decrease in the amounts of soluble solids and soluble sugar, while increasing protein content and firmness of the strawberry tissue. However, no changes were observed in the color indices after treatment with cold plasma discharge from the atmospheric dielectric barrier containing argon gas.

Keyword : Strawberries , Cold Atmospheric Plasma. Physical and Chemical Changes

۱- مقدمه:

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa*، میوه‌ای ریز و لذیذی است [۱]، که غنی از ترکیبات فنلی از جمله آنتوسیانین‌ها و عناصری همچون کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و ویتامین‌های A, C, B^۶, E، تیامن، ریبوفلاوین و نیاسین است [۲]. توت‌فرنگی دارای پوسته‌ای نازک، بافتی آبدار و سلول‌های پارانشیمی آن دارای دیواره‌ای نازک هستند [۳]. فناوری پلاسما سرد یکی از روش‌های آلودگی‌زدایی مواد غذایی و محصولات کشاورزی است [۴]. پلاسما روی یک سلول از طریق تشکیل ROS^{۴۱} (اکسیژن فعال)، مستقیماً در مجاورت یک مولکول DNA^{۴۲} در داخل هسته سلول اثر می‌گذارد، سپس رادیکال‌های هیدروکسیل می‌توانند با مواد آلی مجاور واکنش نشان دهند که منجر به اکسیداسیون زنجیره‌ای و در نتیجه تخریب مولکول‌های DNA و همچنین غشای سلولی و سایر اجزای سلولی می‌شود [۵]. در طول استفاده از پلاسمای سرد، میکروارگانیسم‌ها در معرض بمباران شدید رادیکال‌ها قرار می‌گیرند که سبب ضایعات سطحی و از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها می‌شود [۵]. هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی توت‌فرنگی پس از درمان به روش پلاسمای سرد تخلیه سددی الکتریک اتمسفری است.

۲- روش کار:

۲-۱- آماده سازی نمونه

میوه‌های توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Camarosa) از یک گلخانه تجاری در استان قزوین برداشت شد و در شرایط خشک و تاریک در دمای ۴ درجه سانتیگراد پس از درمان با پلاسمای سرد تا تجزیه و تحلیل نهایی نگهداری شدند. تمام مواد شیمیایی و محلول‌ها عمدتاً از مرک (دارمشتات، آلمان) و سیگما آلدریج (سنت لوئیس، ایالات متحده) خریداری شدند.

۲-۲- فرآیند پلاسمای سرد اتمسفری

پلاسمای سرد به وسیله‌ی دستگاه مولد پلاسما تخلیه سد دی الکتریک^{۴۳} از نوع صفحه‌ای که قابلیت کار کردن در فشار اتمسفر را دارد به تیمار داده شد. در این روش از دو الکترود بالا و پائین که فاصله دو الکترود در حدود ۳ سانتی‌متر و در

^{۴۱} Reactive Oxygen Species

^{۴۲} Deoxyribonucleic acid

^{۴۳} Dielectric barrier discharge



بیشینه‌ترین حالت ممکنه از هم قرار داشتند، استفاده شد. نوع منبع تغذیه‌ای دستگاه AC فرکانسی، میزان ولتاژ و فرکانس با توجه به گاز آرگون ۴ کیلووات و فرکانس ورودی دستگاه همان مقدار فرکانس ۵۰ هرتز شهری، با فرکانس خروجی ۲۰ کیلوهرتز بود. پلاسمای سرد تخلیه سد دی‌الکتریک با گاز آرگون در گستره‌های زمانی ۴۵، ۹۰ و ۱۵۰ ثانیه برای آلودگی‌زدایی توت‌فرنگی به محصول داده شد.

۳-۲- سفتی میوه

سفتی میوه توت‌فرنگی با دستگاه Force Gauge مدل Lutron FG-۵۰۲۰ مجهز به لودسل ۲۰ کیلوگرمی با انجام تست نفوذ تا عمق ۶ میلی متر با پروب استوانه ای ۴ میلی متر و سرعت پروب ۲ mm/s روی پوست میوه اندازه‌گیری شد [۵].

۴-۲- رنگسنجی

پارامترهای رنگ تیمارهای توت‌فرنگی به‌طور مستقیم با استفاده از رنگ سنج Minolta CR-۴۰۰^{۴۴} با روشن‌کننده D₆₅ و زاویه مشاهده ۱۰ در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تعیین شد. مقادیر رنگ L^* ، a^* و b^* بر اساس کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE) اندازه‌گیری شد. مقدار L^* نشان‌دهنده روشنایی-تاریکی است و a^* و b^* به ترتیب قرمزی-سبزی بودن و زردی-آبی رنگ بودن را توصیف می‌کنند. اندازه‌گیری ارزش رنگ L^* ، a^* و b^* در پنج تکرار انجام شد. کروما نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۶].

۵-۲- پروتئین محلول

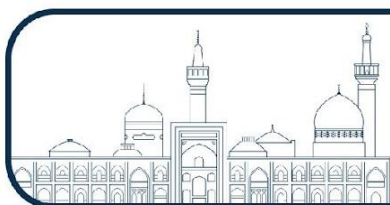
تعیین پروتئین کل محلول با استفاده از روش برادفورد انجام شد. عصاره توت‌فرنگی با مخلوط کردن حدود ۵۰ گرم از بافت میوه تهیه شد، سپس مخلوط سانتریفیوژ شد، سپس مایع رویی جمع‌آوری و برای استفاده بیشتر در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد. مایع رویی جمع‌آوری شده رقیق شده و برای واکنش با معرف برادفورد استفاده شد. جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد استفاده شد. نتایج به صورت میلی‌گرم پروتئین در گرم میوه (mg/g) گزارش شد [۷].

۶-۲- قند محلول

کل قند احیا شده با استفاده از روش DNS در عصاره توت‌فرنگی تعیین شد. جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد استفاده شد. نتایج به صورت میلی‌گرم پروتئین در هر گرم میوه (mg/g) گزارش شد [۸].

۷-۲- مواد جامد محلول (Brix)

^{۴۴} Konica Minolta, Inc., Osaka, Japan



جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول، یک یا دو قطره از آب‌میوه صاف‌شده بر روی منشور انتشاردهنده دستگاه رفاکتومتر^{۴۵} قرار داده شد، اعداد نشان داده‌شده توسط دستگاه پس از انجام تصحیح دمای در ۲۰ درجه سانتی‌گراد برحسب درجه بریکس^{۴۶} بیان گردید [۶].

۲-۸- فنل کل (TPC)

اندازه‌گیری محتوای فنل کل بر روی ماده خشک میوه توت‌فرنگی انجام گرفت. برای این منظور میوه توت‌فرنگی به مدت ۴۸ ساعت با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک گردید و سپس با استفاده از هاون چینی پودر گردید. مقدار ۰/۵ گرم از پودر حاصل با استفاده از متانول ۸۰٪ (نسبت ۱:۳۰) عصاره‌گیری شد و از عصاره حاصل برای سنجش محتوای فنل کل استفاده گردید. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی میوه توت‌فرنگی یا ۲ میلی‌لیتر از معرف فولین - سیکالتو (۱ مولار) مخلوط گردید و مدت ۵ دقیقه در تاریکی نگهداری گردید. سپس ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول ۷/۵٪ Na_2CO_3 به نمونه‌های اضافه گردید و مخلوط حاصل به مدت ۱ ساعت در تاریکی نگهداری گردید. سپس جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید [۷].

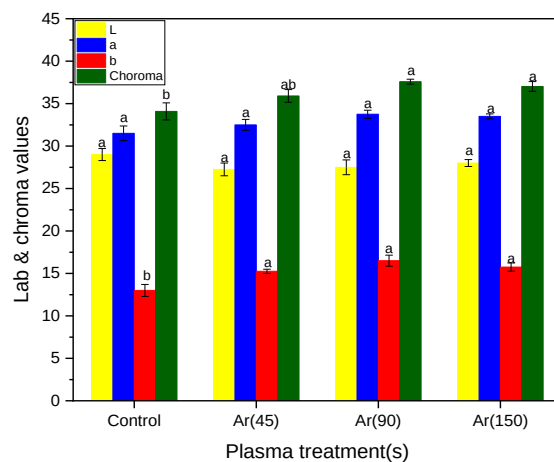
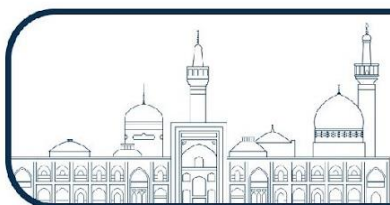
۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۳^{۴۷} بر اساس تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام شد. تفاوت‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار سه آزمایش تکراری (SD) بیان شد.

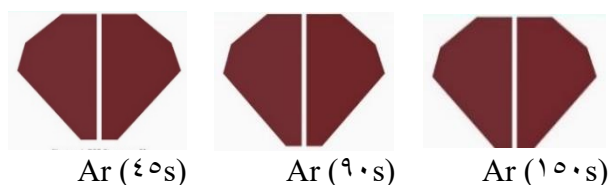
۳- نتایج:

۳-۱- تغییرات رنگ توت‌فرنگی

شکل ۱ تاثیر پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون در بازه‌های زمانی مختلف بر شاخص‌های رنگ تیمارهای توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. افزایش زمان درمان با پلاسمای سرد اتمسفری هیچ تغییری بر شاخص‌های L^* ، a^* و b^* توت‌فرنگی را نشان نمی‌دهد و داده‌ها در سطح $p < 0/05$ معنی‌دار بوده‌اند و از تصاویر استخراج شده از نرم افزار nix pro sensor می‌توان ثبات رنگ نسبت به تیمار شاهد را مشاهده نمود. تغییرات جزئی در شاخص کروما تیمارها مشاهده گردید که دارای اختلاف معنی دار آماری در بین تیمارهای تحت پلاسمای سرد اتمسفری بود و افزایش مدت زمان درمان منجر به افزایش معنی دار شاخص کروما در تیمار پلاسمای حاوی گاز آرگون گردید.



جدول ۱: تغییرات رنگ تیمارهای پلاسمای سرد اتمسفری نسبت به تیمار شاهد در نرم افزار nix pro sensor

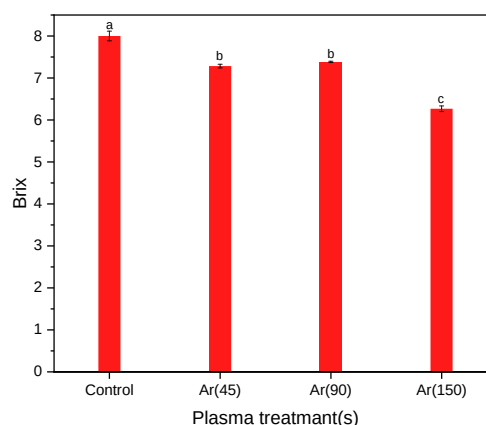
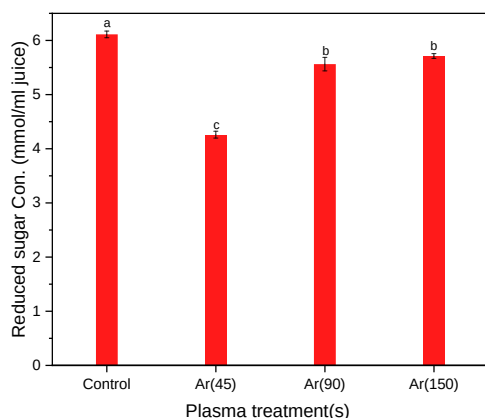


شکل (۱) تاثیر تیمار بازه‌های زمانی مختلف پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون بر شاخص‌های رنگ a , b , و کروما توت‌فرنگی.

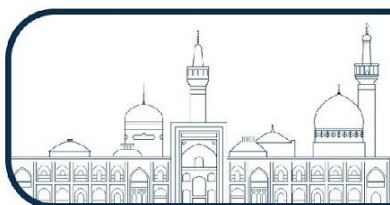
۳-۲- تغییرات قندمحلول و مواد جامد محلول توت‌فرنگی

شکل ۲ تاثیر پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون در بازه‌های زمانی مختلف بر محتوای قند (سمت چپ) و مواد جامد محلول (سمت راست) در تیمارهای توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که کلیه تیمارهای پلاسمای سرد در قندمحلول بطور عدم وابسته به زمان تغییر پیدا کرده‌اند و روند کاهشی داشته‌اند. بطور کلی افزایش مدت زمان پلاسمای سرد اتمسفری سبب کاهش محتوای قند و مواد جامد محلول در تیمارهای مختلف توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد می‌شوند.

شکل (۲) تاثیر تیمار بازه‌های زمانی مختلف پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون بر محتوای مواد جامد محلول (سمت راست) و قندمحلول (سمت چپ) در تیمارهای توت‌فرنگی.

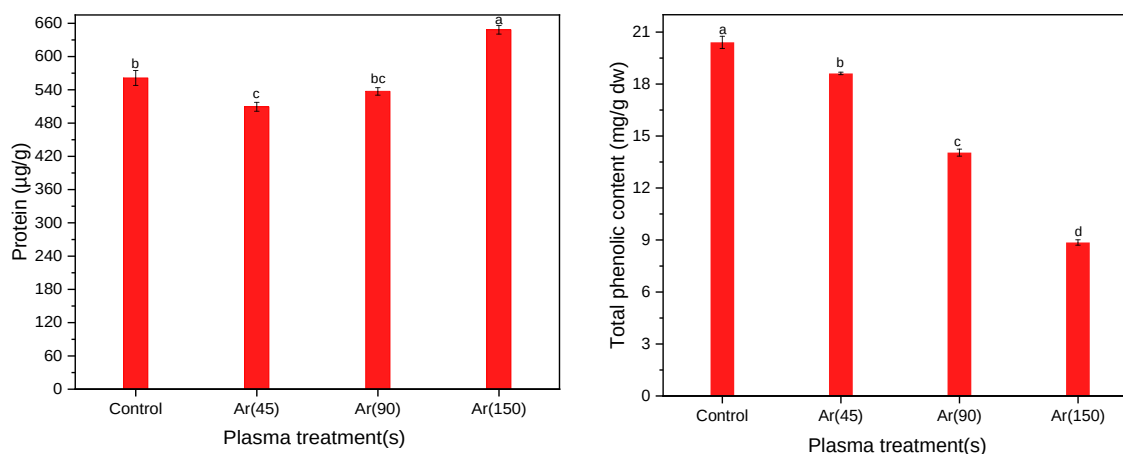


۳-۳- تغییرات پروتئین و فنول کل توت‌فرنگی



شکل ۳ تاثیر پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون در بازه‌های زمانی مختلف بر محتوای پروتئین محلول (سمت چپ) و فنول کل (سمت راست) بر تیمارهای توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. افزایش مدت زمان پلاسمای سرد اتمسفری در تغییرات پروتئین، عدم وابسته به زمان تغییر پیدا کرده است و در زمان ۱۵۰ ثانیه بیشینه پروتئین محلول را ثبت شد. این درحالی است که تغییرات فنول کل با افزایش مدت زمان پلاسمای سرد اتمسفری بطور معنی‌دار آماری $p < 0.05$ کاهش پیدا کرده‌است.

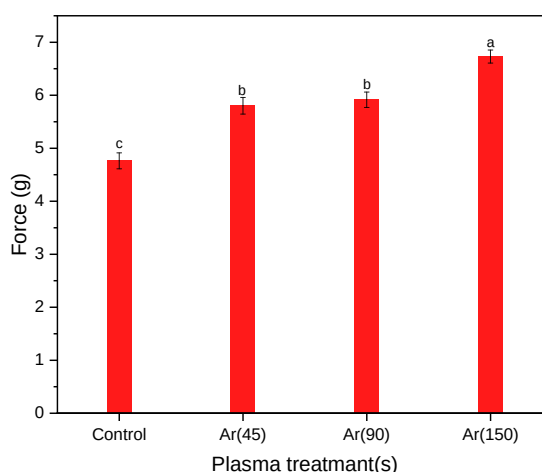
شکل (۳) تاثیر تیمار بازه‌های زمانی مختلف پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون بر محتوای پروتئین (سمت چپ) و فنول کل (سمت راست)



راست) توت‌فرنگی.

۳-۴- بررسی سطح و تغییرات بافت توت‌فرنگی

شکل ۴ تاثیر پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون در بازه‌های زمانی مختلف بر سفتی بافت توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. کلیه نتایج دارای اختلاف معنی‌دار $p < 0.05$ آماری بودند. نتایج نشان داد که افزایش زمان تیمار پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون منجر به افزایش سفتی بافت می‌شود.



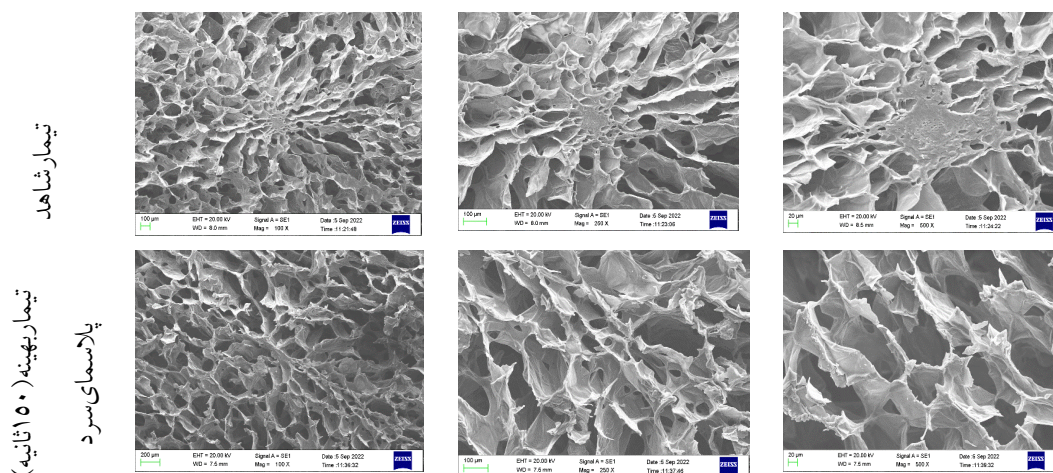
شکل (۴) تاثیر تیمار بازه‌های زمانی مختلف پلاسمای سرد حاوی گاز آرگون بر تغییرات بافت توت‌فرنگی
تغییرات بافت توت‌فرنگی پس از درمان در بازه زمانی ۱۵۰ ثانیه پلاسمای سرد اتمسفری حاوی گاز آرگون با تیمار شاهد زیر میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی در جدول زیر قابل



مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد درمان توت‌فرنگی در مدت زمان ۱۵۰ ثانیه پلاسمای سرد اتمسفری سبب تخریب سطحی و دیواره سلولی میکروارگانیسم‌های توت‌فرنگی می‌شود، که می‌تواند به تجزیه مواد آلی و فرسایش غشای سیتوپلاسمی میکروارگانیسم‌ها توسط گونه‌های پلاسما نسبت داد.

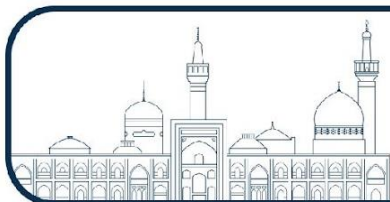
جدول ۲: بررسی تغییرات بافت سطحی توت‌فرنگی زیر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای دوتیمار شاهد و پلاسمای سرد

۱۵۰ ثانیه آرگون



۴- بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج بدست آمده پس از درمان با پلاسمای سرد در بازه‌های زمانی مختلف بیانگر ثبات در شاخص‌های رنگی توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد است که با نتایج میسرا و همکاران در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مطابقت دارد [۸]. بطور کلی می‌توان گفت پلاسما اثر مخربی بر روی رنگ محصول و ایجاد تغییرات نامطلوبی بر شاخص‌های رنگی محصول نخواهد گذاشت [۸]. مقدار قند محلول روند معنی‌داری با افزایش مدت زمان پلاسمای سرد نداشت اما شاهد کاهش مقدار قند محلول توت‌فرنگی بودیم، این در حالی است که مقدار مواد جامد محلول با افزایش زمان درمان با پلاسمای سرد روند کاهش داشت. کاهش کل جامدات محلول در طول ذخیره سازی به دلیل تبدیل پلی‌ساکاریدهای بالاتر مانند نشاسته و پکتین به قند است و افزایش بعدی به دلیل تجزیه اکسیداتیو قندها در طول تنفس است، در نتیجه با تاخیر تنفس می‌توان مانع تجزیه مواد جامد محلول شد [۹]. فعالیت‌های فیزیولوژیکی و تنفس بالای میوه توت‌فرنگی سبب تجزیه قندها و در نتیجه کاهش مواد جامد محلول در طول دوره نگهداری می‌گردد [۱۰]. افزایش مدت زمان درمان با پلاسمای سرد سبب کاهش مقدار فنول نسبت به تیمار شاهد شد این در حالی است که در مطالعات گیانگالو در سال ۲۰۲۱ افزایش مدت زمان پلاسمای سرد در طول ذخیره سازی سبب افزایش ترکیبات فنولی و فنول کل در توت‌فرنگی شده است [۱۱]. افزایش مدت زمان پلاسما سبب کاهش آنی ترکیبات فنولی می‌شود، بطور کلی پلاسمای سرد اتمسفری تاثیر مثبتی در غلظت ترکیبات فنولی توت‌فرنگی دارد [۱۲]. از دیگر موارد کاهش مقدار ترکیبات فنولی پس از درمان با پلاسمای سرد می‌شود، غلظت پائین اکسیژن می‌باشد [۱۳]. نتایج بدست آمده از تغییرات پروتئین محلول توت‌فرنگی پس از درمان با پلاسمای سرد، بیانگر تغییرات متفاوت پروتئین در بازه‌های مختلف می‌باشد که بطور معنی‌داری این تغییرات اتفاق نیافتاده است اما در بازه ۱۵۰ ثانیه شاهد ماکزیمم مقدار پروتئین محلول توت‌فرنگی هستیم. درمان با پلاسمای سرد اتمسفری سبب افزایش سفتی بافت نسبت به تیمار شاهد شدند که با نتایج میسرا و همکاران در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مطابقت دارد.

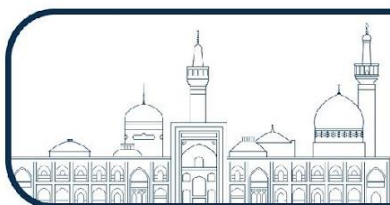


پلاسمای سرد اتمسفری و پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک در فشار اتمسفر آسیبی به بافت توت‌فرنگی و پایداری توت‌فرنگی وارد نمی‌کند [۸]. ساختار بافت توت‌فرنگی پس از اعمال پلازما ثابت باقی ماند و تغییری پیدا نکرد [۱۴]. نتایج بدست‌آمده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از تغییرات بافت و سطح سلولی توت‌فرنگی مشابه نتایج منتشر شده توسط فاروک و همکاران در سال ۲۰۲۳ است [۱۵].

۵- مراجع:

۱. Urrutia, M., et al., Diversity of the volatilome and the fruit size and shape in European woodland strawberry (*Fragaria vesca*). *Plant J*, ۲۰۲۳. ۱۱۶(۵): p. ۱۲۰۱-۱۲۱۷.
۲. Agarwal, S. and V.L. Fulgoni, ۳rd, Contribution of Beef to Key Nutrient Intakes and Nutrient Adequacy in Pregnant and Lactating Women: NHANES ۲۰۱۱-۲۰۱۸ Analysis. *Nutrients*, ۲۰۲۴. ۱۶.(۷)
۳. Yin, L., et al., Anatomical adaptations of pits in two types of ray parenchyma cells in *Populus tomentosa* during the xylem differentiation. *J Plant Physiol*, ۲۰۲۲. ۲۷۸: p. ۱۵۳۸۳۰.
۴. Ahmadnia, M., et al., Decontamination of whole strawberry via dielectric barrier discharge cold plasma and effects on quality attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, ۲۰۲۱. ۴۵(۱): p. e۱۵۰۱۹.
۵. Huang, M., et al., Differences in cellular damage induced by dielectric barrier discharge plasma between *Salmonella Typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*, ۲۰۲۰. ۱۳۲: p. ۱۰۷۴۴۵.
۶. Buranakarl, C., et al., Validation of Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in goat colostrum. *Veterinary World*, ۲۰۲۱. ۱۴(۱۲): p. ۳۱۹۴.
۷. Dominguez-López, I., M. Pérez, and R.M. Lamuela-Raventós, Total (poly)phenol analysis by the Folin-Ciocalteu assay as an anti-inflammatory biomarker in biological samples. *Crit Rev Food Sci Nutr*, ۲۰۲۴. ۶۴(۲۷): p. ۱۰۰۴۸-۱۰۰۵۴.
۸. Misra, N., et al., In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of Food Engineering*, ۲۰۱۴. ۱۲۵: p. ۱۳۱-۱۳۸.
۹. Wani, S., et al., Effect of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on the quality and storage stability of sweet cherry (cv. Misri and Double) under ambient and refrigerated storage conditions. *Journal of Postharvest Technology*, ۲۰۱۸. ۶(۳): p. ۴۴-۵۹.
۱۰. Gao, C., et al., Fruit bagging reduces the postharvest decay and alters the diversity of fruit surface fungal community in 'Yali' pear. *BMC microbiology*, ۲۰۲۲. ۲۲(۱): p. ۲۳۹.
۱۱. Giannoglou, M., et al., Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, ۲۰۲۱. ۶۸: p. ۱۰۲۶۳۱.
۱۲. Rana, S., et al., Atmospheric cold plasma (ACP) treatment improved in-package shelf-life of strawberry fruit. *Journal of food science and technology*, ۲۰۲۰. ۵: ۷p. ۱۰۲-۱۱۲.
۱۳. Guan, Y., et al., Effect of methyl jasmonate on phenolic accumulation in wounded broccoli. *Molecules*, ۲۰۱۹. ۲۴(۱۹): p. ۳۵۳۷.
۱۴. Yang, H., et al., Fusarium Wilt Invasion Results in a Strong Impact on Strawberry Microbiomes. *Plants (Basel)*, ۲۰۲۳. ۱۲(۲۴).

۱۵. Farooq, S., et al., Cold plasma treatment advancements in food processing and impact on the physiochemical characteristics of food products. Food Sci Biotechnol, ۲۰۲۲. ۳۲(۵): p. ۶۲۱-۶۳۸.



تأثیر پرتوتابی گاما بر خواص فیزیکوشیمیایی دانه های کنجد رقم اولتان با پوست و پوست کنده (کد مقاله : ۱۳۴۴)

ربیع نژاد، فاطمه* _ آفریده، حسین^۱ _ شیرمردی، سیدپژمان^۲ _ شهبازی، سمیرا^۲ _ قلی نژاد، مسعود^۱

۱. دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی.

۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

۳. پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کشاورزی هسته ای.

چکیده

کنجدها دانه‌های روغنی با ارزش غذایی بالایی هستند که حفظ کیفیت مواد مغذی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. پرتوتابی گاما روشی ایمن در بهبود کیفیت و ارتقای ارزش تغذیه‌ای محصولات غذایی به حساب می‌آید. در این مطالعه، تأثیر پرتوتابی گاما در دزهای ۰، ۱، ۳ و ۵ کیلوگری بر خواص فیزیکوشیمیایی دانه‌های کنجد رقم اولتان، در دو حالت با پوست و پوست‌کنده، مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که پرتوتابی گاما موجب بهبود معنادار خواص آنتی‌اکسیدانی شد درحالی که محتوای فنل کل کاهش یافت. شاخص‌های رنگی نمایانگر تأثیرات جزئی پرتوها بر خواص ظاهری دانه‌های کنجد بود. آنالیز پروفایل اسیدهای چرب، افزایش اسیدهای چرب اشباع و کاهش اسیدهای چرب غیراشباع را بطور وابسته به دز نشان داد. نتایج بیانگر تأثیر پرتوتابی گاما در بهبود و حفظ کیفیت دانه‌های کنجد است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پرتوتابی گاما بهینه‌سازی خواص تغذیه‌ای و عملکردی دانه‌های کنجد را فراهم کند، همچنین پتانسیل این فناوری برای حفظ کیفیت ظاهری و بهبود ویژگی‌های زیست‌فعال محصول را نیز برجسته می‌کند.

کلمات کلیدی: کنجد، پرتوتابی گاما، خواص فیزیکوشیمیایی.

The impact of gamma irradiation on the physicochemical characteristics of hulled and unhulled sesame seeds (Ultan variety).

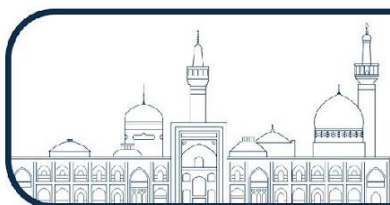
Rabinezhad, Fateme^۱ _ Afarideh, Hossein^۱ _ Shirmardi, Seyedpezhman^۲ _ Shahbazi, Samira^۲ _ Gholinezhad, Masoud^۱.

۱. Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Department of Physics and Energy Engineering.

۲. The Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Nuclear Agriculture School.

Abstract

Sesame seeds are nutrient-rich oilseeds with exceptional nutritional qualities. Gamma irradiation is a reliable method for enhancing the quality of food products. This study evaluated the effects of gamma irradiation at doses of ۰, ۱, ۳, and ۵ kGy on the physicochemical properties of Ultan sesame seeds in hulled and unhulled forms. Irradiation increased antioxidant activity and reduced total phenolic content. The L*, a* and b* The color indices indicated that irradiation had a negligible impact on the visual characteristics of sesame seeds.



Fatty acid profile analysis revealed a dose-dependent increase in saturated fatty acids and a corresponding decrease in unsaturated fatty acids. The findings suggest that gamma irradiation can enhance and preserve the quality of sesame seeds. Furthermore, this study highlights the potential of gamma irradiation to optimize the nutritional and functional properties of sesame seeds while maintaining their visual quality and improving their bioactive components.

Keywords: sesame, gamma irradiation, physicochemical properties.

۱ - مقدمه:

دانه کنجد یکی از منابع غذایی گیاهی است که به‌عنوان یک ماده غذایی سالم و سنتی در بسیاری از کشورها، از جمله کشورهای خاورمیانه و ژاپن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دانه‌ها کوچک دارای پوششی فیبری خارجی به نام پوست هستند که از سلول‌های اپیدرمی خارجی، حاوی کریستال‌های اگزالات کلسیم (اگزالیک اسید) و فیبر است. این پوشش حدود ۱۵ تا ۲۹ درصد وزن کل دانه را تشکیل می‌دهد [۱]. ترکیب دانه کنجد شامل ۵۰ درصد روغن و ۵۰ درصد دیگر پروتئین، لیگنان‌های متنوع و سایر مواد جزئی است. روغن کنجد از اسیدهای چرب ضروری تشکیل شده است که درصد زیادی را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل می‌دهند [۲]. پرتو دهی مواد غذایی با پرتوهای گاما یک روش بدون حرارت است که عمدتاً برای آلودگی زدایی با حفظ ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکیوشیمیایی انجام می‌شود [۳]. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیرات پرتوهای گاما بر خواص فیزیکیوشیمیایی دانه‌های کنجد پوست کنده و با پوست بوده است.

۲ - روش‌ها:

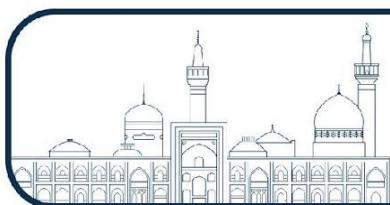
در این پژوهش کنجد رقم اولتان به دو صورت با پوست و پوست گیری شده خریداری شد و در شرایط خشک و تاریک در دمای ۴ درجه سانتیگراد تا پایان مراحل تجزیه و تحلیل نهایی، نگهداری شد. تمام مواد شیمیایی و محلول‌ها از مرک (دارمشتات، آلمان) و سیگما آلد ریچ (سنت لوئیس، ایالات متحده) خریداری شدند. پرتوتابی به وسیله‌ی دستگاه گاماسل ۲۲۰ (MDS Nordion، اتاوا) در دزهای ۱، ۳ و ۵ کیلوگری پرتو گاما و بوسیله‌ی چشمه ^{60}Co انجام شد. نرخ دز تابش گاما ۵.۴ کیلوگری بر ساعت، دما 1 ± 24 درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی در طول فرآیند تابش ۱۲ درصد بود. برای ارزیابی دز جذب شده از دزیتر (Red-Perspex (Hrwell Dosimeters, UK) استفاده شد. آزمون‌های خواص فیزیکیوشیمیایی پس از انجام پرتوتابی صورت گرفت.

۲-۱ پروفایل‌های اسید چرب

در استخراج اسیدهای چرب دانه‌های کنجد مقدار ۱ گرم از دانه‌های کنجد به‌وسیله‌ی هاون استریل با ۳ میلی‌لیتر آن-هگزان^{۴۸} ترکیب شد. سپس توسط شیکر هم‌زده شد. روغن با تبخیر حلال و با استفاده از جریان نیتروژن بازبایی شد. پس‌از آن، مقدار تقریبی ۵۰ میلی‌گرم روغن استخراج شده با ۱۰۰ میکرولیتر دی‌کلرومتان^{۴۹} و ۱ میلی‌لیتر از محلول متانولیک و سدیم هیدروکسید با استفاده از بازسازی در یک لوله شیشه‌ای مهر و موم شده در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه صابون

^{۴۸} n-Hexane

^{۴۹} Dichloromethane



شد. بخارهای متانول پس از تراکم بر روی دیواره لوله ریفلاکس شد. سپس ۱ میلی‌لیتر تری فلورید بور متانول (۱۴٪) به محلول اضافه شده و در حمام آب به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده شد. استرهای متیل اسید چرب (FAMES)^{۵۰} با افزودن ۶۰۰ میکرولیتر آن-هگزان از یک مخلوط اشیاع شده با نمک استخراج شد [۴].

سرانجام، لایه آلی جدا و به GC-MS (Agilent ۵۹۷۵ MSD و ۶۸۹۰ A GC) تزریق شد. دمای محفظه تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۳۰ و ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد بود.

۲-۲ محتوای فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی

محتوای فنل کل به روش رنگ سنجی فولین-سیوکالتو انجام گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره کنجد به دست آمده با ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتو و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و ۳ دقیقه در دمای اتاق باقی ماند سپس ۱ میلی‌لیتر محلول ۲۰٪ سدیم کربنات به مخلوط اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق انکوبه شد. میزان جذب رنگ محلول توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. از اسید گالیک بعنوان استاندارد استفاده شد و میزان فنل کل بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم کنجد گزارش شد [۵].

فعالیت آنتی اکسیدانی به روش قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد به کمک رادیکال پایدار ۲-۲ فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) انجام شد. محلول بافر متانول با ترکیب ۴۰ میلی‌لیتر بافر استات ۰/۱ میلی مولار (pH= ۵/۵) در ۶۰ میلی‌لیتر متانول تهیه، و محلول متانولی DPPH با غلظت ۰/۱ میلی مولار تهیه شد. میزان ۱ میلی‌لیتر از محلول متانولی به ۳ میلی‌لیتر از عصاره نمونه‌ها اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. از مخلوط ۳ میلی‌لیتر متانول و ۱ میلی‌لیتر محلول DPPH به عنوان نمونه شاهد استفاده شد [۶].

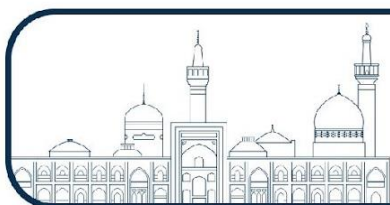
۲-۳ اندازه گیری شاخص های رنگی کنجد

شاخص‌های رنگی نمونه‌های کنجد توسط دستگاه رنگ‌سنج کونیکا مینولتا مدل (Milota, Inc., Osaka, Japan) با منبع نور D_{65} و زاویه ناظر ۱۰ به عنوان بیننده استاندارد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شدند. این دستگاه رنگ‌سنج مطابق با استاندارد کمیسیون بین‌المللی روشنایی^{۵۱} شاخص‌های رنگی a^* ، b^* و L^* را در یک فضای سه‌بعدی اندازه‌گیری می‌کند که شاخص L^* میزان روشنایی-تاریکی، شاخص a^* میزان قرمزی تا سبزرنگی و اندیس b^* بیانگر میزان زردی تا آبی رنگی را نشان می‌دهد. در نهایت کروما^{۵۲} یا C^* که بیانگر مقدار صفر در مرکز یک کره رنگی است با فاصله گرفتن از مرکز کره مقادیر رنگی افزایش می‌یابند. آنالیزهای رنگی در پنج تکرار اجرا شدند و مقادیر کروما از فرمول $C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ محاسبه شد [۷].

^{۵۰} Fatty Acid Methyl Esters

^{۵۱} International Commission on Illumination (ICE)

^{۵۲} Chroma



۲-۴ آنالیز آماری

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ ($p < 0.05$) صورت گرفت و آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آنالیز آماری (SPSS Science, SPSS Software v ۲۳,۰ Chicago, IL, USA) انجام شد. تمامی آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام شدند.

۳ - نتایج

۳-۱ پروفایل اسید چرب

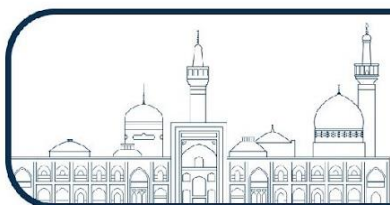
داده‌های حاصل از استخراج اسیدهای چرب در جدول (۱) و (۲) نشان می‌دهد که با افزایش دز پرتوتابی گاما درصد اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع بطور معنی داری به ترتیب افزایش و کاهش یافتند. پرتوهای گاما در دز ۳ کیلوگری به ترتیب موجب افزایش ۹.۱۶ درصدی و ۱۷.۸۶ درصدی اسیدهای چرب اشباع در نمونه‌های با پوست و پوست کنده شده است. تغییرات در اسیدهای چرب غیر اشباع در همین دز به ترتیب بصورت ۱.۸۳ درصد و ۳.۵۷ درصد کاهش نمایان شده است. اسید اولئیک (۳۴.۱۰٪)، اسید لینولئیک (۳۸.۴۸٪) و اسید استئاریک (۶.۸۷٪) فراوان‌ترین اسیدهای چرب موجود در کنجدهای خام بودند.

جدول (۱) تاثیر پرتوهای گاما بر پروفایل‌های اسید چرب در کنجد های با پوست.

دز تابش گاما (کیلوگری)				اسید های چرب
۵.۰	۳.۰	۱.۰	۰.۰	
۲۰.۶۹±۰.۰۹ ^c	۳.۴۹±۰.۱۳ ^a	۲.۳۹۹±۰.۱۶ ^b	۳.۵۳۱±۰.۱۲ ^{a*}	میرستیک اسید (۱۴:۰)
۶.۱۹۴±۰.۰۵ ^b	۶.۴۶±۰.۱۰ ^a	۶.۳۳۳±۰.۱۰ ^{ab}	۴.۵۳۹±۰.۱۰ ^c	پالمیتیک اسید (۱۶:۰)
۲.۴۶۲±۰.۰۹ ^b	۱.۸۵۷±۰.۰۶ ^c	۳.۱۶±۰.۱۲ ^a	۱.۷۷۷±۰.۰۵ ^c	پالمیتولئیک اسید (۱۶:۱)
۹.۱۸۹±۰.۱۱ ^a	۶.۴۳۳±۰.۰۸ ^d	۷.۷۳۷±۰.۱۷ ^b	۶.۸۷۱±۰.۰۹ ^c	استئاریک اسید (۱۸:۰)
۳۵.۳۴۴±۰.۲۰ ^a	۳۴.۷۷۷±۰.۲۲ ^b	۳۴.۳۹۲±۰.۲۲ ^{bc}	۳۴.۰۱۳±۰.۱۸ ^c	اولئیک اسید (۱۸:۱)
۳۵.۶۵۶±۰.۳۳ ^c	۳۶.۹۵۰±۰.۲۴ ^b	۳۶.۷۴۱±۰.۳۱ ^b	۳۸.۴۸۴±۰.۲۱ ^a	لینولئیک اسید (۱۸:۲)
۴.۸۴۸±۰.۱۲ ^b	۴.۳۷۸±۰.۱۳ ^c	۴.۰۶۰±۰.۰۶ ^d	۵.۴۹۸±۰.۰۶ ^a	لینولئیک اسید (۱۸:۳)
۰.۸۶۶±۰.۰۶ ^d	۱.۲۷۵±۰.۰۴ ^c	۱.۶۴۲±۰.۱۲ ^b	۲.۴۱۵±۰.۰۳ ^a	آراشیدیک اسید (۲۰:۰)
۲.۲۷۴±۰.۰۹ ^b	۲.۵۴۹±۰.۰۶ ^a	۲.۱۲۹±۰.۱۶ ^b	۱.۱۲۸±۰.۰۴ ^c	اکوسنئوئیک اسید (۲۰:۱)
۱.۰۹۸±۰.۰۵ ^c	۱.۸۳۱±۰.۰۶ ^a	۱.۴۰۷±۰.۰۳ ^b	۱.۷۴۴±۰.۱۰ ^a	بهنیک اسید (۲۲:۰)
۱۸.۵۵۰±۰.۳۰	۱۸.۲۱۴±۰.۳۷	۱۷.۸۷۶±۰.۴۶	۱۶.۶۸۵±۰.۴۱	اشباع
۸۱.۴۵۰±۰.۸۹	۸۱.۷۸۶±۰.۷۵	۸۲.۱۲۴±۰.۹۹	۸۳.۳۱۵±۰.۵۷	غیر اشباع

*حروف متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح $P < 0.05$ است.

جدول (۲) تاثیر پرتوهای گاما بر پروفایل‌های اسید چرب در کنجد های پوست کنده.

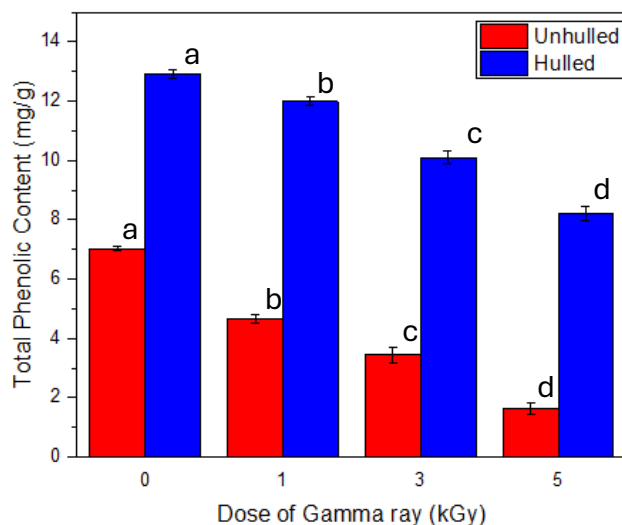
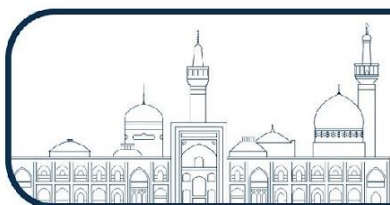


دز تابش گاما (کیلوگری)				اسید های چرب
۵۰	۳۰	۱۰	۰	
2.334 ± 0.11^c	3.242 ± 0.09^b	2.046 ± 0.12^d	$3.531 \pm 0.12^{a*}$	میرستیک اسید (۱۴:۰)
6.025 ± 0.12^a	5.090 ± 0.13^b	5.288 ± 0.06^b	4.539 ± 0.10^c	پالمیتیک اسید (۱۶:۰)
1.431 ± 0.04^c	1.565 ± 0.05^b	1.322 ± 0.02^d	1.777 ± 0.05^a	پالمیتولئیک اسید (۱۶:۱)
9.016 ± 0.10^b	9.454 ± 0.11^a	8.510 ± 0.10^c	6.871 ± 0.09^d	استئاریک اسید (۱۸:۰)
35.396 ± 0.26^b	32.797 ± 0.19^d	36.183 ± 0.28^a	34.013 ± 0.18^c	اولئیک اسید (۱۸:۱)
36.166 ± 0.26^c	36.735 ± 0.30^b	38.247 ± 0.25^a	38.484 ± 0.21^a	لینولئیک اسید (۱۸:۲)
4.836 ± 0.25^b	4.747 ± 0.06^b	4.354 ± 0.09^c	5.498 ± 0.06^a	لینولئیک اسید (۱۸:۳)
1.863 ± 0.03^b	1.820 ± 0.05^b	1.262 ± 0.07^c	2.415 ± 0.03^a	آراشیدیک اسید (۲۰:۰)
0.807 ± 0.08^d	2.670 ± 0.06^a	0.929 ± 0.05^c	1.128 ± 0.04^b	اکوسنوئیک اسید (۲۰:۱)
2.127 ± 0.15^a	1.880 ± 0.11^b	1.858 ± 0.09^b	1.744 ± 0.10^b	بهنیک اسید (۲۲:۰)
19.502 ± 0.48	19.666 ± 0.44	17.702 ± 0.37	16.685 ± 0.41	اشباع
80.499 ± 0.92	80.334 ± 0.71	82.297 ± 0.76	83.315 ± 0.57	غیر اشباع

*حروف متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح $P < 0.05$ است.

۳-۲ محتوای فنل کل

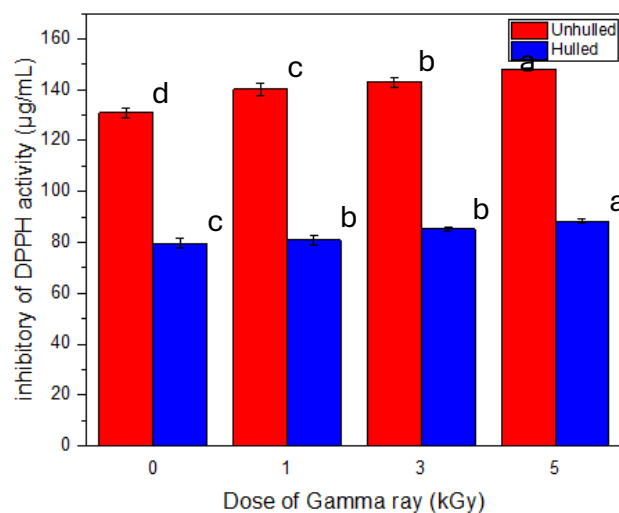
شکل (۱) تاثیر پرتو گاما بر محتوای فنل کل در دو تیمار با پوست و پوست کنده دانه های کنجد را نشان میدهد و بیان میکند که اثرات تابش بر فنل کل وابسته به دز است. افزایش دز پرتو گاما در تیمارهای کنجد نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری ($p < 0.05$) کاهش پیدا کرده است. در پرتو دهی با پرتو گاما مقدار فنل کل روندی کاهشی نسبت به تیمار شاهد پیدا کرده است، مقدار فنل کل به ترتیب در دز ۵ کیلوگری به ۳۶.۳۱ درصد در تیمار پوست کنده و ۷۶.۹۹ درصد در تیمار با پوست کاهش پیدا کرده است. در دز ۳ کیلوگری میزان این تخریب در نمونه های پوست کنده و با پوست به ترتیب ۲۱.۶۹ درصد و ۵۰.۹۷ درصد بوده است.



شکل (۱) تاثیر پرتو گاما در دزهای مختلف بر محتوای فنل کل دو تیمار باپوست و پوست کنده دانه های کنجد.

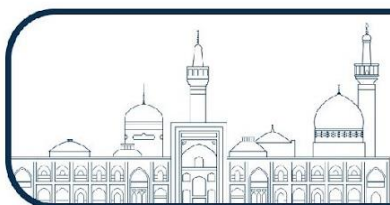
۳-۳ فعالیت آنتی اکسیدانی

داده‌های نتایج پرتو دهی گاما بر تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی تیمارهای کنجد در جدول (۲) آورده شده است. نتایج حاضر نشان می‌دهند که افزایش دُز پرتوتابی گاما در تیمارهای کنجد نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش پیدا کرده است. نتایج پرتو دهی نشانگر افزایش خواص ضد اکسایشی تیمارهای کنجد پس از پرتوتابی هستند.



شکل (۲) تاثیر پرتو گاما در دزهای مختلف بر مهار کنندگی فعالیت آنتی اکسیدانی دو تیمار باپوست و پوست کنده دانه های کنجد.

۳-۴ شاخص های رنگی



داده‌های جدول (۳) اثر دزهای مختلف پرتوتابی گاما بر شاخص‌های رنگ کنگد باپوست و پوست کنده نسبت به تیمار شاهد را نشان می‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده گویای تغییرات معنی‌داری ($P < 0.05$) شاخص‌های رنگ کنگدها هستند. در تیمار باپوست درخشش (L^*) در دز ۱ و ۳ کیلوگری بهبود داشته اما دز ۵ کیلوگری موجب افزایش تیرگی دانه‌های کنگد گشته است این درحالی است که درخشش (L^*) در تیمارهای پوست کنده هیچ اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) را نشان نمی‌دهد. فاکتورهای قرمزی (a^*)، زردی (b^*) و کروما (c^*) در هر دو تیمار باپوست و پوست کنده نشان می‌دهد که افزایش دز پرتو دهی پرتو گاما نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش پیدا کرده‌است.

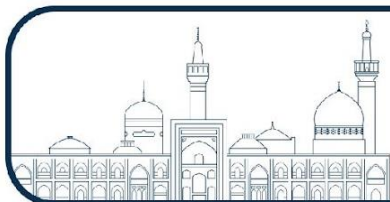
جدول (۳) تاثیر پرتو گاما در دزهای مختلف بر شاخص‌های رنگی دو تیمار باپوست و پوست کنده دانه‌های کنگد.

گروه	شاخص‌های رنگی	دز پرتوتابی (کیلوگری)			
		۰.۰	۱.۰	۳.۰	۵.۰
باپوست	درخشندگی (L^*)	۲۰.۰۶۳±۰.۰۸ ^b	۲۰.۲۲۷±۰.۰۲ ^{a*}	۲۰.۰۷۶±۰.۰۱ ^b	۱۹.۷۹۷±۰.۰۷ ^c
	قرمزی (a^*)	۳۴.۱۶۰±۰.۰۱۷ ^c	۳۴.۶۶۳±۰.۰۱۵ ^b	۳۴.۸۵۳±۰.۰۱۳ ^{ab}	۳۴.۹۹۳±۰.۰۱۷ ^a
	زردی (b^*)	۱۱.۴۵۳±۰.۰۱۱ ^b	۱۱.۵۵۶۷±۰.۰۱۳ ^b	۱۱.۶۹۶۷±۰.۰۰۵ ^b	۱۲.۰۰۳±۰.۰۱۷ ^a
	کروما (c^*)	۳۶.۰۲۶۷±۰.۰۱۳ ^c	۳۶.۵۴۰±۰.۰۱۰ ^{۳b}	۳۶.۷۶۵۷±۰.۰۱۳ ^{ab}	۳۶.۹۹۳±۰.۰۲۱ ^a
پوست کنده	درخشندگی (L^*)	۶۹.۵۰۰±۰.۰۷۲ ^a	۶۹.۴۷۰±۰.۰۰۸ ^a	۶۹.۳۲۰±۰.۰۰۶ ^a	۶۹.۲۷۳±۰.۰۲۹ ^a
	قرمزی (a^*)	۳.۳۵۶±۰.۰۰۸ ^c	۳.۴۳۰±۰.۰۰۸ ^{bc}	۳.۶۲۰±۰.۰۰۶ ^{ab}	۳.۷۶۳±۰.۰۰۲ ^a
	زردی (b^*)	۱۳.۸۰۶±۰.۰۰۳ ^b	۱۳.۸۶۶±۰.۰۰۴ ^b	۱۳.۹۸۰±۰.۰۰۴ ^b	۱۴.۲۱۰±۰.۰۰۹ ^a
	کروما (c^*)	۱۴.۲۱۰±۰.۰۰۵ ^c	۱۴.۲۸۳±۰.۰۰۴ ^{bc}	۱۴.۴۴۱±۰.۰۰۲ ^b	۱۴.۶۹۷±۰.۰۰۹ ^a

*حروف متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح $P < 0.05$ است.

۴- بحث و نتیجه گیری

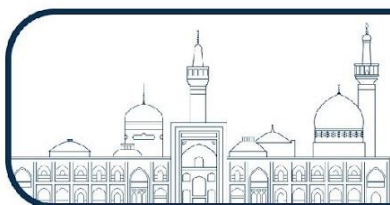
نتایج حاضر بیانگر آن است که تابش گاما بر دانه‌های روغنی می‌تواند با کاتالیز کردن واکنش‌ها با مولکول اکسیژن، موجب اکسیداسیون مستقیم اسیدهای چرب غیراشباع با رادیکال‌های آزاد شود و تغییرات شیمیایی در ثابت‌های مختلف به‌ویژه لیپیدها ایجاد کند و موجب کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) اسیدهای چرب غیر اشباع شود که با یافته‌های عقیفی و همکاران مطابقت دارد [۸]. همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش البشیر، افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) درصد اسید چرب اشباع با افزایش دز پرتو و کاهش قابل‌توجهی در محتوای اسید چرب غیراشباع تا دز ۷ کیلوگری پرتوهای گاما در نمونه‌های کنگد گزارش شده است [۹]. ترکیبات فنلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مولکول‌های فعال با خواص بیولوژیکی و عملکردی در محصولات گیاهی شناخته می‌شوند که تأثیرات چشمگیری بر کیفیت و سلامت انسان دارند [۱۰]. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دز پرتوهای گاما محتوای فنل کل و فعالیت آن‌تی اکسیدانی بطور وابسته به دز به ترتیب دچار کاهش و افزایش شدند. مطالعات دسامیر و همکاران نشان می‌دهد تأثیرات پرتو گاما در دزهای ۲ کیلوگری و ۰/۶ کیلوگری بر خواص فنلی موجب کاهش ترکیبات فنل کل شده است [۱۱]. روهدی و همکاران نیز در مطالعه‌شان آورده‌اند که پس از تابش گاما، شاهد کاهش ۱۲ درصدی محتوایی فنل کل (TPC) و در مقابل افزایش فعالیت مهار رادیکال بوده‌اند [۱۲]. نتایج بدست آمده حاصل از پرتوتابی گاما در دزهای مختلف بیانگر تغییرات جزئی در شاخص‌های رنگی دانه‌های کنگد نسبت به تیمار شاهد است. حتی و همکاران، با بررسی اثر دو تیمار پرتو دهی گاما و باریکه الکترون بر شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* فندق در سال ۲۰۲۴ آن را از نظر آماری معنی‌دار گزارش



کرده‌اند[۴]. همچنین مکسیس و همکاران در پژوهش خود بیان نمودند که تیمار پرتوگاما در دزهای بیش از ۳ کیلوگری پارامتر a^* در پسته و بادام‌هندی را تشدید کرده و منجر به تیره شدن سطح نمونه‌ها شده است [۱۳، ۱۴].

۵ - مراجع

۱. Wang, L., et al., Transcriptome Dynamics during Black and White Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seed Development and Identification of Candidate Genes Associated with Black Pigmentation. *Genes* (Basel), ۲۰۲۰. ۱۱.(۱۲)
۲. Kheirati Rounizi, S., et al., The chemical composition and heavy metal content of sesame oil produced by different methods: A risk assessment study. *Food Sci Nutr*, ۲۰۲۱. ۹(۶): p. ۲۸۸۶-۲۸۹۳.
۳. Calado, T., A. Venâncio, and L. Abrunhosa, Irradiation for Mold and Mycotoxin Control: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, ۲۰۱۴. ۱۳(۵): p. ۱۰۴۹-۱۰۶۱.
۴. Hojjati, M., et al., Impact of the gamma and electron beam irradiations on yeast-spot disease fungal agent and physicochemical attributes of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Radiation Physics and Chemistry*, ۲۰۲۴. ۲۱۶: p. ۱۱۱۴۶۹.
۵. Alinezhad, M., et al., Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) nuts. *Journal of Food Measurement and Characterization*, ۲۰۲۱. ۱۵(۱): p. ۱۹۹-۲۰۹.
۶. Makari, M., et al., Effect of Co-۶۰ gamma irradiation on *Aspergillus flavus*, Aflatoxin B₁ and qualitative characteristics of pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, ۲۰۲۱. ۱۵(۶): p. ۵۲۵۶-۵۲۶۵.
۷. Ahangari, M., Y. Ramezan, and M.R. Khani, Effect of low pressure cold plasma treatment on microbial decontamination and physicochemical properties of dried walnut kernels (L.). *Journal of Food Process Engineering*, ۲۰۲۱. ۴۴(۱): p. e۱۳۵۹۳.
۸. A.M.R. Afify, M.M.R., A.M. Ebtesam and H.S. El-Beltagi, , Effect of gamma radiation on the lipid profiles of soybean, peanut and sesame seed oils. *Julio-septiembre*, ۲۰۱۳.
۹. Al-Bachir, M., Some microbial, chemical and sensorial properties of gamma irradiated sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Food Chemistry*, ۲۰۱۶. ۱۹۷(Pt A): p. ۱۹۱-۷.
۱۰. Granato, D., et al., Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods? *Food Chem*, ۲۰۱۸. ۲۶۴: p. ۴۷۱-۴۷۵.
۱۱. Dassamiour, S., et al., Impact of Gamma Irradiation as Preservation Technique on Phenolic Contents and Antioxidant Capacity of Two Mature Date's Cultivars to Extend the Shelf Life. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, ۲۰۲۲.
۱۲. R. Rohadi, I.I., Dewi Larasati, Sugili Putra, Effect of Gamma Irradiation on Total Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Methanolic Extract of Java Plum Seeds. *Journal of Biodiversity and Biotechnology*, ۲۰۲۳.
۱۳. Mexis, S.F. and M.G. Kontominas, Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.). *LWT - Food Science and Technology*, ۲۰۰۹. ۴۲(۹): p. ۱۵۰۱-۱۵۰۷.
۱۴. Mexis, S.F. and M.G. Kontominas, Effect of gamma irradiation on the physicochemical and sensory properties of raw shelled peanuts (*Arachis hypogaea* L.) and pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, ۲۰۰۹.



مینیاتور، پاکوتاه‌ترین برنج ایران حاصل از پرتوتابی اشعه گاما (کد مقاله : ۱۳۶۵)

اولادی، مرتضی* - افخمی قادی، عمار - نعمت‌زاده، قربانعلی - آقاجانی قراء، مجتبی-باقری، فرهاد - نوراللهی، جعفر - امامی قراء، مریم - اسفندیاری، احمد
گروه زراعت و اصلاح برنج، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده:

روش موتاسیون به دلیل توانایی ایجاد تغییرات ژنتیکی و افزایش تنوع در گیاهان، به عنوان ابزاری مؤثر و قدرتمند در اصلاح بویژه القای پاکوتاهی مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی در رقم سپیدرود از طریق پرتوتابی با اشعه گاما انجام شد. جهت انجام این مطالعه بذر رقم سپیدرود با دز ۲۰۰ گری از چشمه کبالت ۶۰ با همکاری پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای پرتوتابی شدند و سپس اداره نسل‌های در حال تفکیک در مزرعه پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام و بوته‌هایی با ویژگی‌های زراعی بهبودیافته انتخاب شدند. نتایج تحقیق نشان داد. لاینی با ارتفاع ۳۹ سانتی‌متر و کاهش ۶۱ درصدی ارتفاع نسبت به والد خود و با تعداد پنجه ۷۰ عدد دست یافته که لاین مورد نظر به عنوان پاکوتاه‌ترین و پرپنجه‌ترین لاین برنج کشور با نام "مینیاتور" نام گذاری گردید. یافته‌ها نشان می‌دهند که پرتوتابی با اشعه گاما می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر در اصلاح و بهبود ویژگی‌های زراعی برنج مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اصلاح نباتات، تنوع ژنتیکی، موتاسیون و پاکوتاهی

Miniatur, the shortest rice variety in the Iran via gamma ray irradiation

Oladi, Morteza*, Afkhani Ghadi, Ammar, Nematizadeh, Ghorbanali, Aghajani Ghara, Mojtaba, Bagheri, Farhad, Noorollahi, Jafar, emami Ghara, Maryam, Esfandiari, Ahmad

Agronomy and Rice Breeding, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University.

Abstract:

The mutation technique, due to its ability to induce genetic changes and increase diversity in plants, has gained attention as an effective and powerful tool in plant breeding. This study investigates the creation of genetic diversity and the induction of dwarfism in the Sepidroud variety through gamma ray irradiation. In this research, seeds of the Sepidroud variety were irradiated with a dose of ۲۰۰ gray from a cobalt-۶۰ source at the Nuclear Agricultural Research Institute, and subsequently, in different generations, plants with improved agronomic traits were selected at the Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, affiliated with the Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University. The results indicated that the new variety "Miniatur," with a height of ۳۹ centimeters and a ۶۱% reduction in height compared to its parent, has been recognized as the shortest and most tillering (۷۰ tillers) rice variety in the country. The findings suggest that gamma ray irradiation can be an effective method for the improvement and enhancement of agronomic traits in rice.

Key word: Plant breeding, genetic diversity, mutation, dwarf



۱ - مقدمه:

روش اصلاح موتاسیونی به دلیل توانایی ایجاد تغییرات ژنتیکی و افزایش تنوع در گیاهان، به عنوان ابزاری مؤثر و قدرتمند در اصلاح گیاهان مورد توجه قرار گرفته است (Oladosu et al, 2015). پرتوتابی با اشعه گاما می‌تواند به بهبود ویژگی‌های زراعی (Chaudhary et al, 2019)، نظیر القای پاکوتاهی (Ramchander et al., 2024)، مقاومت به بیماری‌ها (Jambhulkar et al., 2024)، افزایش تولید (Nematzadeh et al., 2020) و بهبود کیفیت دانه‌ها (Wang et al., 2021) منجر شود. نعمت‌زاده^{۵۳} و همکاران (Nematzadeh et al., 2020) رقم جدید برنج روشن (معطر، زودرس، پاکوتاه و با عملکرد بالا) را از طریق پرتوتابی رقم نعمت با استفاده از اشعه گاما، معرفی نمودند. ساو^{۵۴} و همکاران (Sahu et al., 2022) با مطالعه اصلاح موتاسیونی حاصل از پرتوتابی اشعه گاما با دز ۳۰۰ گری بیان کردند ژنوتیپ‌های موتانت، عملکرد بیشتری را نسبت به والدین خود داشته و از طرفی خصوصیات کیفی دانه تا حد زیادی حفظ شده است. اولین گزارش‌ها از پاکوتاهی برنج به نیمه اول قرن نوزدهم توسط طبیعت‌شناس ژاپنی ایوازاکی برمی‌گردد (Iwasaki, 1915). از آن زمان به بعد، پیشنهاد استفاده از منابع مختلف پاکوتاهی مطرح شد اما همچنان مورد بهره‌برداری جدی قرار نگرفته است (Ferrero-Serrano et al., 2019). کشف ژن *sd1*^{۵۵} (آل موتانت ارتفاع گیاه) در واریته چینی دی-جیو-ووچین^{۵۶} که جهش‌یافته خودبه‌خودی واریته ووچین^{۵۷} بود (Gaur et al., 2020) و معرفی ارقام پاکوتاه در برنج و گندم، منجر به انقلاب سبز در کشاورزی شد. پاکوتاهی، صفت زراعی ارزشمند در غلات است که باعث کاهش ورس و افزایش شاخص برداشت می‌شود. جهش خنثی^{۵۸} در ژن بیوسنتز جیبرلیک اسید سبب ایجاد پاکوتاهی در برنج شده است (Liu et al., 2018). اسیدهای جیبرلیک هورمون‌های گیاهی هستند که باعث افزایش میان‌گره‌ها و طول ساقه، تمایز برگ، توسعه گرده و گل و جوانه‌زنی دانه می‌شوند. (Wiemann et al. 2013; Ayano et al. 2014). امروزه ثابت شده که علاوه بر جیبرلیک اسید، براسینوستروئیدها و استریگولاکتون‌ها نیز ارتفاع گیاه را کنترل می‌کنند (Ferrero-Serrano et al., 2019). تلاش برای یافتن ژن‌های جدید به شناسایی ۶۲ ژن پاکوتاهی و ۱۵ ژن نیمه‌پاکوتاه در برنج منجر شد (Gaur et al., 2020). هدف از این تحقیق، ایجاد تنوع ژنتیکی در رقم سپیدرود از طریق پرتوتابی با اشعه گاما بود.

۲ - روش کار:

به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی در سال ۱۳۸۹ با همکاری سازمان انرژی اتمی کشور، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پرتوتابی اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ با دز ۲۰۰ گری روی بذر رقم سپیدرود انجام شد. بلافاصله بعد از پرتوتابی، بذور موتانت و والدی در خزانه مزرعه پژوهشی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فروردین ماه ۱۴۰۳ کشت شدند. و سپس انتقال نشاها به زمین اصلی صورت گرفت. جهت ارزیابی نسل اول (M_1) در کنار رقم موتانت، والد غیر موتانت نیز کشت شد. برای استفاده از حداکثر تنوع، بذور بوته‌های M_1 برداشت شد و در ارزیابی جمعیت‌های نسل دوم (M_2)، بوته‌ای با ارتفاع بسیار کوتاه مشاهده و جهت خالص‌سازی طی چند سال از انتخاب تک

^{۵۳} Nematzadeh

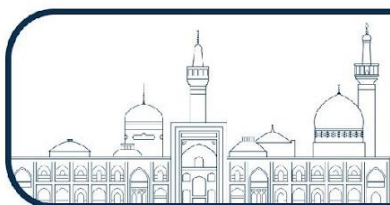
^{۵۴} Sahu

^{۵۵} semi-dwarf gene or *sd1* gene (mutant allele of plant height)

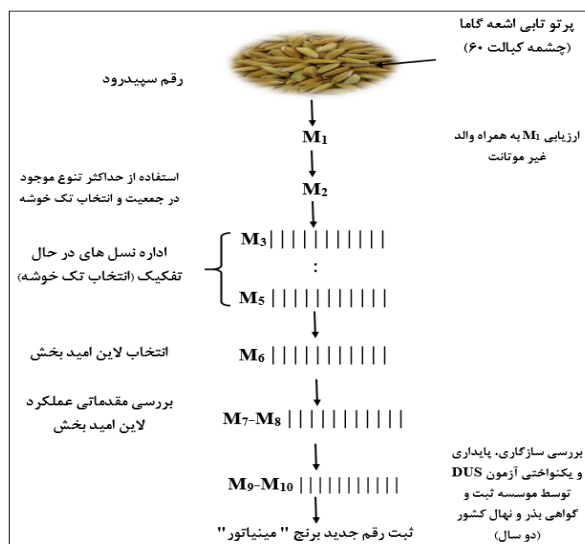
^{۵۶} 'Dec-geo-woogen' (DGWG)

^{۵۷} Woo gen

^{۵۸} null mutation



خوشه استفاده گردید. بعد از چندین نسل خالص‌سازی، به همراه رقم شاهد سپیدرود (شکل ۱). برخی از خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، طول خوشه و عملکرد اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت توصیفی انجام شد.



شکل ۱. شمای کلی اصلاح موتاسیونی (پرتوتابی با اشعه گاما) جهت معرفی رقم جدید برنج "مینیاتور"

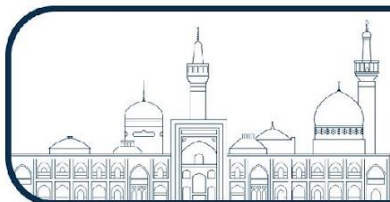
۳ - نتایج:

پس از بذریاشی و سبز شدن بذور موتانت در خزانه شاهد برخی بوته‌های غیر طبیعی به رنگ سفید (بوته‌های آلبینو) بوده که نشان دهنده تاثیر پرتوتابی اشعه گاما بوده است. (شکل ۲).



شکل ۲. بوته‌های آلبینو در خزانه و تنوع در نسل‌های اولیه

در نسل M_2 شاهد تنوع ژنتیکی متنوعی در جمعیت نظیر بوته‌هایی بدون ریشک و واجد ریشک، صفت ارتفاع، طول خوشه و ... و همچنین شاهد بوته‌ای با ارتفاع بسیار کوتاه بوده که برداشت و در نسل‌های بعدی با درصدهای مختلفی از تفرق، حفظ شد (شکل ۳).



شکل ۳. تفارق مشاهده شده به لحاظ صفت ارتفاع در جمعیت موتانت

مقایسه لاین موتانت مورد تحقیق با رقم سپیدرود (والد غیرموتانت) نشان داد که طول دوره رسیدگی بیشتر و دارای ۳۹ سانتی‌متر ارتفاع بوته بوده که نسبت به والد خود ۶۱ درصد کاهش ارتفاع دارد از نظر طول خوشه (۱۳/۵)، تعداد پنجه (۷۰ عدد) بوده است. ارتفاع بوته و تعداد پنجه نشان‌دهنده حضور اکثر ژن‌های پاکوتاهی و پنجه‌زنی در این رقم می‌باشد که می‌توان آنرا به عنوان منبع ژنتیکی برای انتقال پاکوتاهی و افزایش پنجه به ارقام پابلند کیفی و بومی کشور از طریق تلاقی کلاسیک و یا سایر روش‌ها مورد بهره‌برداری قرار داد. با توجه به زیست‌توده این رقم، از نظر عملکرد دانه دارای حدود ۲/۲ تن در هکتار عملکرد شلتوک می‌باشد.

جدول ۱. مقایسه موتانت جدید "مینیاتور" با رقم سپیدرود (والد غیرموتانت)

مینیاتور	سپیدرود	خصوصیات رقم
۱۳۲	۱۲۸	طول دوره رویش (روز)
۳۹	۱۰۰	متوسط ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
۱۳/۵	۲۸	متوسط طول خوشه (سانتی‌متر)
۷۰	۱۷	تعداد پنجه
۲۷	۱۳۵	متوسط تعداد دانه پر
۱۰/۵	۱۰/۹	طول دانه پس از پخت (میلی‌متر)
۶/۲	۷/۲	طول دانه برنج سفید (میلی‌متر)
۲/۲ - ۲/۳	۶-۶/۵	عملکرد شلتوک (تن در هکتار)

لاین موتانت مورد نظر در سال ۱۴۰۰ جهت ثبت به موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال کشور به اظهارنامه ۵۳/۳۹۵ مورخ ۱۴۰۰/۰۷/۰۴ ارسال شد و پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان نیز به عنوان یکی از پایلوت‌های آزمون تمایز، یکنواختی و پایداری (DUS) در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ از طرف موسسه در نظر گرفته شده بود و هم‌اکنون ثبت نهائی آن در حال انجام می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. آزمون تمایز، یکنواختی و پایداری برای رقم جدید مینیاتور

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد لاین مورد نظر به عنوان پاکوتاه‌ترین و پرپنجه‌ترین برنج کشور مطرح که به نام رقم مینیاتور نامگذاری گردید. می‌توان از این رقم به عنوان یک منبع ژنتیکی جدید پاکوتاهی در کارهای اصلاحی استفاده نمود در ضمن می‌توان آن را به عنوان برنج تزئینی نیز معرفی کرد.

۴ - بحث و نتیجه‌گیری:

این تحقیق به بررسی خصوصیات تغییر یافته برنج رقم سپیدرود حاصل از پرتوتابی با اشعه گاما از چشمه کبالت ۶۰ با دز ۲۰۰ گری پرداخته است و نتایج آن نشان‌دهنده تنوع و پتانسیل بالای موتاسیون می‌باشد. مطالعات نشان داده است پرتوتابی با اشعه گاما می‌تواند به تغییرات ژنتیکی در برنج منجر شود که به نوبه خود روی صفات زراعی تأثیر می‌گذارد (Chaudhary et al., ۲۰۲۲; Sahu et al., ۲۰۱۹). نتایج نشان داد که پرتوتابی سبب ایجاد تنوع ژنتیکی بالایی در صفات زراعی شده و می‌توان با بکارگیری انرژی هسته‌ای به لاین‌های پاکوتاه دست یافت.

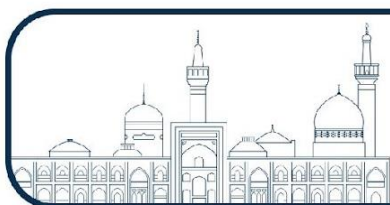
۵ - مراجع:

Ayano, M., Kani, T., Kojima, M., Sakakibara, H., Kitaoka, T., Kuroha, T., ... & Ashikari, M. (۲۰۱۴). Gibberellin biosynthesis and signal transduction is essential for internode elongation in deepwater rice. *Plant, Cell & Environment*, ۳۷(۱۰), ۲۳۱۳-۲۳۲۴.

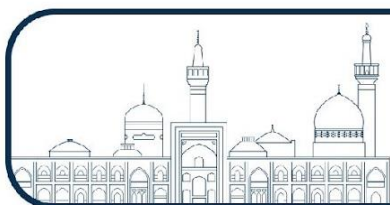
Chaudhary, J., Deshmukh, R., & Sonah, H. (۲۰۱۹). Mutagenesis approaches and their role in crop improvement. *Plants*, ۸(۱۱), ۴۶۷.

Ferrero-Serrano, Á., Cantos, C., & Assmann, S. M. (۲۰۱۹). The role of dwarfing traits in historical and modern agriculture with a focus on rice. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, ۱۱(۱۱), a۰۳۴۶۴۵.

Gaur, V. S., Channappa, G., Chakraborti, M., Sharma, T. R., & Mondal, T. K. (۲۰۲۰). 'Green revolution' dwarf gene *sd1* of rice has gigantic impact.



- Iwasaki, K. (۱۹۱۵). Honzō zufu (Illustrated manual of plants). Republished starting in.
- Jambhulkar, S. J., Bakshi, S., Rai, A., Bhujbal, S., Prakash, J., Sahni, S., & Prasad, B. D. (۲۰۲۴). Development of Disease Resistant Crop Plants Through Induced Mutagenesis. In *New Advances in Crop Disease Management* (pp. ۱۴۵-۱۹۸). Apple Academic Press.
- Liu, F., Wang, P., Zhang, X., Li, X., Yan, X., Fu, D., & Wu, G. (۲۰۱۸). The genetic and molecular basis of crop height based on a rice model. *Planta*, ۲۴۷, ۱-۲۶.
- Nematzadeh, G. A., Oladi, M., Afkhami Ghadi, A., Gholizadeh Ghara, A., Bagheri, F., Aghajani, M., ... & Esfandiyari, A. (۲۰۲۰). Roshan, a new released mutant aromatic rice variety with high yield and early maturity. *Journal of Plant Molecular Breeding*, ۸(۱), ۵۷-۶۷.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A., ... & Usman, M. (۲۰۱۶). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, ۳۰(۱), ۱-۱۶.
- Ramchander, S., MT, A. P. L., Khan, Y. J., Souframanien, J., & Arumugam Pillai, M. (۲۰۲۴). Molecular and physiological characterization of early semi-dwarf mutants of rice and localization of SNP variants in Sd1 locus generated through gamma radiation. *International Journal of Radiation Biology*, ۱۰۰(۴), ۶۵۰-۶۶۲.
- Sahu, P. K., Sao, R., Choudhary, D. K., Thada, A., Kumar, V., Mondal, S., ... & Sharma, D. (۲۰۲۲). Advancement in the breeding, biotechnological and genomic tools towards development of durable genetic resistance against the rice blast disease. *Plants*, ۱۱(۱۸), ۲۳۸۶.
- Wang, C. X., Zhu, C. C., Lu, C. Y., Yang, Y., Li, Q. F., Liu, Q. Q., & Zhang, C. Q. (۲۰۲۱). Grain quality and starch physicochemical properties of chalky rice mutant. *Agronomy*, ۱۱(۸), ۱۵۷۵.
- Wiemann, P., Sieber, C. M. K., von Barga, K. W., Studt, L., & Niehaus, E. M. (۲۰۱۳). Deciphering the Cryptic Genome: Genome-wide Analyses of the Rice. *ppat*. ۱۰۰۳۴۷۵.



پرتودهی به وسیله‌ی بیم الکترون به منظور افزایش ماندگاری پسته‌ی تر و حفظ کیفیت ظاهری

پسته‌ی آن (کد مقاله : ۱۳۶۶)

وخشور بهرام - مسعودی محمدحسین - جمهوری ابوالفضل - زارعیان سمانه

سازمان انرژی اتمی ایران، شرکت توسعه کاربرد پرتوها

چکیده:

حفظ کیفیت ظاهری پوست تر پسته و کاهش آلودگی باکتریایی و قارچی آن به وسیله پرتودهی هدف این پژوهش بود. در این تحقیق پسته‌ی تازه به همراه پوسته نرم خارجی آن که رنگ بنفش دارد، در معرض پرتوهای الکترونی ۱۰ Mev قرار گرفت تا با کاهش بار آلودگی قارچی و باکتریایی و همچنین کاهش تنفس سلولی طول مدت انبارمانی آن افزایش یافته و کیفیت پوسته تر آن حفظ گردد. نمونه‌ها تحت پرتودهی با دزهای ۰/۵ و ۱ و ۲ و ۳ و ۴ kGy قرار گرفتند. پرتودهی با دزهای بالاتر نظیر ۲ و ۳ و ۴ kGy با وجود کاهش آلودگی باکتری و کپک و مخمر موجب تغییرات محسوس و نامطلوب در طعم پسته و تخریب پوسته آن شد. پسته‌های پرتودهی شده با دزهای ۰/۵ و ۱ kGy خواص ظاهری و طعم و بوی مطلوب را حفظ کردند، ضمن اینکه پرتودهی با دز ۱ kGy آلودگی کپک‌ها را از ۲۷۰۰ cfu/gr به کمتر از ۱۰ cfu/gr و آلودگی مخمرها را از ۵۷۰۰ cfu/gr به کمتر از ۱۰ cfu/gr و آلودگی باکتریایی را از ۱۰۰۰۰ cfu/gr به ۲۰ cfu/gr کاهش داد.

کلمات کلیدی: آلودگی باکتریایی کپک و مخمر، الکترون بیم، انبارمانی، پرتودهی، پسته‌ی تر

Electron beam irradiation to increase the shelf life of fresh pistachios and maintain the appearance quality of their shells

Vakhshour, Bahram^{۱*}, Masudi, Mohammadhosain^۱, Jomhouri, Abolfazl^۱
Zaareian, Samaneh^۱

Central Iran Research Complex, Iran Radiation Application Development Company, Atomic
Energy Organization of Iran. Yazd, Iran

Abstract:

The aim of this research was to maintain the quality of the fresh skin of pistachios and reduce their bacterial and fungal contamination by electron beam irradiation. In this study, fresh pistachios, along with their soft outer shell, which is purple in color, were exposed to ۱۰ Mev electron beams to reduce the bioburden of fungal and bacterial contamination and also reduce cellular respiration, thereby increasing their storage life and maintaining the quality of their fresh shell. The samples were irradiated with doses of ۰/۵, ۱, ۲, ۳, and ۴ kGy. Irradiation with higher doses such as ۲, ۳, and ۴ kGy, despite reducing bacterial, mold, and yeast contamination, caused noticeable and undesirable changes in the taste of pistachios and destruction of their shells. Pistachios irradiated with doses of ۰/۵ and ۱ kGy maintained their desired appearance, taste, and odor properties, while irradiation with a dose of ۱ kGy reduced mold contamination from ۲۷۰۰ cfu/gr to less than ۱۰ cfu/gr, yeast contamination from ۵۷۰۰ cfu/gr to less than ۱۰ cfu/gr, and bacterial contamination from ۱۰۰۰۰ cfu/gr to ۲۰ cfu/gr.

Key words: bacterial mold and yeast contamination, electron beam, fresh pistachios, irradiation, storage



۱- مقدمه:

پسته درختی است که خاستگاه آن خاورمیانه و آسیای میانه است. ۱۱ گونه متعلق به جنس *Pistacia* وجود دارد، گونه‌ی پسته‌ای که برای مغزهای خوراکی آن کاشته می‌شود *Pistacia vera* است و بومی مناطق مرتفع کویری ایران، افغانستان و آسیای مرکزی است [۱]. ایران طبق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی جهانی با تولید ۳۰۷۸۶۶ تن بعد از آمریکا با تولید ۶۷۵۸۵۰ تن در سال؛ دومین تولید کننده‌ی پسته‌ی جهان در سال ۲۰۲۳ بوده است [۲]. آلودگی پسته به آفلاتوکسین یک چالش بهداشتی است که بزرگترین محصول صادراتی غیر نفتی کشور را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. این سم بالقوه سرطان‌زا توسط برخی گونه‌های قارچ *Aspergillus* به ویژه *Aspergillus flavus* تحت شرایط ویژه در طول مدت تشکیل میوه در مرحله‌ی برداشت حمل و نقل و انبارداری ممکن است تولید شود. عامل کلیدی در بروز آلودگی پسته به آفلاتوکسین قرار گرفتن مغز پسته در معرض آلودگی قارچی در باغ است [۳]. آفلاتوکسین از دسته مایکوتوکسینهاست که در دسته‌ی متابولیت‌های ثانویه‌ی قارچی محسوب می‌شوند و بر طبق گزارش‌های سازمان جهانی خواربار (FAO) حدود ۲۵٪ محصولات کشاورزی را در جهان در حین تولید و انبارداری آلوده می‌سازد [۴]. در حال حاضر بیشترین حد مجاز برای آفلاتوکسین B_۱ ، ۲۰ ng/g و برای کل آفلاتوکسین ها تا ۳۵ ng/g می باشد. اداره‌ی استاندارد ایران سطح آفلاتوکسین B_۱ و کل آفلاتوکسین ها را در پسته به ترتیب ۵-۱۵ ng/g قابل قبول می‌داند.

تکنیک‌های جداسازی مکانیکی غیر فعال سازی سم به وسیله‌ی حرارت و نیز پرتوهای روش‌هایی هستند که برای کنترل رشد قارچ در پسته در هنگام انبارداری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پرتوهای یونیزان یکی از موثرترین روش‌ها برای رفع آلودگی قارچی پسته می‌باشد و در عین حال روشی دوست‌دار محیط زیست است [۵].

به طور کلی پرتوهای مواد غذایی استفاده از تابش‌های یونیزه کننده برای کاهش جمعیت یا برای جلوگیری از رشد ارگانیسم‌های میکروبی و بیولوژیکی نامطلوب در مواد غذایی را توصیف می‌کند. ذرات اولیه شامل تابش‌های یون‌ساز مثل الکترون‌ها، اشعه ایکس، اشعه گاما و غیره به قدر کافی پراثری می‌باشند به طوری که قابلیت بیرون راندن الکترون‌ها از اتم‌ها و مولکول‌ها را دارند در نتیجه باعث شکسته شدن پیوندهای شیمیایی می‌شوند. اثرات زیستی ناشی از تابش‌های یون‌ساز یا به علت شکسته شدن مولکول‌های DNA در هسته سلول‌ها (اثرات اولیه) و یا به علت تولید و حمله‌ی رادیکال‌های آزاد در پی تجزیه شیمیایی تابشی آب می‌باشد. در واقع حرارت دادن، خشک کردن و پختن مواد غذایی ممکن است سبب تخریب بالاتری از مواد غذایی گردد [۶]. در این میان روش پرتوهای با باریکه الکترون از فناوری‌های اکسیدکننده‌ی پیشرفته محسوب می‌شود که در مقایسه با روش‌های دیگر از کارایی بیشتری برخوردار است.

استفاده از پرتوهای یونیزان برای کنترل آلودگی قارچی پسته در نقاط مختلف جهان انجام شده است که میتوان به چند مورد آن اشاره کرد.

بختیاری و همکاران از تابش‌های UV برای حذف *Aspergillus flavus* و در پی آن کاهش سطح آفلاتوکسین استفاده کردند، که بهترین نتیجه حاصل استفاده از لامپ‌های UV-C در فاصله ۱۰ cm و به مدت ۳۰ دقیقه بود. اما این تابش در عین حال باعث کاهش اسید لینولنیک در پسته‌های پرتو دیده نسبت به شاهد شد [۷]. مکسیس^۹ و همکارانش پسته‌ی خشک را با دزهای مختلف تا ۷ کیلوگری پرتوهای پرتو دهی کردند. که در این تحقیق اسیدهای چرب اشباع افزایش یافته و اسیدهای چرب غیراشباع کاهش پیدا کردند و همچنین با افزایش دز تغییرات ظاهری همچون رنگ و طعم بیشتر شد و نتیجه این‌که حداکثر

^۹ Mexis



دز دریافتی با کمترین تغییرات فیزیکوشیمیایی در پسته ۳ کیلو گری تعیین شد^[۸]. پسته حاوی مقدار زیادی پروتئین، چربی، اسیدچرب، فیبر، ویتامین و مواد معدنی است. قسمت عمده ی اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در آن شامل اولئیک اسید (بین ۵۱/۶ تا ۸۱/۱۷ درصد) و لینولئیک اسید (بین ۱۵ تا ۳۰ درصد) و همچنین اسید چرب غیر اشباع استئاریک اسید (بین ۰/۸ تا ۳/۵ درصد) می باشد^[۹] [۱۰] و این محتوای اسیدهای چرب موجود در پسته چالش اساسی در هر گونه روش برای حذف آلودگی قارچی و یا کاهش سموم قارچی می باشد، زیرا هر گونه روشی که باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع و تبدیل آن به اسید چرب اشباع گردد در طعم و بوی پسته تأثیر خواهد گذاشت. پرتودهی در عین حال با تأثیر بر DNA میتوکندری سلول گیاهی می تواند تنفس سلولی را مختل کند یا آن را با مشکل مواجه کرده و باعث تأخیر در رسیدن میوه شود. حسینی و همکاران به کمک پرتودهی پسته‌های تازه به وسیله لامپ‌های تولیدکننده UV-C و بسته بندی فوری پسته‌ها در کیسه‌های منفذدار پلی اتیلن ترفتالات و نگهداری در یخچال توانستند از کاهش وزن نمونه‌های پرتودهی شده نسبت به نمونه‌های شاهد پس از ۳۵ روز جلوگیری کنند^[۱۱]. می توان از انواع روش‌ها همچون استفاده از تیمار اوزون، پلاسمای سرد، پرتودهی گاما، پرتودهی UV برای کاهش بار آلودگی پسته به همراه بسته بندی مناسب برای افزایش طول مدت انبارداری پسته تر استفاده کرد^[۱۲]. در تحقیق پیش رو به منظور کاهش آلودگی باکتریایی و قارچی پسته و همچنین کاهش تنفس سلولی و به دنبال آن افزایش ماندگاری پسته تازه از پرتودهی باریکه الکترون استفاده شد.

۲- روش کار:

۲-۱ جمع آوری نمونه:

در ابتدا نمونه‌های مختلف از پسته‌های تر واریته‌ی احمدآقایی که محصول امسال بودند جمع آوری شد.

۲-۲ کشت میکروبی:

آزمون‌های میکروبی نمونه های پسته، قبل و بعد از پرتودهی به روش زیر انجام شد. برای ساخت سوسپانسیون اولیه (هر نمونه از ۱۰ گرم پسته تازه کاملاً خرد شده در ۱۰۰ سی سی محلول آب پیتونه به صورت جداگانه تهیه شد) و همچنین رقت های اعشاری بعدی از آب پیتونه بافوری^{۶۰}، ساخت کمپانی کیولب^{۶۱} با حل کردن ۲۵/۵ گرم از پودر در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر و برای ساخت رقت های اعشاری از لوله های حاوی ۹ سی سی از همین محلول استفاده شد.

تمام محلول های رقیق کننده در دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر با اتوکلاو استریل شد. برای شمارش باکتری های مزوفیل هوازی از محیط کشت پلیت کانت آگار^{۶۲} شرکت کیولب استفاده شد. برای ساخت آن ۲۳/۵ گرم از آن در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر حل شد و برای شمارش قارچ‌ها کپک و مخمر از حل کردن ۶۵ گرم در ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر محیط کشت سابورو دکستروز آگار^{۶۳} ساخت شرکت لیوفیلکم^{۶۴} استفاده شد.

هر دو این محیط کشت ها در دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۲ اتمسفر استریل شد.

برای کشت نمونه ها از روش کشت آمیخته استفاده شد.

برای رشد و شمارش باکتری‌ها از انکوباتور با دمای ۳۷ درجه به مدت ۳ روز و برای کشت و رشد کپک و مخمرها از انکوباتور یخچال‌دار با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد به مدت ۳ تا ۵ روز استفاده شد.

۲-۳ آزمونهای ارگانولپتیکی

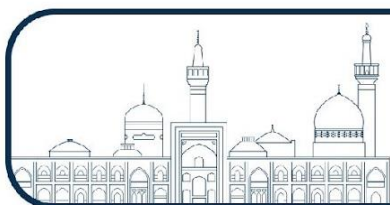
^{۶۰} Buffered Peptone Water

^{۶۱} QUELAB

^{۶۲} Plate count AGAR

^{۶۳} Sabouraud dextrose Agar

^{۶۴} Liofilchem



آزمون‌های ارگانولپتیکی یک غذا شامل دیدن، بوییدن، چشیدن و لمس کردن می‌شود. غذاها بر طبق خواص ارگانولپتیکی دوست داشته می‌شوند و یا رد می‌شوند.

نمونه‌های پسته قبل و بعد از پرتودهی به صورت مجهول توسط داوطلبان از نظر بو، مزه، بافت و شکل ظاهری، نرمی و سفتی مغز و پوسته بنفش رنگ خارجی مورد آزمون قرار گرفت.

۴-۲ پرتودهی

پرتودهی نمونه‌ها توسط شتاب‌دهنده‌ی الکترونی رودترون TT^{200} مرکز پرتو فرآیند ایران مرکزی که باریکه الکترون با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت تولید می‌نماید انجام گرفت. [۱۳] پسته‌ها در بسته‌های پلاستیکی با ارتفاع بسیار کم (یک ردیف پسته) با دزهای ۱ تا ۴ کیلوگری پرتودهی شد. مقدار دز دریافتی نمونه‌ها توسط فیلم‌های مخصوص دزیمتری CTA که روی بسته‌ها چسبانده شده بود با روش اسپکتروسکوپی ارزیابی شد.

۵-۲ آنالیز آماری

از هر نمونه ۴ تکرار تهیه شد و قبل و بعد از پرتودهی مورد آزمون‌های میکروبی و ارگانولپتیکی قرار گرفت. میانگین حسابی تعداد باکتریها و کپک و مخمرها برای رسم نمودار استفاده شد و برای خواص اورگانولپتیکی (حسی شامل طعم و بو) ظاهر نمونه‌ها (ها) توسط داوطلبین از ۱ تا ۱۰ امتیاز داده شد.

۳- نتایج:

نتیجه آزمون میکروبی نمونه‌ها پسته قبل و بعد از پرتودهی بلافاصله پس از پرتودهی و همچنین ۲۱ روز پس از پرتودهی در نمودار شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است که به طور واضح نشان‌گر تأثیر مثبت پرتودهی در کاهش آلودگی باکتریایی و قارچی (کپک و مخمر) نمونه‌ها می‌باشد.

نمودار شماره ۱: آلودگی باکتریایی نمونه‌های پسته قبل و بعد از پرتودهی

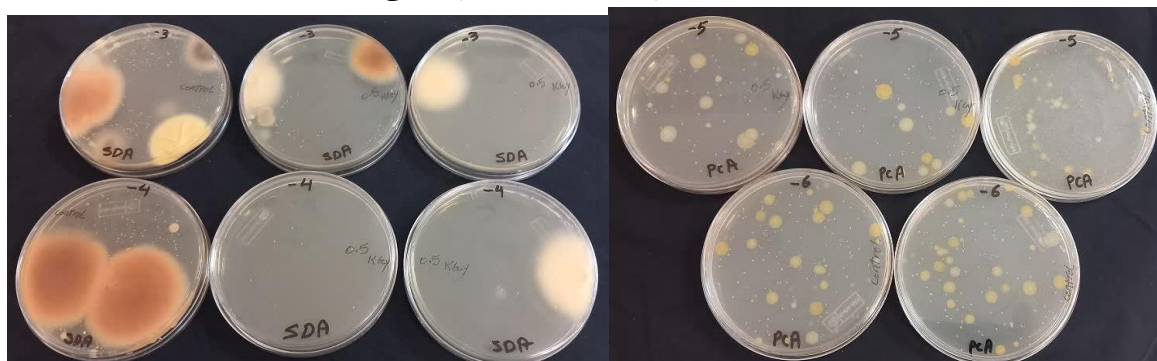
تعداد باکتری، کپک و مخمر بلافاصله بعد از پرتودهی



نمودار شماره ۲: آلودگی قارچی نمونه‌های پسته قبل و بعد از پرتودهی

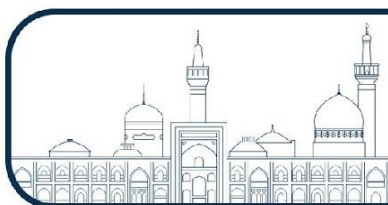


شکل ۱: نمونه پسته ۲۱ روز بعد از پرتودهی

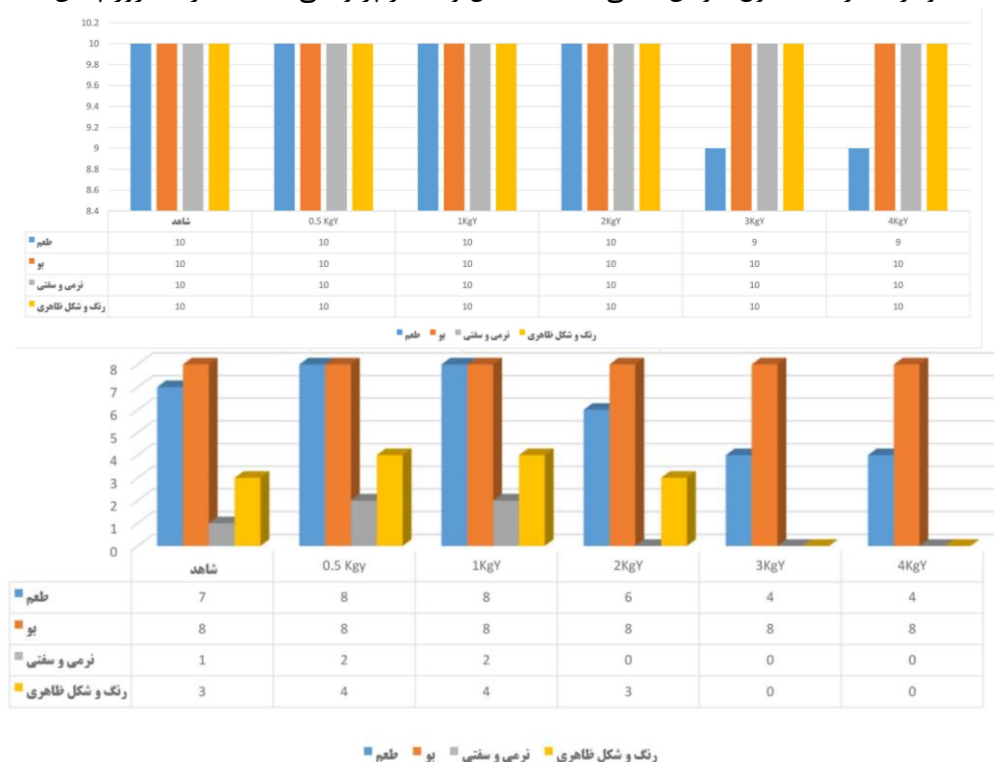


شکل ۲: نمونه پلیت های کشت شده

همچنین نتایج آزمون ارگانولپتیکی در نمودار شماره ۳ نشان داده شده است که با افزایش دز، تغییر در طعم و شکل ظاهری نمونه‌ها به طور آشکار مشخص است.



نمودار شماره ۳: جدول خواص حسی؛ بلافاصله قبل و بعد از پرتودهی (بالا) بعد از ۲۱ روز (پایین)

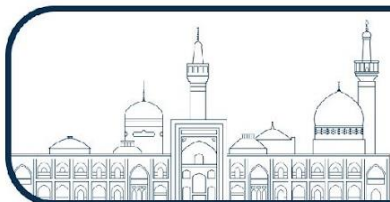


۴- بحث و نتیجه گیری:

با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت برای کاهش بار آلودگی باکتریایی و قارچی (کپک ها و مخمرها) پسته ها حداکثر دز ۱ کیلوگری کافیهست . در عین حال نمونه های پسته تا دز ۱ کیلوگری خواص حسی مطلوب خود را حفظ می کنند و دز ۲ و ۳ و ۴ کیلوگری با اینکه به طور موثرتری آلودگی باکتریایی و کپک و مخمرهای نمونه ها را کاهش می دهند اما به طور قابل توجهی باعث تخریب پوسته ی خارجی بنفش رنگ پسته ها می شوند. به علت محتوای بالای آب درون سلولی پوسته ی تازه؛ پرتودهی باعث تخریب دیواره سلولی و به دنبال آن تخریب کل سلول بر اثر پلاسمولیز می شود. البته قابل ذکر است با توجه به نتایج حاصل از بررسی خواص ارگانولپتیکی؛ به علت بسته بندی آزمایشی و نسبتاً غیر مناسب پسته ها و همچنین تکان خوردن و تماس پسته ها به هم در طول پرتودهی و زمان نگهداری در یخچال، تأثیر منفی در حفظ شکل ظاهری کلیه ی نمونه ها داشت که لازم است برای اطمینان بیشتر، نمونه ها در بسته بندی های وکیوم شده و مناسب [۱۴] با دز حداکثر ۱ kGy پرتودهی شده و با نگهداری در یخچال تأثیر این دز در حفظ کیفیت پسته ی تر تأیید شود که این مورد با توجه به سپری شدن فصل برداشت پسته ی تر در این تحقیق انجام نشد.

۵- مراجع:

- [۱] M. G. AL-Saghir and D. M. Porter, "Taxonomic revision of the genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae)," *Am. J. Plant Sci.*, vol. ۳, no. January, pp. ۱۲-۳۲, ۲۰۱۲.
- [۲] "FAOSTAT." Accessed: Jan. ۲۷, ۲۰۲۰. [Online]. Available: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- [۳] M. Moradi and S. R. Fani, "Review of Aflatoxin in Pistachio and its Control Strategies," *Plant Pathol. Sci.*, vol. ۷, no. ۲, pp. ۲۲-۳۳, ۲۰۱۸, doi:



- ۱۰,۲۹۲۵۲/pps.۷,۲,۲۲.
- [۴] S. K. Pankaj, H. Shi, and K. M. Keener, "A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food," Jan. ۰۱, ۲۰۱۸, *Elsevier Ltd.* doi: ۱۰,۱۰۱۶/j.tifs.۲۰۱۷,۱۱,۰۰۷.
- [۵] A. Mahroudi, H. Eslami, M. Mehrabpour, and M. Dolatabadi, "Azam Mahroudi et al./ Aflatoxin Contamination of Pistachio and the Problems Aflatoxin Contamination of Pistachio and the Problems and Strategies of Decontamination; A Review Study," *Pist. Heal. J.*, vol. ۳, no. ۴, pp. ۲۱-۳۲, ۲۰۲۰, doi: ۱۰,۲۲۱۲۳/PHJ.۲۰۲۱,۲۷۵۲۵۷,۱۰۸۵.
- [۶] R. B. Miller, *Electronic irradiation of foods: an introduction to the technology.* Springer Science & Business Media, ۲۰۰۵.
- [۷] F. Bakhtiary, H. Maghsoudi, H.-R. Akhavan, and S. Khorasani, "Effect of UV-C Irradiation on Fatty Acid Profile of Pistachio Kernels and Prevention of Aflatoxin Production Fatemeh Bakhtiary et al./ Pistachio UV-C Irradiation," *Pist. Aflatoxin Pist. Heal. J.*, vol. ۵, no. ۳, pp. ۵۰-۶۱, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۲۲۱۲۳/PHJ.۲۰۲۴,۳۸۳۹۱۱,۱۱۴۶.
- [۸] S. F. Mexis and M. G. Kontominas, "Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and sensory properties of raw shelled peanuts (*Arachis hypogaea* L.) and pistachio nuts (*Pistacia vera* L.)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. ۸۹, no. ۵, pp. ۸۶۷-۸۷۵, ۲۰۰۹, doi: ۱۰,۱۰۰۲/jsfa.۳۵۲۶.
- [۹] P. Fantozzi, S. F. Mary Traynor, and A. Chiriotti Chiriotti Editori sp, "ITALIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE (RIVISTA ITALIANA DI SCIENZA DEGLI ALIMENTI)," ۲۰۰۳. [Online]. Available: www.chiriottieditori.it
- [۱۰] L. N. Gündüz, M. Kazan, H. Topçu, and S. Kafkas, "Fatty acids composition in Pistachio," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Jan. ۲۰۲۴. doi: ۱۰,۱۰۵۱/bioconf/۲۰۲۴۸۵۰۱۰۰۸.
- [۱۱] F. S. Hosseini, H. R. Akhavan, H. Maghsoudi, R. Hajimohammadi-Farimani, and M. Balvardi, "Effects of a rotational UV-C irradiation system and packaging on the shelf life of fresh pistachio," *J. Sci. Food Agric.*, vol. ۹۹, no. ۱۱, pp. ۵۲۲۹-۵۲۳۸, ۲۰۱۹, doi: ۱۰,۱۰۰۲/jsfa.۹۷۶۳.
- [۱۲] E. Arjeh, A. Masoumi, M. Barzegar, and H. AKHAVAN, "Strategies to reduce microbial contaminations and increase the shelf life of pistachio fruit: A review," ۲۰۲۱.
- [۱۳] Behjat Abbas, khalili bagher, Mozaheb seyed alireza, vakhshoor bahram, zareshahi hassan, and fallahzadeh mahmoud, "Advanced oxidation treatment of drinking water and wastewater using high-energy electron beam irradiation," *water and waste water*, vol. ۱۸, no. ۶۱, pp. ۶۰-۶۸, ۲۰۰۷.
- [۱۴] I. Ozturk, O. Sagdic, H. Yalcin, T. D. Capar, and M. H. Asyali, "The effects of packaging type on the quality characteristics of fresh raw pistachios (*Pistacia vera* L.) during the storage," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. ۶۵, pp. ۴۵۷-۴۶۳, ۲۰۱۶.



کاهش شمارش کل میکروبی آب انار با پرتودهی به وسیله‌ی بیم الکترونی به منظور کاهش هزینه نگهداری (کد مقاله : ۱۴۰۱)

وخشور، بهرام - مسعودی، محمدحسین^۱ - زارع‌شاهی، حسن^۱ - زارعیان، سمانه^۱
۱. سازمان انرژی اتمی ایران، شرکت توسعه کاربرد پرتوها، مجتمع پرتوفرآیند ایران مرکزی

چکیده:

در این تحقیق از دو منبع آب انار تهیه شد. اولی دستگاه صنعتی که آب انار را از له کردن میوه کامل به دست آمد و دیگری آب انار تهیه شده از انارهایی که به مدت ۵ دقیقه در آب گرم با دمای 60°C نگهداری شده و سپس با دست دان شد. هر دو نمونه با دزهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ kGy با باریکه ی الکترون 10 MeV پرتو دهی شد و سپس مورد آزمون شمارش میکروبی و تست های ارگانولپتیکی قرار گرفت. پرتو دهی نمونه های تهیه شده از میوه ی کامل به علت بار آلودگی میکروبی اولیه ی بالا (باکتری cfu/ml : ۹۴۵۰۰ و قارچ: 137000 cfu/ml) کیفیت مطلوب خود را ۲ هفته پس از پرتو دهی در دمای ۴ درجه سانتی گراد حفظ نکردند اما نمونه های با پوست تیمار شده با آلودگی اولیه (باکتری cfu/ml : ۲۶۰۰ و قارچ: 7000 cfu/ml) پس از پرتو دهی در دزهای ۳ و ۴ kGy و گذشت ۱۴ روز افزایش آلودگی مشاهده نشد اما کیفیت رنگ، بو و طعم آنها قابل قبول نبود اما آب انار های پرتو دهی شده با دز ۲ و ۳ kGy توانستند کیفیت مطلوب خود را حفظ کنند.

کلمات کلیدی: آب انار، پرتو دهی، الکترون بیم، آلودگی باکتریایی، آلودگی قارچی، انبارمانی

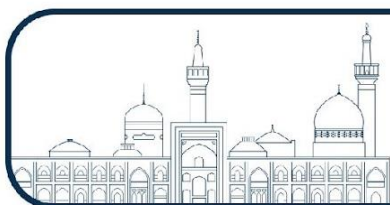
Reducing the total microbial count of pomegranate juice by electron beam irradiation to reduce storage costs

Vakhshour, Bahram^{۱*}, Masudi, Mohammadhosain^۱, zareshahi, hasan^۱
Zaareian, Samaneh^۱

۱. Central Iran Research Complex, Iran Radiation Application Development
Company, Atomic Energy Organization of Iran. Yazd, Iran

Abstract:

In this study, pomegranate juice was prepared from two sources. The first was an industrial machine that produced pomegranate juice by crushing the whole fruit, and the second was pomegranate juice prepared from pomegranates that were kept in hot water at 60°C for 5 minutes and then crushed by hand. Both samples were irradiated with a 10 MeV electron beam at doses of ۱, ۲, ۳, and ۴ kGy , and then subjected to total microbial count and organoleptic tests. Irradiation of samples prepared from whole fruit due to high initial microbial contamination load (bacteria: 94500 cfu/ml and fungi: 137000 cfu/ml) did not maintain their desired quality ۲ weeks after irradiation at 4°C , but samples with skin treated with initial contamination (bacteria: 2600 cfu/ml and fungi: 7000 cfu/ml) after irradiation at doses of ۳ and ۴ kGy and after ۱۴ days no increase in contamination was observed, but the color, odor, and taste of pomegranate juice irradiated with high doses (۳ and ۴ kGy) were not acceptable. However, pomegranate juice irradiated with a dose of ۱ and ۲ kGy were able to maintain their desired quality.



Key words: pomegranate juice, irradiation, electron beam, bacterial contamination, fungal contamination, storage

۱ - مقدمه:

آب انار یک آب میوه غنی از پلی فنل با ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا است.[۱] و در درمان بیماری‌هایی همچون دیابت، سرطان پرستات و تصلب شرایین می‌تواند مؤثر باشد.[۲]. انار منبع بسیار خوبی از ترکیبات زیستی فعال به همراه خواص حسی منحصر به فرد آن است. با این حال، پوست سفت انار دان کردن انارها را دشوار می‌کند، بنابراین مصرف آن را به عنوان میوه تازه محدود می‌کند.[۳]. وگارا^{۶۵} و همکاران اثرات دو فرآیند حرارتی پاستوریزه کردن در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد، به مدت ۳۰ ثانیه و پاستوریزه شدن در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۵ ثانیه را بر کیفیت رنگ آب انار بررسی کردند. هر دو عملیات حرارتی همراه با سرد کردن از رشد میکروبی به مدت ۱۲۰ روز جلوگیری کردند [۴]. برزگر و همکارانش از پرتودهی گاما با دزهای ۰ تا ۱۰ کیلوگری برای پرتودهی آب انار به منظور کاهش بار میکروبی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که پرتودهی آب انار نباید بالاتر از ۲ کیلوگری انجام شود [۵]. همچنین اشتری و همکارانش از اثر پرتودهی گاما بر روی کاهش بار آلودگی میکروبی دانه‌ی انار ملس ساوه استفاده کردند و به این نتیجه رسید که دز ۱ kGy مطلوب‌ترین دز برای پرتودهی انار به وسیله پرتوهای گاما با کمترین تأثیر منفی بر کیفیت آن است [۶]. وارا^{۶۶} و همکارانش اثر فشار هیدروستاتیک بالا بر روی خواص میکروبی و فیزیکیوشیمیایی آب انار را بررسی کردند که در این تحقیق فشار ۳۵۰ MPa به مدت ۱۵۰ ثانیه، چهار سیکل لگاریتمی آلودگی را کاهش داد اما این فشار باعث تغییر رنگ مشخص در آب انار شد و بیشترین کاهش رنگ در فشار ۵۵۰ MPa به مدت ۹۰ ثانیه در روز سی و پنجم مشاهده شد [۷].

میرسعید قاضی و همکارانش از ذخیره سازی به صورت منجمد در دمای ۲۵- درجه سانتی گراد برای نگهداری آب انار استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که محتوای کل آنتوسیانین پس از بیست روز ۱۱ درصد کاهش یافت و محتوای فنولیک^{۶۷} در پایان روز بیست و نهم ۲۹ درصد کاهش یافت [۸].

۲- روش کار:

۲-۱ جمع آوری نمونه:

در ابتدا نمونه‌های مختلف از آب انار تازه از شرکت تعاونی اتحادیه‌ی باغداران تفت واقع در استان یزد تهیه شد. سپس آب انارها در بطری‌های باحجم حدود ۳۰۰ cc ریخته شد و با دزهای ۱ تا ۴ kGy به وسیله باریکه‌ی الکترون ۱۰ MeV پرتودهی شد.

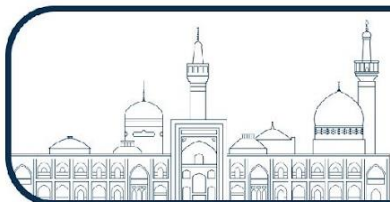
۲-۲: کشت میکروبی:

آزمون‌های میکروبی نمونه‌های آب انار، قبل و بعد از پرتودهی به روش کشت آمیخته استفاده شد.

^{۶۵} Vegara

^{۶۶} Varela

^{۶۷} Phenolic component



برای رشد و شمارش باکتری‌ها از انکوباتور با دمای ۳۷ درجه به مدت ۳ روز و برای کشت و رشد کپک و مخمرها از انکوباتور یخچال‌دار با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد به مدت ۳ تا ۵ روز استفاده شد.

۳-۲ آزمونهای ارگانولپتیکی

آزمون های ارگانولپتیکی^{۶۸} یک غذا شامل دیدن، بوییدن، چشیدن و لمس کردن می شود. غذاها بر طبق خواص ارگانولپتیکی دوست داشته می شوند و یا رد می شوند .

نمونه های آب انار قبل و بعد از پرتودهی به صورت مجهول توسط داوطلبان از نظر بو، مزه و رنگ مورد آزمون قرار گرفت .

۴-۲ دزیمتری

ابتدا یک ظرف آب انار تهیه شد. برای دزیمتری آب انار از فیلم دزیمتر CTA استفاده شد. برای خواندن و محاسبه میزان دز دریافتی آب انار از فیلم دزیمتر CTA استفاده شد. ابتدا قبل از پرتودهی، میزان جذب فیلم دزیمتر در طول موج ۲۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. سپس فیلم دزیمتر در محصول قراردادده شده و پرتودهی انجام گرفت و بعد از پرتودهی دوباره جذب فیلم دزیمتر در طول موج ۲۸۰ نانومتر خوانده شد. با توجه به روابط بین مقادیر خوانده شده می‌توان میزان دز جذبی توسط محصول را مشخص نمود. در این طرح فیلم CTA در غلاف پلاستیکی بسیار نازک قرار داده شد و نقاط بالا و پایین فیلم در داخل ظرف آب انار نشانه گذاری شد. سپس ظرف مورد نظر از آب انار پر و پرتودهی انجام شد (شکل شماره ۱) بعد از پرتودهی فیلم دزیمتر به قطعات کوچک تقسیم شده و در طول موج ۲۸۰ نانومتر خوانده شد و دز دریافت در نقاط مختلف ارتفاع آب انار بدست آمد.

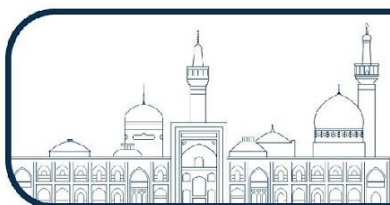


شکل شماره ۱: دزیمتری آب انار به کمک فیلم CTA

۵-۲ پرتودهی

پرتودهی نمونه ها توسط شتاب دهنده ی الکترونی رودوترون TT۲۰۰ مرکز پرتو فرآیند ایران مرکزی که باریکه الکترون با انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت تولید می نماید انجام گرفت.[۹]. بطری های حاوی آب انار به صورت خوابیده درون پالت های مخصوص پرتودهی قرار گرفت به طوریکه ارتفاع یا ضخامت مایع (آب انار) حدود ۴ cm بود، سپس بطری ها با دزهای ۱ تا ۴ کیلوگری پرتودهی شد.

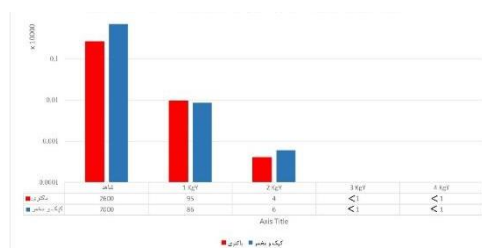
^{۶۸} Organoleptic test



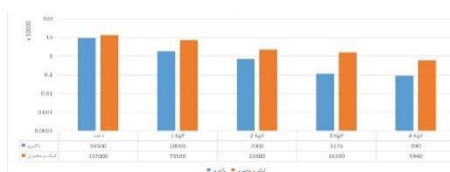
۳- نتایج:

در نمونه های آب انار تولید شده توسط دستگاه آب انارگیری صنعتی ؛ انار با پوست در دستگاه ریخته شده و آب انار همراه با له کردن پوست آن به دست می آید.

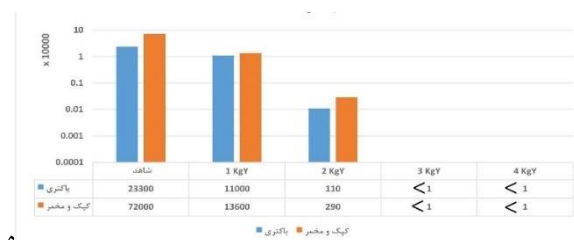
نمونه های آب انار قبل و بعد از پرتودهی با رقت های مختلف با روش آمیخته کشت داده شد. چون نمونه ها با پوست تهیه شده بود آلودگی میکروبی آن بسیار بالا بود و با پرتودهی با دزهای ۱ تا ۴ کیلو گری شمارش میکروبی به اندازه مناسب کاهش نیافت که نتایج آن در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است و پس از ۲ هفته نگهداری نمونه ها در یخچال و دمای ۴ درجه سانتیگراد دوباره مورد آزمون قرار گرفت. که نتایج آن در نمودار شماره ۴ درج شده است و همان طور که مشاهده می شود پس از ۲ هفته شمارش بسیار بالا رفت. در ضمن با افزایش دز، رنگ آب انار کاهش یافت که دلیل بر کاهش آنتوسیانین هاست (شکل شماره ۲). همچنین با افزایش دز طعم و بوی نمونه ها از حالت مطلوب خارج شد که نمودار خواص ارگانولپتیکی در نمودار شماره ۵ نشان داده شده است. در مرحله بعد، از تیمار انار با پوست سالم به مدت ۵ دقیقه در آب حدود ۶۰ درجه سانتیگراد استفاده شد [۱۰] و انارها با دست تمیز در محیط آزمایشگاه دان شد و قبل از پرتودهی و بعد از پرتودهی مورد آزمون قرار گرفت که همان طور که قابل پیش بینی بود شمارش میکروبی نمونه ها قبل پرتودهی و به دنبال آن بعد از پرتودهی بسیار کاهش یافت به طوریکه در دزهای ۳ و ۴ بعد از ۲ هفته نیز آلودگی میکروبی و نیز تولید گاز مشاهده نشد. (نمودار های شماره ۱ و ۳) ضمن اینکه بعد از ۲ هفته کاهش رنگ نمونه شاهد بیش از نمونه های پرتودهی شده بود به طوریکه رنگ نمونه شاهد به نمونه های پرتودهی شده با دز ۱ kGy نزدیک شده بود.

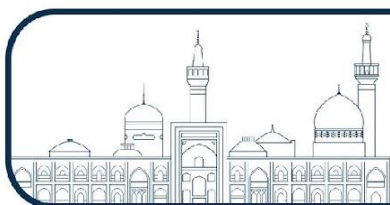


نمودار شماره ۱: تعداد میکروارگانیسم های موجود در آب انار (cfu/ml) تولید شده در آزمایشگاه بلافاصله بعد از پرتودهی



نمودار شماره ۲: تعداد میکروارگانیسم های موجود در آب انار (cfu/ml) تولید شده همراه با پوست به وسیله دستگاه صنعتی بلافاصله بعد از پرتودهی

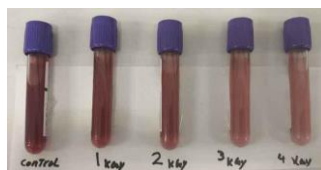




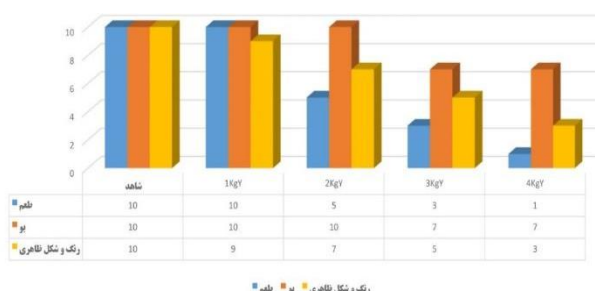
نمودار شماره ۳: تعداد میکروارگانیسم‌های آب انار (cfu/ml) تولید شده در آزمایشگاه (دان شده با دست) بعد از ۲ هفته



نمودار شماره ۴: تعداد میکروارگانیسم‌های آب انار (cfu/ml) تولیدشده همراه با پوست به وسیله‌ی دستگاه بعد از ۲ هفته



شکل ۲: تغییر رنگ آب انار بر اثر پرتودهی



نمودار شماره ۵: امتیاز خواص حسی (ارگانولپتیک) آب انار قبل و بعد از پرتودهی

۴- بحث و نتیجه‌گیری:

همانطور که در ارقام نمودارهای شماره‌ی ۲ و ۴ مشخص است آلودگی اولیه میکروبی آب انار به خصوص تعداد قارچ‌ها (کپک و مخمر) تولید شده با دستگاه صنعتی بسیار بالاست و در نتیجه دزهای بالاتر (۴ کیلوگری) هرچند توانسته است بار آلودگی را به طور چشمگیری کاهش دهد اما نتوانست به طور کامل آن را حذف نماید (عدم پاستوریزاسیون کامل) و در نتیجه پس از پرتودهی و در طول مدت نگهداری در دمای یخچال (۴ درجه سانتیگراد)، باعث رشد مخمرها و دیگر میکروارگانیسمها و تجزیه قند موجود شده و باعث تولید گاز دی‌اکسید کربن در نمونه‌های حاوی آب انار شده و بازار پسندی را از دست داده است، که برای رفع این مشکل (پاستوریزاسیون کامل و عدم احتیاج به منجمد کردن محصول برای نگهداری طولانی مدت و صادرات) احتیاج به دزهای بالاتر می‌باشد. اما پرتودهی با دزهای بالاتر، کاهش رنگ قرمز آب انار را در پی خواهد داشت که مطلوب نیست. راه حل پاستوریزه کردن این محصولات به کمک پرتودهی با دزهای پایین؛ تولید تمیزتر این محصولات



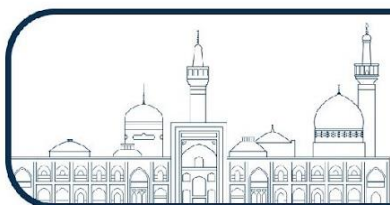
با بار آلودگی اولیه‌ی کمتر است. چون پوست انار حاوی تعداد بسیار زیادی مخمر (ساکارومایسس^{۶۹}، کاندیدا^{۷۰} و...) می‌باشد و در جریان دان شدن انار یا آب‌گیری از انار، این مخمرها وارد محصول می‌شوند، باید با شستن پوسته‌ی انار با دترجنت‌های ایمن، تعداد آلودگی را کاهش داد. در این مورد غوطه‌وری انارها در محلول حاوی مایع ظرفشویی و سپس شستشوی آنها با آب خالص و یا استفاده از افشانه‌های حاوی هیپوکلریت سدیم یک تا ۱۰ درصد و سپس شستشو با افشانه‌های آب به صورت مکانیزه و یا استفاده از محلول‌های ترکیبی شامل پراستیک اسید، هیدروژن پراکسید و استیک اسید گلاسیال توصیه می‌شود [نگارنده]. همچنین به علت استفاده از انارهای آسیب‌دیده (ترکیدی طبیعی یا ضربه خورده) در مقیاس صنعتی پیش تیمار حرارتی با آب ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه برای انارها قبل از آب‌گیری پیشنهاد می‌شود تا تعداد کل میکروارگانیسم‌های سطح پوست انار (به‌ویژه مخمرها) کاهش یافته با پرتودهی بین دزهای ۱ تا ۲ kGy به سطح مطلوب پاستوریزاسیون و امکان نگهداری در دمای سردخانه معمولی (۴ درجه سانتیگراد) رسید.

۵- مراجع:

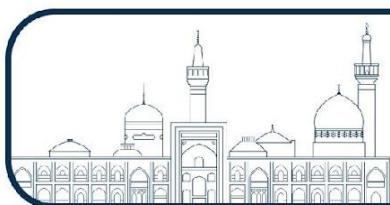
- [۱] J. A. Teixeira da Silva, T. S. Rana, D. Narzary, N. Verma, D. T. Meshram, and S. A. Ranade, "Pomegranate Biology And Biotechnology: A Review," Aug. ۰۷, ۲۰۱۳. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.scienta.۲۰۱۳.۰۵.۰۱۷.
- [۲] F. Danesi and L. R. Ferguson, "Could pomegranate juice help in the control of inflammatory diseases?," Aug. ۳۰, ۲۰۱۷, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. doi: ۱۰.۳۳۹۰/nu۹۰۹۰۹۵۸.
- [۳] K. Bhatia and R. Asrey, "Minimal processing of pomegranates (*Punica granatum* L.)—A review on processing, quality, and shelf life," *J. Food Process. Preserv.*, vol. ۴۳, no. ۱۲, p. e۱۴۲۸۱, Dec. ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۱۱۱/JFPP.۱۴۲۸۱.
- [۴] S. Vegara, N. Martí, P. Mena, D. Saura, and M. Valero, "Effect of pasteurization process and storage on color and shelf-life of pomegranate juices," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. ۵۴, no. ۲, pp. ۵۹۲–۵۹۶, Dec. ۲۰۱۳, doi: ۱۰.۱۰۱۶/J.LWT.۲۰۱۳.۰۶.۰۲۲.
- [۵] H. Alighourchi, M. Barzegar, and S. Abbasi, "Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices," *Food Chem.*, vol. ۱۱۰, no. ۴, pp. ۱۰۳۶–۱۰۴۰, ۲۰۰۸, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.foodchem.۲۰۰۸.۰۳.۰۱۳.
- [۶] M. Ashtari, O. Khademi, M. Soufbaf, H. Afsharmanesh, and M. A. Askari Sarcheshmeh, "Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. ۲۴۴, no. July ۲۰۱۸, pp. ۳۶۵–۳۷۱, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.scienta.۲۰۱۸.۰۹.۰۶۷.
- [۷] E. Varela-Santos *et al.*, "Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on physicochemical properties, bioactive compounds and shelf-life of pomegranate juice," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. ۱۳, pp. ۱۳–۲۲, ۲۰۱۲.
- [۸] H. Mirsaedghazi, Z. Emam-Djomeh, and R. Ahmadvani, "Effect of frozen storage on the anthocyanins and phenolic components of pomegranate juice," *J. Food Sci. Technol.*, vol. ۵۱, no. ۲, pp. ۳۸۲–۳۸۶, Feb. ۲۰۱۴, doi: ۱۰.۱۰۰۷/S۱۳۱۹۷-۰۱۱-۰۵۰۴-Z/METRICS.
- [۹] Behjat Abbas, khalili bagher, Mozaheb seyed alireza, vakhshoor bahram, zareshahi hassan, and fallahzadeh mahmoud, "Advanced oxidation treatment of drinking water and wastewater using high-energy electron beam irradiation," *water and waste water*, vol. ۱۸, no. ۶۱, pp. ۶۰–۶۸, ۲۰۰۷.

^{۶۹} *Saccharomyces* sp.

^{۷۰} *Candida* sp.



- [۱۰] U. L. Opara, J. Atukuri, and O. A. Fawole, “Application of physical and chemical postharvest treatments to enhance storage and shelf life of pomegranate fruit-A review,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*., vol. ۱۹۷, pp. ۴۱–۴۹, ۲۰۱۵, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.scienta.۲۰۱۵.۱۰.۰۴۶.



ارزیابی تاثیر پرتو الکترونی بر خواص گندم به منظور حذف آفات با استفاده از روش تحلیل آنالیز واریانس (کد مقاله : ۱۴۳۱)

محمدی، مهسا^۱ - موسوی، سید محمد جواد^۱ - رحمانی، داریوش^۲

۱. سازمان انرژی اتمی تهران، شرکت توسعه کاربرد پرتوها، مرکز پرتو فرآیند نوین قزوین

۲. اداره کل غله و خدمات بازرگانی استان قزوین، واحد کنترل کیفی، قزوین، ایران

چکیده:

هرساله مقدار قابل توجهی از تولیدات کشاورزی به وسیله آفات در انبارها از بین می رود. محصولات کشاورزی در مراحل مختلف تولید تا انبار تحت تاثیر آفات (حشرات، بیمارگرها، علف های هزر و سایر عوامل خسارت زا) قرار می گیرند. استفاده از روش های شیمیایی، امروزه به عنوان بهترین راهکار در مبارزه با آفات به شمار می رود. روش های شیمیایی جهت حذف آفات اثرات جبران ناپذیری بر سلامتی انسان و محیط زیست دارد. استفاده از روش پرتو دهی الکترون برای تولیدات کشاورزی می تواند به عنوان جایگزین مناسب روش های شیمیایی جهت دفع آفات نمونه های غلات به خصوص گندم ارائه کرد، که گندم عمده ترین غلات مصرفی در ایران می باشد. می توان با استفاده از دز پرتو الکترونی بهینه در جهت حذف آفات در انبار های غله گندم با حفظ ارزش غذایی محصولات استفاده کرد. بر طبق نتایج حاصل از تحقیقات بروی ارزش غذایی گندم پرتو دیده، مشخص گردید پرتو دهی با دز ۳ کیلوگری برای دفع آفات گندم مناسب می باشد. همچنین از روش تحلیل آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور تحلیل تفاوت بین گروه های مختلف داده بر اساس میزان دز پرتو و میزان شاخص گلوتن و گلوتن ایندکس استفاده شد. بر طبق نتایج بدست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشخص گردید بر اساس مقادیر p-value به ترتیب برای گلوتن و گلوتن ایندکس ۰.۳۸۷ و ۰.۳۱۰ اختلاف معناداری بین داده ها وجود ندارد.

کلمات کلیدی: پرتو الکترون، رودوترون، گندم، گلوتن، آنالیز واریانس

Evaluation of the effect of electron beam on the properties of wheat in order to remove pests using Analysis of Variance (ANOVA)

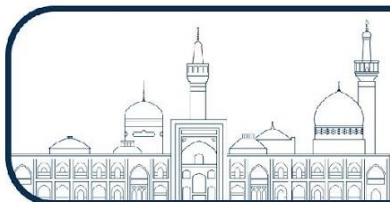
Mahsa Mohammadi^{1*}, Seyyed Mohammad Javad Mousavi¹, Dariush Rahmani²

¹Atomic Energy Organization of Iran, Parto Faravar Pars Company, Tehran. Iran

²General Directorate of Grain and commercial service of Qazvin province, Quality control unit, Qazvin. Iran

Abstract:

Every year, a significant amount of agricultural production is destroyed by pests in warehouses. Agricultural products are affected by pests (insects, pathogens, weeds and other damaging factors) at different stages of production to storage. Today, the use of chemical methods is considered the best solution in combating pests. Chemical methods for eliminating pests have irreparable effects on human health and the environment. The use of electron irradiation for agricultural products can be applied as a suitable method for pest control of grain samples, especially wheat, which is the most consumed grain in Iran. It is possible to use the optimal electron beam dose to eliminate pests in wheat grain warehouses while maintaining the nutritional value of the products. According to the results of research on the nutritional value of irradiated wheat, it was determined that irradiation with a dose of ۳ KGy is suitable for pest control of wheat. Also, the analysis of variance (ANOVA) method was used to analyze between different data groups based on radiation dose, gluten and gluten index. According to



the results obtained, it was determined at a ۹۵% confidence level, there was no significant difference between the data based on the p-values of ۰,۳۱۰ and ۰,۳۸۷ for gluten and gluten index, respectively

Key words: Electron Beam, Rhodotron, Wheat, Gluten, ANOVA

۱- مقدمه:

مهم ترین غله در جهان گندم می باشد. گندم منبع مهمی از کربوهیدرات است، مصرف گندم کامل باعث دریافت مواد مغذی مختلف و فیبر غذایی می شود. این محصول بیشترین مساحت زیر کشت محصولات غذایی را به خود اختصاص داده است. تقاضای جهانی این محصول به دلیل وجود پروتئینی به نام گلوتن در آن، که باعث خاصیت چسبندگی خمیر آن شده و ساخت محصولات فرآوری شده را تسهیل می کند، در حال افزایش است. گندم منبع خوبی از ویتامین های تیامین، نیاسین، پیریدوکسین، توکوفرول، آهن و روی می باشد. از مهم ترین دلایل از بین رفتن غلات در انبارها، حمله حشرات و ایجاد آفات می باشد.

به منظور آفت زدایی و از بین بردن آفات در انبار های گندم روش های مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از: استفاده از روش های شیمیایی: ترکیبات شیمیایی به صورت گاز از طریق تنفس وارد بدن حشرات می شوند، و از عمده ترین روش جهت حذف آفات می باشد. ترکیبات شیمیایی فسفین و متیل بروماید به طور موثر و عمده کاربرد دارند. استفاده از روش های حرارتی: به طور معمول آفاتی که در انبارهای گندم وجود دارد دماهای پایین (زیر ۵ درجه سانتی گراد) و دماهای بالا (بالا ۵۰ درجه سانتی گراد) نمی توانند تحمل کنند و از بین می روند.

استفاده از روش های پرتو دهی: در حال حاضر مرسوم ترین روش مبارزه با آفات، استفاده از آفت کش های شیمیایی می باشد. اما استفاده از روش های شیمیایی دارای اثرات جبران ناپذیر زیست محیطی دارد. از طرفی استفاده از آفت کش های شیمیایی همیشه به طور موثر و یکنواخت بر روی آفات درونی غلات (تخم، لارو و شفیره) موثر نبوده و می تواند باعث عدم ضد عفونی کامل غلات شود. در چنین شرایطی، کاربرد روش های هسته ای به عنوان نگرشی نو در تحقیقات کشاورزی، بخصوص در حفاظت و اصلاح محصولات کشاورزی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از پرتو یک فن آوری نسبتاً جدید و نوید بخش برای پاک سازی و سالم سازی مواد غذایی و محصولات کشاورزی می باشد. فرآیند پرتو دهی نوعی روش فیزیکی برای فرآوری مواد غذایی محسوب می شود که شامل عبور مواد غذایی از مقابل یک منبع پرتو یونیزه کننده (گاما، ایکس و پرتو الکترونی) می باشد. تا کنون بیش از ۵۰ کشور دنیا اجازه استفاده از پرتو دهی برای بیش از ۵۰ نوع ماده غذایی را صادر کرده اند. تخمین زده می شود همه ساله بیش از ۶۰۰ هزار تن مواد غذایی و محصولات کشاورزی به صورت تجاری تحت فرآیند پرتو دهی قرار می گیرند [۱-۳].

روش پرتو دهی به دلیل قدرت نفوذ بالا و ویژگی های نظیر قابلیت استفاده آنها برای حفظ محصولات کشاورزی بعد از عملیات بسته بندی و جلوگیری از آلودگی ثانویه این محصولات و همچنین قابلیت به کارگیری آنها در سطوح تجاری، دارای اهمیت چشمگیری می باشد. در شتاب دهنده های الکترونی، الکترون ها به طور عمقی در مواد غذایی نفوذ نمی کنند. این پرتوهای الکترونی معمولاً برای اشعه دهی لایه های نسبتاً نازک مواد غذایی استفاده می شوند. آنها را می توان برای تابش دهی غذاهایی نظیر گوشت سفید و حبوبات استفاده نمود. اگر ضخامت محصول کم و ظرفیت ورودی آن زیاد باشد تجهیزات پرتوهای الکترونی مزایای اقتصادی بیشتری نسبت به اشعه دهی با کبالت (۶۰ پرتو گاما) خواهند داشت [۴-۵-۸].

شروع پرتو دهی تجاری مواد غذایی در دنیا براساس پذیرش استاندارد پرتو دهی مواد غذایی در سال ۱۹۸۳ بوده است. این استاندارد به وسیله کمیته غذایی، سازمان خواربار و کشاورزی جهانی و سازمان بهداشت جهانی به نمایندگی بیش از ۱۳۰ کشور دنیا براساس تایید کمیته مشترک کارشناسی پرتو دهی مواد غذای مورد قبول قرار گرفت. به علت این که پرتو دهی باعث بالا رفتن دما در ماده غذایی نمی شود، میزان کاهش مواد مغذی بر اثر پرتو دهی بسیار کمتر از سایر روش ها است [۶-۷-۹-۱۱]. پرتو دهی مواد غذایی یکی از روش های مدرن، ایمن و کارآمد برای نگهداری می باشد، که در بسیاری از کشورهای جهان انجام



می شود. پرتو دهی مواد غذایی نسبت به روش های سنتی دارای مزایایی می باشد، و می تواند کیفیت مواد غذایی را برای مدت طولانی تری حفظ کند. در اثر پرتو دهی و جذب تابش ۱۰۰۰ گری تنها دمای محصول ۰.۳۶ درجه سانتیگراد افزایش می یابد که این امر نشان دهنده حداقل تلفات غذایی در اثر پرتو دهی نسبت به سایر روش ها مانند گرم کردن، خشک کردن و پخت و پز است. غذاهای تحت تابش، باعث تولید ترکیبات هتروسیکلیک و ترکیبات آروماتیک سرطان زا نمی شوند، این مواد شیمیایی در پردازش حرارتی مواد غذایی در دماهای بالا یافت می شود. در مقاله ای که توسط B.R. Manupriya و همکاران ارائه شده است از اشعه گاما برای پرتو دهی نمونه های گندم با دزهای (۰.۲۵ - ۰.۵ - ۱ - ۵ و ۱۰) کیلوگری جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه آرد گندم استفاده شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته مشخص شد پرتو دهی گاما تغییراتی را در پروتئین آرد گندم در صورت استفاده از تابش با دز های بالا (۵ و ۱۰ کیلو گری) باعث می شود [۱۲].

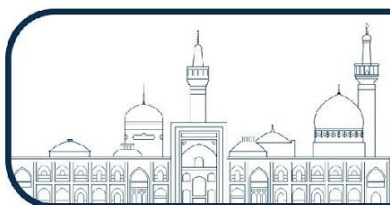
۲- روش کار:

در این تحقیق چهار نوع آفات موجود در انبار های گندم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). در قزوین و استان هایی که گندم خود را به قزوین حمل می کنند، آفات مشاهده شده طی حداقل ۱۰ سال اخیر مورد بررسی قرار گرفته که این آفات شامل بید غلات از راسته بالپولکداران و شپشه بزرگ و کوچک غلات و لمبه گندم از راسته سخت بالپوشان می باشند. در این مقاله همگی آفات از راسته بالپولکداران و بالپوشان مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه های گندم تحت شرایط دز های مختلف از رنج ۰.۵ تا ۴ کیلو گری پرتو دهی شدند. به منظور ارزیابی اثر پرتو الکترونی بر خواص و ارزش غذایی نمونه های گندم، پارامترهای میزان گلوتن و شاخص گلوتن ایندکس نمونه ها مورد اندازه گیری قرار گرفتند. در اندازه گیری پارامترهای گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های گندم، بررسی عدم تغییر میزان گلوتن و ایندکس در نمونه پرتو دهی شده نسبت به نمونه شاهد بسیار مهم در ارزیابی عملکرد پرتو دهی در راستا حذف آفات و حفظ ارزش غذایی نمونه گندم می باشد. قبل از انجام فرآیند پرتو دهی باید اطمینان حاصل کرد که با مقدار محاسبه شده برای سرعت نقاله دز مد نظر به محصول اعمال می شود. به این منظور، از تست کالریمتری استفاده می شود. ابتدا یک کالریمتر با کد مشخص را بر روی پالت نقاله قرار می دهیم. مقدار مقاومت آن را در دقیقه صفر (شروع) و همچنین ۲ دقیقه بعد ثبت می کنیم. دستگاه را روشن نموده و اجازه می دهیم کالریمتر با سرعت نقاله محاسبه شده از زیر باریکه الکترون عبور نماید. زمانی را که کالریمتر دقیقاً زیر باریکه قرار گرفته است، یادداشت می کنیم. پس از اینکه کالریمتر خارج شد، ابتدا هر ۱۵ ثانیه (تا ۵ مرحله) و سپس هر ۱ دقیقه (تا ۵ مرحله) مقدار مقاومت آن را ثبت می نماییم. مقدار دز دریافتی توسط کالریمتر از طریق معادله ۱ محاسبه می شود، که در آن T_2 دمای ثانویه کالریمتر و T_1 دمای اولیه کالریمتر، T_a دمای تجهیزات شتاب دهنده مانند نقاله و ... K ثابت کالیبراسیون که از مقایسه با دزیمر مرجع (قرص آلانین) به دست می آید. C_1 و C_2 مقادیری که از مقایسه با دزیمر مرجع مانند آلانین به دست می آیند. برای بازه ۰ تا ۱۰ کیلوگری حداکثر خطای ۳ درصد و برای بالای ۱۰ کیلوگری حداکثر خطای ۵ درصد برای دز محاسبه شده قابل قبول می باشد.

$$D = (T_2 - T_1 - T_a) \cdot k \cdot \left(C_1 \cdot C_2 \cdot \left((T_2 + T_1) \cdot \frac{1}{T_1} \right) \right) \quad \text{معادله (۱)}$$

همچنین از روش تحلیل آنالیز واریانس^{۲۱} با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistics^{۲۶} به منظور تحلیل تفاوت بین گروه های مختلف داده بر اساس دز پرتو الکترونی استفاده شد.

^{۲۱} Analysis of Variance (ANOVA)



نوع آفت	نمونه	
پوسته لارو گندم- دارای حشره سن گندم دارای لارو لمبه گندم به صورت کرم	نمونه ۱	۱
دارای شپش کوچک غلات (خانواده سوسک ها) گندم دارای سوراخ های ریزی می باشد	نمونه ۲	۲
دارای شپش بزرگ غلات (خانواده سوسک ها)	نمونه ۳	۳
گندم دارای لارو، شغیره و پروانه می باشد	نمونه ۴	۴

جدول ۱: مشخصات نمونه های گندم پرتودهی شده

۱.۲. اندازه گیری میزان گلوتن و شاخص ایندکس در نمونه های گندم

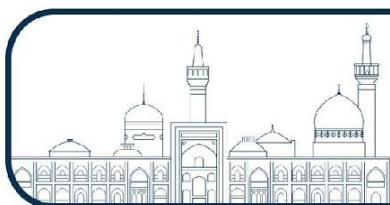
هدف از این پژوهش بررسی تاثیر پرتو الکترونی بر حذف آفات در نمونه های گندم به منظور یافتن دز پرتو بهینه، و همچنین اندازه گیری میزان گلوتن و شاخص ایندکس که دو فاکتور مهم جهت ارزیابی اولیه کیفیت نان در دسترس کارخانجات و اداره غله و اداره استاندارد می باشد.

به منظور برقراری ارتباط بین کیفیت گندم پرتودهی شده و آرد حاصل از آسیاب گندم، دو پارامتر شامل گلوتن و گلوتن ایندکس که وابسته به خصوصیات کاربردی پروتئین ها می باشد، اندازه گیری شدند.

در داخل گندم، گلیادین همراه با گلوتمین حجم کلی پروتئین را درست می کنند و به نام گلوتن خوانده می شود. کیفیت گلوتن با ویژگی های ارثی مغز گندم تغییر می کند و به علاوه میزان و مقدار گلوتن که از گندم های مختلف قابل استخراج است دارای خواص فیزیکی متغییری می باشند و همچنین عوامل مختلفی مانند ساخت، زمان حرارت، غلظت نمک و pH کیفیت گلوتن تاثیر دارد.

خواص عملکردی پروتئین عمدتاً از طریق بخش گلوتمین و گلیادین بدلیل توانایی آنها در ایجاد شبکه گلوتمی منسجم خمیر می باشد. بخصوص زمانی که خمیر در معرض هیدراتاسیون و مخلوط کردن قرار می گیرد. شبکه گلوتمی توانایی نگهداری گازها در طول تخمیر در خمیر، صاف کردن و پختن خمیر و حین انتقال از آرد به نان را بر عهده دارد. محتوی گلوتن تعیین کننده اصلی کیفیت پخت می باشد. اطلاعات آماری گلوتن و گلوتمین ایندکس در نمونه های گندم مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

اندازه گیری میزان گلوتمین به دو صورت دستی و مکانیکی انجام می شود. در مرکز پژوهش های غلات به صورت مکانیکی به وسیله دستگاه گلوتمن شوی و سانتریفیوژ اندازه گیری شدند. گلوتمن مجموع پروتئین های غیر محلول در آب و قابل استخراج از گندم می باشد. گلوتمن از دو بخش تشکیل شده است که عبارت از: گلوتمین و گلیادین. گلوتمین دارای وزن مولکولی بالا، خاصیت کشش پذیری پایین، خاصیت الاستیسیته بالا، قابل تعلیق در اسیدها و بازها و حلال هایی که به واسطه قطبی بودن می توانند پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. گلوتمین ها می توانند با چربی ها ایجاد کمپلکس نمایند، مقاومت و محکمی گلوتمن مربوط به گلوتمین می باشد. گلیادین دارای وزن مولکولی پایین، کشش پذیری و خاصیت الاستیسیته پایین، قابل حل در



اسیدها و بازها و حلال هایی که به واسطه قطبی بودن می توانند پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. گلوتن ایندکس اطلاعاتی در خصوص کیفیت گلوتن بویژه قدرت آن ارائه می دهد. گلوتن ایندکس بالا نشاندهنده گلوتن قوی تر است.

جدول ۲: اطلاعات آماری فاکتورهای گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های گندم

فاکتور	میانگین	میانه	انحراف استاندارد	کمترین داده	بیشترین داده	واریانس
۱ گلوتن	۳۰/۹۳۳	۲۷/۳۰۰	۱۶/۸۴۵	۱۰/۹۰	۸۴/۴۰	۲۸۳/۸۷۸
۲ گلوتن ایندکس	۲۸/۱۱۱	۲۵/۰۵۰	۱۶/۰۷۴	۰	۶۰	۲۵۸/۴۰۱

۲-۲- سامانه پرتودهی رودوترون

پرتودهی نمونه های گندم توسط سامانه پرتودهی الکترون مستقر در مرکز پرتو فرآیند نوین قزوین با رعایت استانداردهای بین المللی سیستم مدیریت کیفیت (ISO ۹۰۰۱) برای ضدعفونی کردن مواد غذایی با توان ۱۰۰ کیلو وات و حداکثر انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت انجام شده است.

۲-۳- آنالیز تحلیل واریانس^{۲۲} (ANOVA)

آنالیز واریانس یک آزمون آماری برای تعیین تفاوت موجود بین میانگین های دو یا چند جامعه آماری مستقل است. به عبارت دیگر، تکنیک آنالیز واریانس برای مقایسه دو یا چند گروه مورد استفاده قرار می گیرد تا بررسی شود که تفاوت قابل توجهی دارند یا خیر. در این تحقیق جهت بررسی ارتباط بین دز پرتودهی شده و مقدار گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های گندم از آنالیز تحلیل واریانس استفاده شد. بر طبق نتایج بدست آمده (جدول ۳) در سطح اطمینان ۹۵ درصد با مقدار p-value معادل با ۰/۳۸۷ و ۰/۳۱۰ به ترتیب مشخص گردید تفاوت معنا داری بین میزان دز پرتودهی شده با فاکتورهای مقدار گلوتن و گلوتن ایندکس وجود ندارد. بر اساس مقادیر فاصله اطمینان نیز می توان حدس هایی در مورد میزان گلوتن در نمونه های گندم در دزهای مختلف مطرح کرد. مشاهده می شود در مقادیر دز پرتو پایین میزان گلوتن نسبت به نمونه شاهد بدون تغییر و یا با تغییر جزئی و میزان گلوتن در مقادیر دز بالا با کاهش همراه است. بدین ترتیب برای اثبات این فرضیه، از آزمون آماری یا همان تحلیل واریانس استفاده شد.

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل واریانس

Factor	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Gluten	۱۷۳۴.۱۴۵	۳۴۶.۸۲۹	۱.۳۴۷	۰.۳۱۰
Index	۱۴۲۳.۵۸۳	۲۸۴.۷۱۷	۱.۱۵۱	۰.۳۸۷

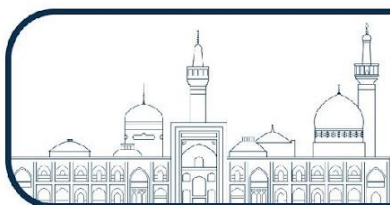
۳- نتایج:

کاربرد پرتوهای یونیزان از جمله گاما، ایکس و الکترون، به عنوان روشی جدید در راستای حفظ و نگهداری محصولات کشاورزی از خیلی سال قبل مطرح شده است. پرتودهی محصولات کشاورزی به معنای قرار گرفتن آن ها درمقابل اشعه و جذب دز معینی از امواج الکترومغناطیس ایکس و گاما یا ذرات پرانرژی الکترون می باشد. در طول چهار دهه اخیر، تاثیر پرتوتابی بر حفظ کیفیت همه انواع مواد غذایی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته و محدودیت های کاربرد این تکنیک مشخص شده است. هم اکنون دامنه تحقیقات در زمینه توسعه پرتو تابی محصولات کشاورزی ۷۰ کشور جهان را تحت پوشش قرار داده است. در این پژوهش سعی شده است آفت زدایی محصول کشاورزی گندم پس از برداشت به وسیله پرتوهای الکترون بجای مبارزه ی شیمیایی بررسی شود. پرتوگاما به دلیل ماهیت و انرژی که دارد به راحتی در عمق محصولات نفوذ می کند و براحتی می توان برای پرتودهی بسته های با ابعاد بزرگ از آن استفاده کرد. در حالی که عمق نفوذ باریکه الکترونی در حد چند سانتیمتر است و عمق محدودی

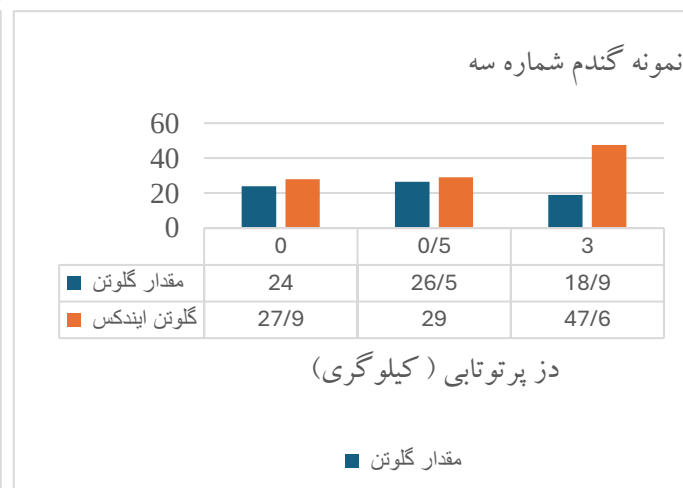
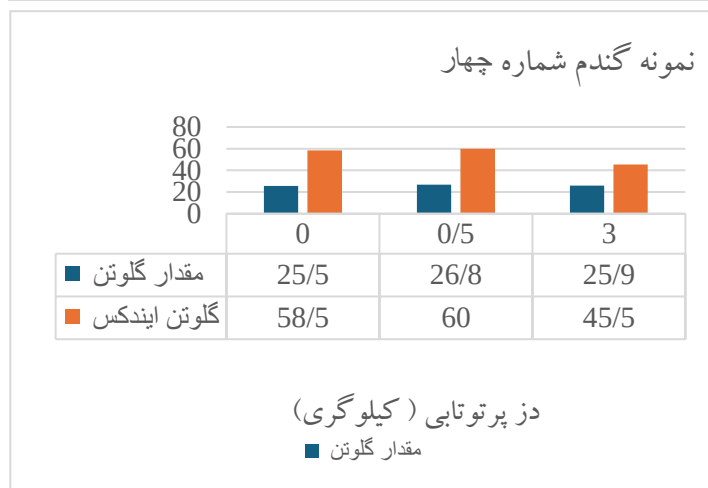
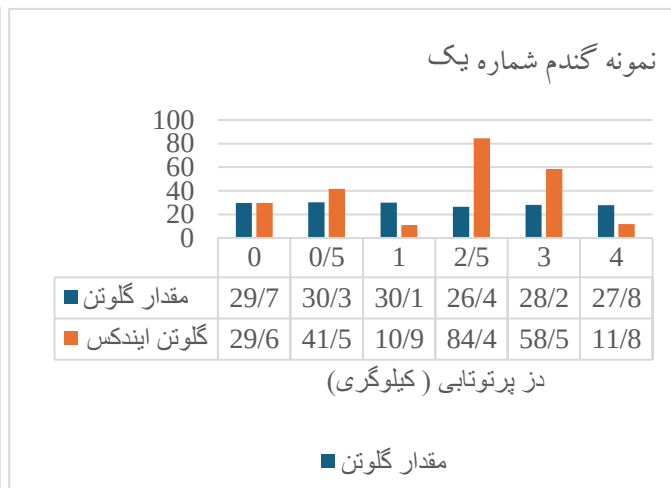
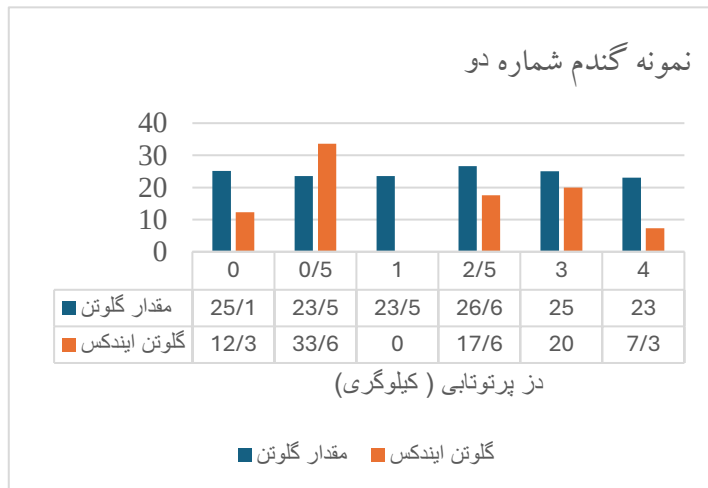
^{۲۲} Analysis of Variance (ANOVA)



را تحت پرتودهی قرار می‌دهد. اما همین خاصیت نفوذپذیری بالای گاما نسبت به الکترون باعث می‌شود که برای استفاده از برهمکنش پرتو با ماده بازدهی بسیار پایینی از خود نشان دهد. لذا در کاربردهای پرتو با مواد بیشتر از باریکه‌های الکترون استفاده می‌شود تا تقریباً تمام انرژی باریکه، به ماده مورد نظر منتقل شود. در این پژوهش نمونه های گندم تهیه شده در دز های مختلف از (۰.۵ - ۱ - ۲.۵ - ۳ - ۴) کیلوگری با استفاده از سامانه رودوترون پرتودهی شدند. دو فاکتور گلوتن و گلوتن ایندکس برای نمونه های گندم پرتودهی شده مورد اندازه گیری و ارزیابی قرار گرفتند. بر طبق نتایج بدست آمده از مقدار گلوتن نمونه های گندم پرتودهی شده نسبت به نمونه های گندم شاهد مشخص گردید تاثیر پرتو الکترونی بر روی نمونه های گندم در دزهای مختلف متفاوت می باشد. دزهای پایین ۰.۵ و ۱ کیلوگری تاثیری بر روی از بین بردن حشرات در نمونه های گندم نداشتند. دز ۲.۵ کیلوگری باعث از بین رفتن حشرات در گندم نوع های ۱ و ۲ شده بودند، اما مشاهده شد در گندم نوع ۳ و ۴ با دز ۲.۵ کیلوگری تاثیری بر از بین رفتن حشرات نداشت. اما در دز ۳ و ۴ کیلوگری همه حشرات در نمونه های گندم از بین رفته بودند. بنابراین دز ۳ کیلوگری به عنوان دز بهینه جهت حذف آفات در نمونه های مختلف گندم که دارای انواع مختلف آفات بود، تعیین گردید. جهت ارزیابی دز موثر کنترل آفت در نمونه گندم و افزایش اطمینان و تکرارپذیری نتایج، از هر نمونه گندم سه بار تکرار انجام شد و نتایج میانگین گرفته شد. سپس برای ارزیابی نتایج کار، چندین نمونه کاملاً تصادفی از اداره کل غله و خدمات بازرگانی استان قزوین که دارای آفت بود تهیه شد و با دز ۳۰۰۰ گری پرتو دهی شدند. پس از بررسی های انجام شده مشاهده شد در اثر پرتو دهی با دز ۳۰۰۰ گری تمام حشرات از بین رفته بودند و میزان گلوتن نمونه های گندم تصادفی نسبت به حالت قبل پرتو دهی تغییری نداشتند. دو پارامتر مقدار گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های گندم اندازه گیری شدند، مقادیر مرتبط به هر نوع گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می شود با توجه به اینکه دز ۳ کیلوگری بهینه می



باشد، مقدار دو پارامتر گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های مختلف گندم در رنج قابل قبول می باشند. نتایج لاشه شماری آفات برای تعیین کارایی پرتو تابی برای هر دز مشخص در جدول شماره ۴ ارائه شده است.



شکل (۱) نمودار اثر پرتودهی بر میزان گلوتن و گلوتن ایندکس نمونه های گندم یک، دو، سه و چهار جدول ۴: لاشه شماری آفات برای تعیین کارایی پرتو تابی

دز پرتو تابی (کیلو گری) / لاشه شماری آفات					
نمونه گندم	۰.۵	۱	۲.۵	۳	۴
نمونه ۱	تمام حشرات زنده	تمام حشرات زنده	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند
نمونه ۲	تمام حشرات زنده	تمام حشرات زنده	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند
نمونه ۳	تمام حشرات زنده	تمام حشرات زنده	فقط یک حشره زنده بود	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند
نمونه ۴	تمام حشرات زنده	تمام حشرات زنده	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند	تمام حشرات از بین رفتند



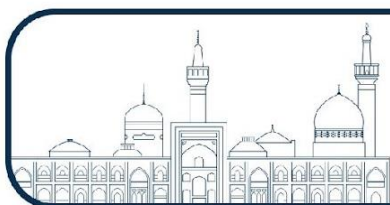
۴- بحث و نتیجه گیری:

هرساله مقدار قابل توجهی از تولیدات کشاورزی کشورهای جهان سوم به وسیله آفات در انبارها از بین می رود. با توجه به این که محدوده زندگی انسان بر روی کره زمین، استفاده از روش های مبارزه شیمیایی در کنترل آفات به صورت مستقیم یا غیرمستقیم سلامت بشر و محیط زیست را تهدید میکند.

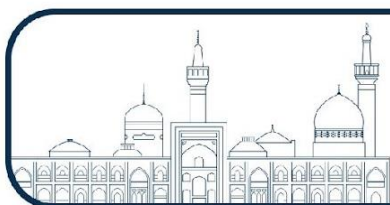
نتایج مطالعات نشان داده است که روش پرتودهی الکترون بسته به دز و شرایط تابش می توانند باعث حذف آفات و حفظ ارزش غذایی در محصولات پرتو دیده گردد. در این تحقیق میزان دو پارامتر مهم گلوتن و گلوتن ایندکس در نمونه های مختلف گندم با انواع متفاوت حشرات در دزهای مختلف پرتودهی شده بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. تغییرات حاصل از پرتودهی در صورتی که با کاهش کیفیت گندم همراه نباشد، و باعث تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گندم نشود، بسیار مهم و کاربردی در حذف آفات در انبار های غلات می باشد. همچنین با توجه به اینکه وضعیت ظاهری محصولات مهمترین شاخص ارزیابی بازارپسندی آنهاست و هر گونه تغییرات ظاهری مانند پوسیدگی باعث کاهش بازارپسندی محصول می شود. پرتودهی با اشعه الکترون، با جلوگیری از رشد قارچ ها و عوامل بیماری زا و بروز فساد به طور مؤثری باعث افزایش عمر نگهداری محصولات و حفظ ارزش غذایی آنها می شود. به این منظور نتایج حاصل از تحقیقات که بر روی ارزش غذایی گندم پرتو دیده مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که دز ۳ کیلوگری برای دفع آفات مناسب می باشد و باعث ایجاد تغییرات در ارزش غذایی گندم نمی شود. بنابراین کاربرد این فناوری با توجه به هزینه بسیار پایین آن در مقایسه با روش های شیمیایی از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه می باشد.

۵- مراجع:

- [۱] G.A. Zakladnoi, ۱۹۸۲. Industrial application of radiation deinfestation of grain. Translated from atomnaya energiya, vol. ۵۲(۱), p. ۵۷-۵۹.
- [۲] Wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions: report of a Joint FAO/IAEA/WHO expert committee, Geneva, ۸-۱۲ April ۱۹۶۹.
- [۳] Metta, V. c. & Johnson, B. c. (۱۹۵۹). Use of Ionizing Radiation to Preserve Food. Agric. Food chem., ۷, ۱۳۱
- [۴] H. Srinivas, H. N. Ananthaswamy, U.K. Vakil and A.Sree H. Srinivas, H. N. Ananthaswamy, U.K. Vakil and A.Sreenivasan. ۱۹۷۲, Effect of gamma radiation on wheat proteins. Journal of food science, volume ۳۷, ۷۱۵-۷۱۸.
- [۵] H.N. Ananthaswamy, U.K. Vakil and A.Sreenivasan. ۱۹۷۰, Effect of gamma radiation on wheat starch and its components. Journal of food science, volume ۳۵, ۷۹۵-۷۹۸.
- [۶] David Seddon, The Origins and Development of Agriculture in East and Southern Africa.
- [۷] S. Çelik, A. Başman, E. Yalçın, H. Köksel, Effects of Irradiation on Protein Electrophoretic Properties, Water Absorption and Cooking Quality of Dry Bean and Chickpea, Agricultural and Food Sciences. ۲۰۰۴.
- [۸] H. Srinivas, H. Ananthaswamy, U. Vakil, A. Sreenivasan, EFFECT OF GAMMA RADIATION ON WHEAT PROTEINS. Journal of Food Science. ۱۹۷۲.
- [۹] S. Lai, K. F. Finney, M. Milner, Treatment of wheat with ionizing radiations. ۴. Oxidative, physical, and biochemical changes. Environmental Science, Chemistry, Agricultural and Food Sciences. ۱۹۵۹
- [۱۰] P. Dikkala, S. Shirisha, Irradiation of Starch and Its Effect on Pasting Properties: A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. ۲۰۱۸.
- [۱۱] Sang Kuk Kim, Shin-Young Park, H. Kim, Characterization of physicochemical properties of starch in barley irradiated with proton beam. Agricultural and Food Sciences, Environmental Science the Korean Journal of Crop Science. ۲۰۱۳.



[۱۲] B.R. Manupriya, Lathika, H.M. Somashekarappa, S.L. Patil, K.B. Shenoy, Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flou (*Triticum aestivum*, L.), <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108693>. ۲۰۲۰.



تأثیر بازدارنده اوره‌آز و کاربرد کود زیستی بر انتشار گاز گلخانه‌ای N_2O مشتق شده از کود با

استفاده از تکنیک ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ (کد مقاله : ۱۵۶۰)

میرخانی، رایحه^۲ - درکن، گرد^۲ - هود-نووتنی، ربکا^۳ - کنک هنگ، لی^۴ - جباری ملایری، مهسا^۵ - ناصریان
خیابانی، بهنام^۱ - شرفاء، مهدی^۶

۱. سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

۲. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (سایبرزدرف)، آزمایشگاه مدیریت خاک، آب و تغذیه محصول

۳. دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی وین (دانشگاه بوکو)

۴. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (وین)، بخش مدیریت خاک، آب و تغذیه محصول

۵. وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، گروه محیط زیست

۶. دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

چکیده:

افزودن کودهای نیتروژن‌دار به خاک‌های کشاورزی به عنوان بزرگترین منبع انسانی گاز گلخانه‌ای N_2O شناخته شده است. فعالیت‌های کشاورزی مسئول حدود ۵۹٪ انتشار گاز نیتروژن اکساید با منشأ انسانی می‌باشند. مدیریت نیتروژن با عوامل زنده و غیرزیست خاک برای انتشار شاره‌های N_2O تعامل دارند. این مطالعه با هدف بررسی اثر مهارکننده آنزیم اوره‌آز (UI) و کود زیستی (BI) بر میزان انتشار تجمعی N_2O و همچنین $^{15}N_2O$ مشتق شده از کود اوره مصرفی انجام شد. بدین منظور، یک آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه آزمایشی دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی (BOKU) واقع در شرق وین (اتریش) در سال ۱۴۰۱ با استفاده از اوره نشاندار شده (۵ اتم درصد اضافه) و کاربرد off-axis integrated cavity output spectroscopy بر روی گندم اجراء شد. در این مطالعه، "مبادله آلودگی" مشاهده شد و تصعید کمتر گاز آمونیاک بدلیل پوشش‌دار کردن اوره با مهار کننده آنزیم اوره‌آز باعث افزایش انتشار تجمعی N_2O و $^{15}N_2O$ مشتق شده از کود اوره نشاندار شد. کلمات کلیدی: اوره نشاندار، $^{15}N_2O$ ، گندم.

Impact of urease inhibitor and biofertilizer application on N_2O emissions derived from fertilizer using ^{15}N isotope technique

Mirkhani, Rayehe^{۱, ۲*} - Dercon, Gerd^۲ - Hood-Nowotny, Rebecca^۳ - Keng Heng, Lee^۴ - Jabbari Malayeri, Mahsa^۵ - Naserian Khiyabani, Behnam^۱ - Shorafa, Mehdi^۶

^۱ Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI)

^۲ Joint FAO/IAEA Centre of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Soil and Water Management and Crop Nutrition Laboratory

^۳ University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU)

^۴ Joint FAO/IAEA Centre of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Soil and Water Management and Crop Nutrition Section

^۵ Ministry of Energy, Water Research Institute, Environment Department

^۶ University of Tehran, Department of Soil Science Engineering

Abstract:



The addition of nitrogen (N) fertilizers to agricultural soils has been identified as the largest anthropogenic source of the greenhouse gas N_2O to the atmosphere. N management options interact with soil biotic and abiotic factors to drive the outcome of N_2O fluxes. This study aimed to investigate the effect of urease inhibitor (UI) and biofertilizer (BI) on the emission of N_2O derived from fertilizer. A field experiment on wheat was conducted at the experimental station of the University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) located east of Vienna (Austria). Nitrogen- ^{15} and off-axis integrated cavity output spectroscopy were used for this experiment. In this study, "pollution swapping" was found, in which lower volatilization losses due to UI led to increased emissions of N_2O and $^{15}N_2O$ from labeled urea fertilizer.

Keywords: Labeled urea, $^{15}N_2O$, wheat.

۱- مقدمه

نیتروژن اکساید (N_2O) یک گاز گلخانه‌ای مهم است و خاک نیز به عنوان بزرگترین منبع انسانی تولید گاز نیتروژن اکساید شناخته شده است [1]. فعالیتهای کشاورزی مسئول حدود ۵۹٪ انتشار این گاز با منشاء انسانی میباشند [2]. منابع مختلف انتشار نیتروژن اکساید شامل استفاده از کودهای شیمیایی، سوزاندن بقایای گیاهی و فعالیتهای صنعتی میباشند [3]. بدلیل ماندگاری بالا در اتمسفر، این گاز نقش قابل توجهی در افزایش دمای جهانی دارد [4]. قبل از سال ۱۹۵۰ انتشار مستقیم یا غیرمستقیم N_2O در نتیجه استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی کمتر از ۵۰ درصد بود ولی در نتیجه استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژندار، در سال ۱۹۹۶ دو سوم انتشارات نیتروژن اکساید در نتیجه تولید محصول گزارش شد [5]. انتشار این گاز در نتیجه فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بستگی به میزان نیتروژن موجود در خاک [6] و همچنین نوع کود شیمیایی نیتروژندار دارد [7].

ارائه برنامه‌های مدیریتی برای کاهش انتشار N_2O تنها زمانی میتواند موفقیت‌آمیز باشد که بر اساس اندازه‌گیری دقیق همراه با درک فرآیندهای آن باشد [8]. برای این منظور، تکنیکهای هسته‌ای و ایزوتوپی مزیت‌های نسبی و رقابتی نسبت به روشهای دیگر دارند، زیرا توانایی منحصر به فردی برای اندازه‌گیری دقیق میزان انتشار، شناسایی منابع تولید آنها و همچنین سرنوشت مواد مغذی در اکوسیستمهای کشاورزی از ذخیره‌سازی در خاک تا انتقال به محیطهای آبی و انتشار به اتمسفر را ارائه میدهند [8]. استفاده از ایزوتوپهای پایدار اطلاعاتی را در مورد فرآیندهای کشاورزی فراهم میکند که در صورت استفاده از روشهای مرسوم دستیابی به این اطلاعات امکانپذیر نیست [9]. اندازه‌گیری ایزوتوپ پایدار نیتروژن دارای مزیت‌هایی نسبت به تکنیکهای غیرهسته‌ای در جهت شناسایی اثرات روشهای مدیریتی مختلف بر انتشار گاز نیتروژن اکساید می‌باشد. اندازه‌گیری میزان انتشار این گاز از خاک با استفاده از کروماتوگرافی گاز GC^{73} (انجام میشود، ولی این روش قادر به تشخیص منبع انتشار (دنیتریفیکاسیون یا نیتریفیکاسیون)، سهم هر یک از فرآیندها و همچنین تفکیک انتشار نیتروژن اکساید حاصل از نیتروژن موجود در کود شیمیایی استفاده شده یا نیتروژن خاک نمیشود و این تنها به وسیله اندازه‌گیری ایزوتوپهای پایدار امکانپذیر است [10] و [11]. این مطالعه با هدف بررسی اثر مهارکننده آنزیم اوره‌آز UI^{74} و کود زیستی BI^{75} بر میزان انتشار تجمعی N_2O از خاک و تفکیک سهم انتشار مشتق شده از کود اوره اضافه شده ($^{15}N_2O$) انجام شد.

۲- روش کار

⁷³ Gas Chromatography

⁷⁴ Urease Inhibitor

⁷⁵ Biofertilizer



یک آزمایش مزرعه‌ای در سال ۱۴۰۱ در ایستگاه آزمایشی دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی (BOKU)، واقع در شرق وین، برای تعیین اثر مهارکننده آنزیم اوره‌آز (UI) و کود زیستی (BI) بر میزان انتشار تجمعی N_2O از خاک و تفکیک سهم انتشار از منبع کود اضافه شده ($^{15}N_2O$) اجراء شد. در این تحقیق از طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل پنج تیمار و چهار تکرار استفاده شد (شکل ۱). هر قطعه اصلی ۹ در ۹ متر بود و یک منطقه حائل ۱/۵ متری بین هر یک از قطعات اصلی منفرد طراحی شد (شکل ۱). تیمارها عبارت بودند از: T_1 (تیمار شاهد - بدون کود T_2 ، N (اوره)، T_3 (اوره + T_4 ، UI (اوره + T_5 ، BI (اوره + $UI + BI$). تمام تیمارها ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مرحله پنجه زنی ($GS\ 31$) به جز تیمار اول دریافت کردند. در این مطالعه از N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) با نام تجاری "Agrotain" به عنوان UI و Azotobacter chroococcum با نام تجاری "AZOTOHELP" به عنوان BI استفاده شد.

شار گاز N_2O خاک و نسبت ایزوتوپی $^{15}N/^{14}N$ در نمونه‌ها با استفاده از روش محفظه ایستا، ۸ بار بین ۳ تا ۸۴ روز پس از مصرف کود اندازه‌گیری شدند (شکل ۱). نمونه‌گیری گازها، در صبح بین ساعت ۸-۱۰، برای به حداقل رساندن تغییرات روزانه و نمایش بهتر میانگین شار روزانه، انجام شد. بدین منظور یک محفظه PVC (ارتفاع ۲۴ سانتی متر و قطر ۲۴ سانتی متر) به عمق ۵ سانتی متر داخل خاک قرار داده شد. محفظه از دو قسمت مجزا تشکیل شده بود که با یک نوار لاستیکی هوابند به هم متصل شده بودند. نمونه‌های گاز در ۰ و ۳۰ دقیقه پس از بستن محفظه‌ها با استفاده از سرنگ ۵۰۰ میلی‌لیتری انجام شد. سپس نمونه گازها بلافاصله از سرنگ به یک کیسه نمونه‌گیری گاز ۱ لیتری از پیش تخلیه شده با فویل چند لایه منتقل شدند. میزان غلظت N_2O در نمونه‌های گاز با استفاده از off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS Los Gatos) آنالیز شدند.

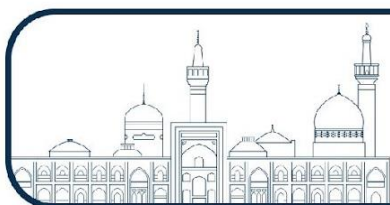
۳- نتایج

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که مهارکننده آنزیم اوره‌آز اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر میزان انتشار N_2O داشته است. با این حال، این اثر تنها در هفته اول پس از مصرف کود نیتروژن‌دار مشاهده شد (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان انتشار N_2O در طی این هفته پس از افزودن کود اوره در تیمار اوره به همراه UI بود که ۱۳۹، ۹۱ و ۷۹٪ بیشتر در مقایسه با تیمارهای اوره + BI، اوره، اوره + $UI + BI$ بود. تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اوره، اوره + BI و اوره + $UI + BI$ در این دوره مشاهده نشد (شکل ۲).

با توجه به توانایی UI در کاهش میزان تصعید آمونیاک، به نظر می‌رسد که تعویض آلودگی از تصعید آمونیاک به انتشار N_2O رخ داده است. انتشار کمتر N_2O در تیمارهای دریافت کننده کود زیستی، در مقایسه با تیمارهای بدون کود زیستی، ممکن است ناشی از توانایی ازتوباکتر در کاهش انتشار N_2O با تثبیت N_2O ، تثبیت N_2 و کاهش N_2O به N_2 باشد.

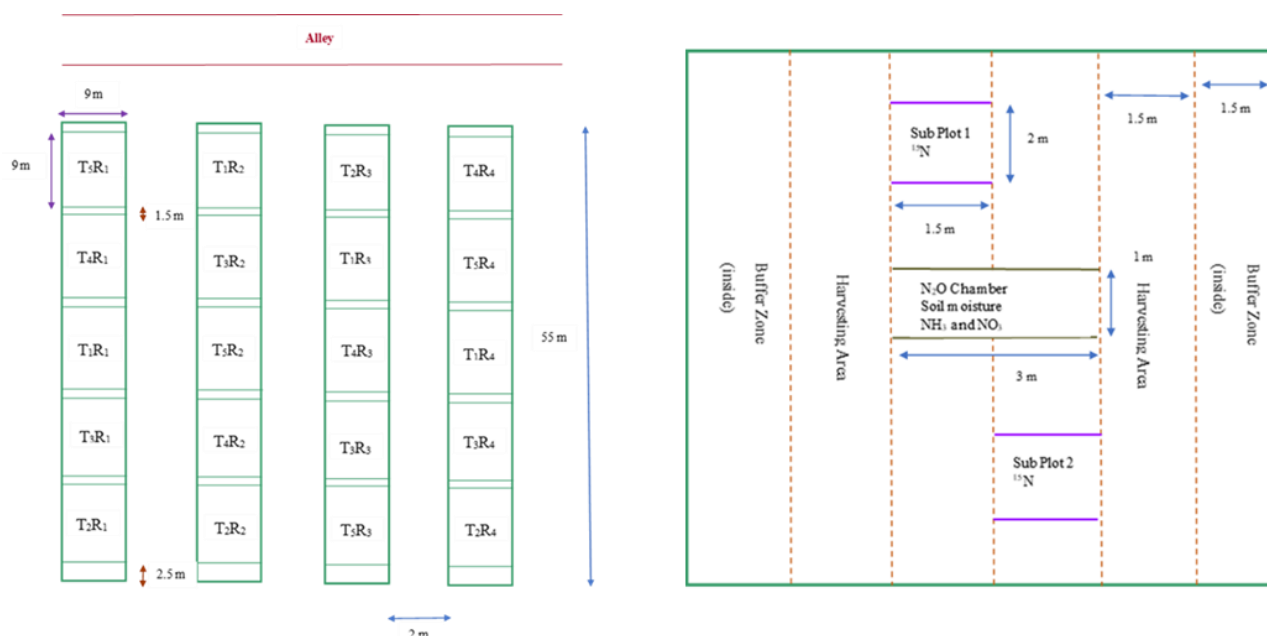
نتایج محاسبه میزان انتشار تجمعی N_2O و انتشار N_2O حاصل از کود اوره نشان‌دار شده ($^{15}N_2O$) در جدول ۱ نشان داده شده است. بالاترین میزان انتشار تجمعی N_2O و $^{15}N_2O$ در تیمارهایی که اوره به همراه UI استفاده شده بود (T_3 و T_5) مشاهده شد. فاکتورهای انتشار در تیمارهای اوره + UI و اوره + $UI + BI$ به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۶۸ درصد بود. در این مطالعه، "مبادله آلودگی" اتفاق افتاده است، به عبارتی تلفات نیتروژن کمتر از مسیر تصعید آمونیاک به دلیل UI باعث افزایش غلظت NO_3-N خاک شده است که سپس انتشار N_2O را در تیمارهای دریافت کننده مهارکننده آنزیم اوره‌آز (T_3 و T_5) افزایش داده است. نتایج میزان انتشار $^{15}N_2O$ و کسر N_2O مشتق شده از کود اوره نشان‌دار نیز تایید کرد که UI باعث افزایش انتشار N_2O از منبع کود نیتروژن‌دار شده است (جدول ۱).

۴- بحث و نتیجه‌گیری



انتشار نیتروژن اکساید از خاک طی فرایندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بستگی به میزان نیتروژن موجود در خاک و همچنین نوع یا ترکیب کود نیتروژن مصرفی دارد. اگرچه مهارکننده آنزیم اوره‌آز از طریق بازدارندگی فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک، سرعت تبدیل اوره به آمونیوم را کاهش می‌دهد و در نتیجه میزان تصعید گاز آمونیاک کاهش می‌یابد ولی در بعضی از موارد می‌تواند باعث تعویض آلودگی گازی شود. به عبارتی کاهش تصعید گاز آمونیاک با افزایش انتشار گاز نیتروژن اکساید همراه شود و در این مطالعه این مساله بخصوص در هفته اول بعد از کاربرد کود اوره بطور معنی‌داری مشاهده شد. کمیسازی و تفکیک میزان انتشار N_2O از منبع خاک و کود با استفاده از ردیاب نیتروژن-۱۵ نیز نشان داد، مهارکننده آنزیم اوره‌آز توانسته است منجر به تعویض آلودگی شود.

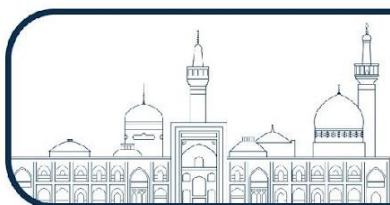
کاربرد کود زیستی باعث کاهش انتشار گاز نیتروژن اکساید شده است و به نظر می‌رسد استراتژی ترکیبی استفاده از مهار کننده آنزیم اوره‌آز به همراه کود زیستی، رویکرد مناسبی در جهت کشاورزی پایدار برای کاهش تلفات گازی (تصعید آمونیاک و انتشار نیتروژن اکساید) از خاک بعد از اعمال کود شیمیایی اوره باشد.



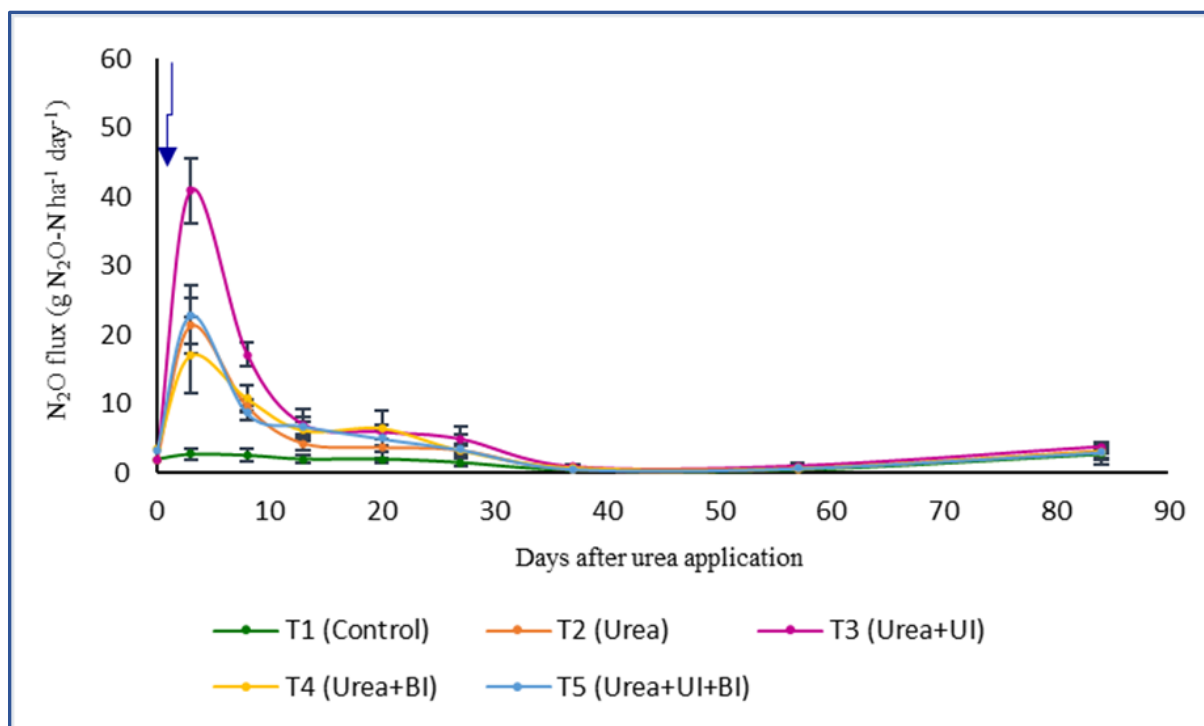
شکل (۱) نمایی از طرح مورد استفاده و طراحی داخل هر پلات

جدول ۱: تاثیر تیمارهای کودی بر انتشار تجمعی N_2O و $^{15}N_2O$

تیمارها	کود اوره نشاندار (kg N ha ⁻¹)	انتشار تجمعی N_2O (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	فاکتور انتشار (%)	انتشار تجمعی $^{15}N_2O$ (kg N ₂ O-N ha ⁻¹)	N_2O مشتق شده از کود اوره نشاندار (%)
تیمار کنترل (شاهد)	-	$0.3/0 \pm 1.0/0$ ^c	-	-	-
تیمار کود اوره	۵۰	$0.3/0 \pm 4.2/0$ ^b	$63/0$ ^b	$0.3/0 \pm 0.6/0$ ^b	15 ^b
تیمار کود اوره + UI	۵۰	$0.4/0 \pm 0.3/0$ ^a	$85/0$ ^a	$0.3/0 \pm 1.4/0$ ^a	26 ^a
تیمار کود اوره + BI	۵۰	$0.5/0 \pm 3.6/0$ ^b	$52/0$ ^b	$0.3/0 \pm 0.4/0$ ^b	12 ^b



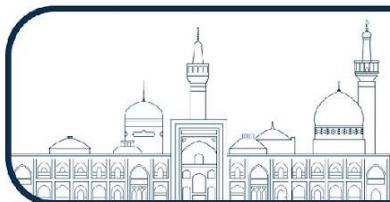
ab ۱۹	ab ۰.۴/۰ ± ۰.۸/۰	ab ۶۸/۰	ab ۰.۴/۰ ± ۴۵/۰	۵۰	تیمار کود اوره + UI + BI
-------	---------------------	---------	--------------------	----	-----------------------------



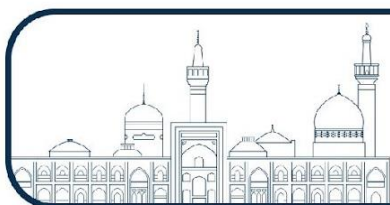
شکل (۲) شار گاز نیتروزاکساید در تیمارهای آزمایشی

۵- مراجع:

- [۱] Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R.B., Piao, S., Thornton, P., ۲۰۱۳. Carbon and other biogeochemical cycles. In: stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change ۲۰۱۳: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University press, Cambridge, UK and New York, NY. In: USA, pp. ۴۶۵-۵۷۰.
- [۲] IPCC, ۲۰۱۴. *Climatechange ۲۰۱۴: Impacts, adaptation and vulnerability*. IPCC working group II contribution to AR۵. IPCC, Geneva, Switzerland www.ipcc-wg2.gov/AR۵/.
- [۳] Thomson, A.J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E.M., Richardson, D.J., ۲۰۱۲. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of The Royal Society B, Biological Sciences*, ۳۶۷ (۱۵۹۳), ۱۱۵۷-۶۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۹۸/rstb.۲۰۱۱.۰۴۱۵>.
- [۴] Signor, D., Cerri, C.E.P., ۲۰۱۳. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, ۴۳ (۳), ۳۲۲-۳۳۸. <https://doi.org/۱۰.۱۵۹۰/S۱۹۸۳-۴۰۶۳۲۰۱۳۰۰۰۳۰۰۰۱۴>.



- [۵] Signor, D., Cerri, C.E.P., Conant, R., ۲۰۱۳. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. *Environmental Research Letters*, ۸ (۱), ۰۱۵۰۱۳. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015013>.
- [۶] Cayuela, M.L., Aguilera, E., Sanz-Cobena, A., Adams, D.C., Abalos, D., Barton, L., Ryals, R., Silver, W.L., Alfaro, M.A., Pappa, V.A., Smith, P., Garnier, J., Billen, G., Bouwman, L., Bondeau, A., Lassaletta, L., ۲۰۱۷. Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: emission factors based on a meta-analysis of available measurement data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, ۲۳۸, ۲۵-۳۵. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.006>.
- [۷] Guzman-Bustamante, I., Winkler, T., Schulz, R., Muller, T., Mannheim, T., Bayas, J.C.L., Ruser, R., ۲۰۱۹. N₂O emissions from a loamy soil cropped with winter wheat as affected by N-fertilizer amount and nitrification inhibitor. *Nutr. Nutrient Cycling in Agroecosystems*, ۱۱۴ (۳), ۱۷۳-۱۹۱. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10000-9>.
- [۸] Huérfano, X., Fuertes-Mendizábal, T., Duñabeitia, M.K., González-Murua, C., Estavillo, J.M., Menéndez, S., ۲۰۲۴. Splitting the application of ۳, ۴-dimethylpyrazole phosphate (DMPP): Influence on greenhouse gases emissions and wheat yield and quality under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, ۶۴, ۴۷-۵۷. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.008>.
- [۹] Wu, Y., Gu, B., Erisman, J.W., Reis, S., Fang, Y., Lu, X., Zhang, X., ۲۰۲۴. PM_{۲.۵} pollution is substantially affected by ammonia emissions in China. *Environmental Pollution*, ۲۱۸, ۸۶-۹۴. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.027>.
- [۱۰] Müller, C., Laughlin, R.J., Spott, O., Rütting, T., ۲۰۱۴. Quantification of N₂O emission pathways via a ¹⁵N tracing model. *Soil Biology & Biochemistry*, ۷۲, ۴۴-۵۴. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.013>.
- [۱۱] Zaman, M., Heng, L., Müller, C., ۲۰۲۱. Methodology for Measuring Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Soils Using Non-Isotopic Techniques. In: Zaman et al (eds) 'Measuring Emission of Agricultural Greenhouse Gases and Developing Mitigation Options using Nuclear and Related Techniques'. Springer ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۰۳۰-۵۵۳۹۶-۸. <https://www.springer.com/gp/book/9783030539601>.



تعیین دز بهینه اشعه گاما در بذور برخی ژنوتیپ های انتخابی محلب (کد مقاله : ۱۵۶۹)

نظامی، اسمعیل^۱، ملکی، سارا^۲، موری، سعید^۱، محمدی، مهدی^۱، شفیقی، مونا^۱

۱. پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کشاورزی هسته ای، کرج

۲. دانش آموخته دکتری دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، زنجان

چکیده:

بذور محلب (*Prunus mahaleb*) بعنوان پایه های رایج ارزشمند در ایجاد باغات آلبالو و گیلان بویژه در بیشتر کشورها از جمله ایران به شمار می روند. در این مطالعه تاثیر دوز های مختلف اشعه گاما (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ یا ۱۰۰ گری) برای اولین بار روی نرخ جوانه زنی و رشد طولی چهار ژنوتیپ مختلف محلب بومی کشور در شرایط گلخانه ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پرتوتابی بذور در بیشتر ژنوتیپ ها با دوز بیش از ۶۰ گری اثر بازدارندگی شدید روی نرخ جوانه زنی بذر داشت. براساس نتایج بدست آمده با استفاده از آنالیز پروبیت، پرتوتابی بذور به ترتیب با ۴۸/۱۸ تا ۵۸/۶۲ گری و ۲۳/۹۵ - ۶۲/۲۴ گری بعنوان مقادیر بهینه با قابلیت کشندگی ۵۰٪ (LD_{۵۰}) و ۵۰٪ کاهش رشد (GR_{۵۰}) مشخص گردید. نتایج این تحقیق می تواند در ایجاد تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ های محلب با اهداف مختلف به نژادی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: *Prunus mahaleb*، پرتو گاما، جوانه زنی بذر، رشد طولی، دوز بهینه.

Determination of optimum dose of gamma irradiation in seeds of some selected mahaleb genotypes

Nezami, Esmaeil^{۱*}, Maleki, Sara^۲, Moori, Saeed, Mohammadi, Mahdi, Shafighi, Mona

۱. Nuclear Science and Technology Research Institute, Nuclear Agriculture School

۲. Ph D. Graduated in University of Zaanjan, Faculty of Agriculture, Department of Production Engineering and Plant Genetics

Abstract:

Mahaleb seeds (*Prunus mahaleb*) are considered as one of important commercial rootstocks for the creation of cherry orchards. In this study effect of different doses of gamma irradiation (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ or ۱۰۰ Gy) for first time, on germination percentage and seedlings height of four different genotypes were investigated. Results revealed the strict deteriorative impact of high doses of gamma-ray irradiation (>۶۰ Gy) on seed germination and subsequent growth and development. Results based on Probit analysis indicated respective ۴۸، ۱۸-۵۶، ۶۲ Gy and ۲۳.۹۵-۶۲.۲۴ Gy as optimum doses for ۵۰٪ lethal dose (LD_{۵۰}) and ۵۰٪ growth reduction (GR_{۵۰}٪). In overall, these results can be employed in creation of genetic diversity of mahaleb genotypes for different breeding objectives

Key words: *Prunus mahaleb*, gamma-rays, germination seed, seedling height, optimum dose



۱- مقدمه:

محب گونه‌ای درختی از خانواده گل‌سرخیان می‌باشد که دارای ۵۷ گونه و ۵ زیر گونه است. این گونه درختی بومی اروپای جنوبی و قفقاز است و در نواحی آفریقای شمالی و غرب آسیا نیز پراکنش دارد. پراکنش این درخت در ایران در جنگل‌های آذربایجان، لرستان، همدان، منطقه بختیاری، دره کرج و کردستان می‌باشد [۱]. رایج‌ترین کاربرد محلب استفاده از آن به عنوان پایه پیوندی برای گیل‌های ترش و شیرین است. دلیل این امر مقاوم و غیرحساس بودن محلب نسبت به بسیاری از بیماری‌ها است. ارزش اقتصادی محلب در تزئین باغات نیز مطرح است زیرا شاخه‌های آویزان آن در پاک‌سازی اهمیت خاصی دارند. همچنین از برگ و میوه محلب در صنعت رنگ‌سازی استفاده می‌شود. قسمت‌های خوراکی مورد استفاده محلب، میوه و هسته آن می‌باشند. از هسته‌های آن در شیرینی‌سازی، تولید نان و بیسکویت‌سازی استفاده می‌شود. همچنین از هسته‌های خشک شده آن در یونان، ترکیه و ارمنستان به عنوان چاشنی غذا استفاده می‌شود که البته با توجه به تولید سیانید هیدروژن باید در نهایت احتیاط مصرف شود [۲]. با توجه به نقش پایه در میزان رشد رویشی، زود رسی، میزان عملکرد و مقاومت در برابر بیماری‌ها، انتخاب پایه مناسب نقش بسزایی در برنامه مدیریت باغ خواهد داشت. مشکلی که در حال حاضر در باغ‌های گیل‌کشور مشاهده می‌شود، رشد بیش از حد درختان روی پایه بذری آلبالو تلخ است. در ارتباط با پایه‌های موجود، که هدف شناسایی و انتخاب پایه‌های پاک‌تاه مناسب درختان گیل‌باشد، در کشور تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. بررسی تحقیقات انجام شده در سایر نقاط دنیا نشان می‌دهد که پایه‌های اولیه مورد استفاده در گیل‌ها از سلکسیون نهال‌های بذری توده‌های محلب، آلبالو شیرین و عمدتاً گیل‌ها بدست آمده‌اند [۳]. یکی از روش‌های شناخته شده برای افزایش تنوع ژنتیکی و متعاقب آن انتخاب ژنوتیپ‌های موتانت براساس صفات مطلوب، استفاده از اشعه گاما می‌باشد. پرتوتابی با اشعه گاما با ایجاد تغییرات سیتولوژی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در سلول‌ها و بافت، بواسطه تولید رادیکال‌های آزاد در سلول، بر رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد. دزهای بالای پرتو گاما اثرات بازدارنده دارند در حالیکه دزهای پایین‌تر ممکن است محرک جوانه‌زنی و رشد باشند [۴، ۵]. این پروژه با هدف تعیین دز بهینه و تاثیر اشعه گاما در رشد طولی در ایجاد تنوع ژنتیکی بذور ژنوتیپ‌های انتخابی موجود در کلکسیون تحقیقاتی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری انجام شد.

۲- روش کار:

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۳ در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج واقع در استان البرز انجام شد. این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بر روی چهار ژنوتیپ محلب تحت عناوین ژنوتیپ A، ژنوتیپ B، ژنوتیپ C و ژنوتیپ D و پنج دز پرتو دهی گاما (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ گری) در مجموعه آزمایشگاه‌ها و گلخانه‌های تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج به اجرا درآمد. میوه‌های رسیده ژنوتیپ‌های انتخابی پس از انتقال از کلکسیون تحقیقاتی علوم باغبانی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، با دقت ژلاتین روی بذور شستشو شده و به مدت ۳ ماه در داخل کیسه‌های پلاستیکی حاوی ترکیب پیت ماس و پرلیت استریل مرطوب در دمای ۴ درجه سانتی-گراد نگهداری شدند. سپس پایش بذرها به صورت مرتب تا زمان جوانه‌زنی انجام گرفت. پرتو دهی بذور ژنوتیپ‌های انتخابی بلافاصله پس از جوانه‌زنی در دستگاه گاماسل با منشا کبالت ۶۰ انجام گرفت. متعاقباً بذور تیمار شده به گلدان‌های حاوی بستر کشت پیت ماس:پرلیت منتقل شدند. بعد از سه ماه درصد رشد بذور و ارتفاع گیاه (برحسب سانتی-متر) اندازه-گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها به صورت تجزیه واریانس توسط نرم افزار SAS ۹.۴ صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel ۲۰۱۹ انجام گرفت.



۳- نتایج و بحث:

جوانه‌زنی بذور محلب بدلیل وجود خواب فیزیولوژیکی و مکانیکی همواره یکی از مشکلات اصلی در استفاده از بذور در برنامه‌های تکثیر و به‌نژادی به شمار می‌رود [۶]. در تحقیقی پیش تیمار بذور محلب مدت ۴ ماه بعنوان یکی از روشهای موثر در شکستن خواب بذور معرفی گردید [۷]. در این مطالعه پیش تیمار سرما با دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ماه منجر به جوانه زنی ۱۰۰ درصدی بذور گردید (جدول ۱) که با نتایج سایرین [۷] مطابقت دارد. در این مطالعه به منظور تعیین دز بهینه بذور ژنوتیپ‌های مختلف بلافاصله پس از جوانه زنی با دزهای مختلف اشعه گاما (۲۰-۱۰۰ گری) پرتوتابی شدند. نتایج بدست آمده با استفاده از آنالیز پروبیت [۸] بیانگر تاثیر منفی دزهای بالا روی رشد جوانه‌ها بود بطوریکه در دزهای بالاتر از ۴۰ گری رشد جوانه‌ها با کاهش شدید مواجه شد. براساس نتایج آنالیز پروبیت (جدول ۲ و شکل ۱) دز بهینه LD_{50} دوز با نرخ کشندگی ۵۰ درصد) از ۴۸/۱۸ تا ۵۸/۶۲ گری متغیر بود.

جدول ۱ تاثیر دزهای مختلف اشعه گاما روی درصد جوانه زنی و رشد طولی بذور ژنوتیپ‌های مختلف محلب

اشعه گاما (گری)	ژنوتیپ A	ژنوتیپ B	ژنوتیپ C	ژنوتیپ D
درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
رشد طولی	رشد طولی	رشد طولی	رشد طولی	رشد طولی
جوانه زنی	جوانه زنی	جوانه زنی	جوانه زنی	جوانه زنی
کنترل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۰	۹۲	۱۰۰	۱۰۰	۷۱
۴۰	۹۲	۱۰۰	۹۴	۸۸
۶۰	۲۰	۴۹	۶۵	۲۸
۸۰	۰	۱۶	۰	۰
۱۰۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۲ آنالیز پروبیت روی تاثیر پرتوتابی گاما روی نرخ جوانه زنی و رشد طولی گیاهان در ژنوتیپ‌های مختلف محلب

دز (گری)	لگاریتم دزها بر مبنای ۱۰	دز کشندگی ^{۷۶} در ژنوتیپ A	دز کشندگی در ژنوتیپ B	دز کشندگی در ژنوتیپ C	دز کشندگی در ژنوتیپ D
مقادیر	مقادیر	مقادیر	مقادیر	مقادیر	مقادیر
اصلاح	اصلاح	اصلاح	اصلاح	اصلاح	اصلاح
شده ۷۷٪	شده ۷۸٪	شده ۷۹٪	شده ۸۰٪	شده ۸۱٪	شده ۸۲٪
کنترل	-	-	-	-	-
۲۰	۱/۳	۷/۶۹	۴/۰۰	۳/۵۸	۴/۱۵
۴۰	۱/۶	۸/۱۶	۳/۹۱	۹/۰۹	۴/۲۰
۶۰	۱/۷۷	۸۰/۴۳	۵/۸۴	۵۱/۱۶	۵/۵۶

^{۷۶} Lethal dose

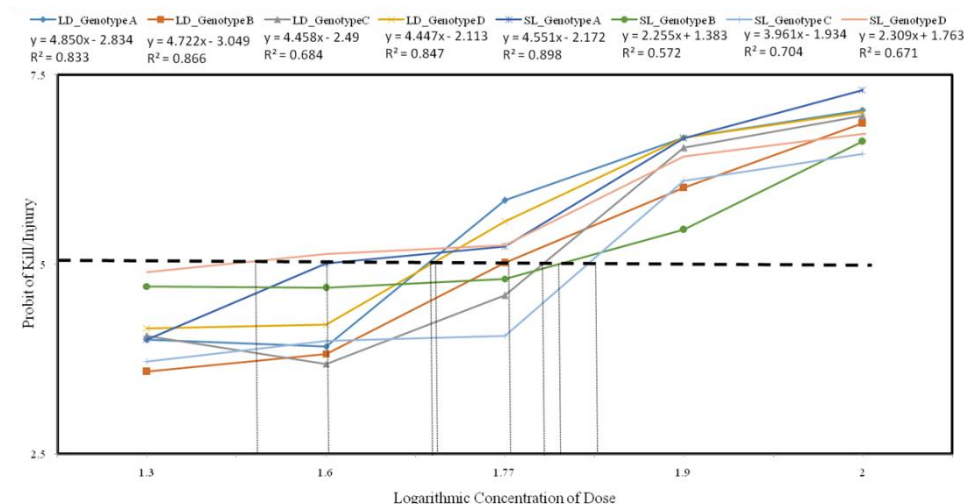
^{۷۷} Corrected mortality

^{۷۸} Working probit



۶/۶۷	۹۶	۶/۵۳	۹۶	۶/۰۰	۸۴/۴۴	۶/۶۷	۹۶	۱/۹	۸۰
۷/۰۰	۹۸	۶/۹۵	۹۸	۶/۸۵	۹۸	۷/۰۳	۹۸	۲	۱۰۰
رشد طولی در ژنوتیپ D		رشد طولی در ژنوتیپ C		رشد طولی در ژنوتیپ B		رشد طولی در ژنوتیپ A		لگاریتم دزها بر مبنای ۱۰	دز (گری)
پروبیتم	مقادیر	پروبیتم	مقادیر	پروبیتم	مقادیر	پروبیتم	مقادیر		
های	اصلاح	های	اصلاح	های	اصلاح	های	اصلاح		
عملی	شده. %	عملی	شده. %	عملی	شده. %	عملی	شده. %		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	کنترل
۴/۹	۵۴/۰۱	۳/۷۲	۳/۹۷	۴/۷۱	۳۴/۵۸	۴/۰۰	۱۴/۷۸	۱/۳	۲۰
۵/۱۳	۵۶/۱۳	۳/۹۹	۱۵/۱۸	۴/۶۸	۳۷/۴۰	۵/۰۱	۵۶/۱۶	۱/۶	۴۰
۵/۲۵	۶۴/۴۲	۴/۰۵	۲۰/۱۲	۴/۸۱	۴۴/۷۳	۵/۲۳	۵۸/۰۷	۱/۷۷	۶۰
۶/۴۲	۹۲/۹۳	۶/۰۹	۸۹/۳۳	۵/۴۵	۶۸/۹۰	۶/۶۶	۹۵/۵۱	۱/۹	۸۰
۶/۷۱	۹۶/۶۵	۶/۴۵	۹۴/۲۹	۶/۶۱	۹۷/۷۴	۷/۲۹	۹۹/۳۳	۲	۱۰۰

یکی از اهداف اصلی پروژه های به نژادی مرتبط با محلب، القاء پاکوتاهی در ژنوتیپ های با رشد نامحدود می باشد. براساس نتایج بدست آمده در این مطالعه بیشترین میزان رشد طولی با اختلاف معنی دار در ژنوتیپ های انتخابی در شرایط کنترل مشاهده گردید. افزایش دز پرتوتابی گاما، منجر به کاهش بسیار معنی دار در نرخ رشد طولی گردید. بطوریکه اثر بازدارندگی دزهای بیش از ۶۰ گری در تمامی ژنوتیپ ها محرز بود..



شکل ۱ آنالیز پروبیتم تاثیر پرتوتابی گاما روی درصد جوانه زنی و رشد طولی ژنوتیپ های مختلف محلب. LD: دز کشندگی، SL: رشد طولی



۴- بحث و نتیجه گیری:

براساس نتایج بدست آمده، پرتوتابی بذور به ترتیب با ۴۸/۱۸ تا ۵۸/۶۲ گری و ۲۳/۹۵-۶۲/۲۴ گری بعنوان مقادیر بهینه برای LD^{۵۰} و GR^{۵۰} مشخص گردید

۵- مراجع:

[۱] ثابتی ح. جنگلها، درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات دانشگاه یزد. ۸۰۷ صفحه. ۱۳۸۱

۲. Karaman S, AL-Salemm M. Breaking dormancy in *Arbutus andrachne* L. seeds by stratification and gibberellic acid. *Seed Sci Technol.* ۲۰۰۱;۲۹:۵۱-۶.

۳. Hrotkó K. Potentials in *Prunus mahaleb* L. for cherry rootstock breeding. *Sci Hortic (Amsterdam).* ۲۰۱۶;۲۰۵:۷۰-۸.

۴. Mokobia C, Anomohanran O. The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops. *J Radiol Prot.* ۲۰۰۵;۲۲:۱۸۱-۸.

۵. Ramchander S, M. T. A-P-L, Khan YJ, Souframanien J, Arumugam Pillai M. Molecular and physiological characterization of early semi-dwarf mutants of rice and localization of SNP variants in *Sd^۱* locus generated through gamma radiation. *Int J Radiat Biol.* ۲۰۲۴;۱۰۰:۶۵۰-۶۲.

۶. Wunnoo S, Maneerat T, Lerslerwong L, Voravuthikunchai SP, Kunwanlee P. Effective techniques to break seed dormancy in *Rhodomyrtus tomentosa* (Aiton) Hassk. for seed germination enhancement. *J Appl Res Med Aromat Plants.* ۲۰۲۴;۴۲:۱۰۰۵۵۸.

۷. Pipinis E, Milios E, Mavrokordopoulou O, Gkanatsiou C, Aslanidou M, Smiris P. Effect of pretreatments on seed germination of *Prunus mahaleb* L. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca.* ۲۰۱۲;۴۰:۱۸۳.

۸. Subrahmanyeswari T, Gantait S, Kamble SN, Singh S, Bhattacharyya S. Radio-sensitivity assessment of in vitro tissues of stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) for induced mutagenesis. *Sugar Tech.* ۲۰۲۳;۲۵:۱۵۲۰-۳۰.



یکی از ما شوید!
انجمن هسته ای ایران

انجمن برتر کشور در سال ۱۴۰۲

🌐 NSI.IR ✉ INFO@NSI.IR

سی و یکمین کنفرانس هسته‌های ایران



۲۳-۲۵ اردیبهشت ۱۴۰۴ | مشهد

I N C 3 1 . N S I . I R



پژوهشگاه علوم و فنون
هسته ای ایران



سازمان انرژی اتمی ایران



انجمن هسته ای ایران