



طراحی و شبیه‌سازی مونت کارلویی به منظور ساخت اولین سامانه بومی پرتودهی در جای فعال و غیر فعال برای مواد غذایی

کبیر، مصطفی*^(۱) - اطاعتی، غلامرضا^(۱)

^۱دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

پرتودهی مواد غذایی، دارویی، خشکبار و سایر اقلامی که نیاز به استریلیزاسیون دارند، امروزه یکی از جمله مهم‌ترین و وسیع‌ترین کاربرد پرتوها در صنعت محسوب می‌شود. بدین منظور سامانه‌های پرتودهی در مقیاس‌های گوناگون ساخته می‌شوند. این مقاله رهیافتی است بر ادامه مقالاتی که پیش از این در باب شبیه‌سازی این سامانه منتشر شده است. هدف از اجرای این طرح، محاسبات، شبیه‌سازی، طراحی پایه، طراحی مهندسی و ارزیابی برای ساخت یک سامانه پرتودهی محلی (درجا) با ابعاد کوچک برای محل تولید انواع مواد غذایی است. در این پروژه با استفاده از کد مونت کارلویی MCNPX2.7e محاسبات میزان دز تجمعی، آهنگ دز، دز معادل محیطی، پیکربندی و اکتیویته بهینه چشمه‌های میله ای کبالت-۶۰، حفاظ سازی، تحلیلی ابعادی و سایر ملاحظات فیزیکی و مهندسی در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها با سایر کدهای مونت کارلویی ترابرد فوتون‌ها اعتبارسنجی شده‌اند و دارای توافق بسیار مناسبی بودند. نوآوری این پروژه در طراحی، پیاده‌سازی آسان و استفاده در دو مد کاری فعال^۱ و غیرفعال^۲ است.

کلمات کلیدی: سامانه پرتودهی درجا، استریلیزاسیون، گاما، کبالت-۶۰، شبیه‌سازی مونت کارلویی

مقدمه:

پرتودهی مواد غذایی روشی است که در آن با استفاده از پرتوهای یون ساز همچون باریکه‌های الکترون، پرتوی ایکس و گاما انواع مواد خوراکی را به منظور سترون (استریل) کردن، افزایش زمان نگهداری، جلوگیری کردن از جوانه زدن و افزایش برخی خواص ویژه آن‌ها، پرتودهی می‌کنند [۴-۱]. از بین بردن میکروارگانیسم‌های زنده دیگر نظیر باکتری‌ها و ویروس‌ها نیز از جمله اهداف یک برنامه پرتودهی می‌تواند باشد. این عمل با اعمال دز معینی از انواع پرتوها به ماده مورد نظر انجام می‌شود [۵].

^۱Active

^۲Passive



با افزایش اطمینان و تجربه در این تکنولوژی، کاربردهای وسیع‌تر و در نتیجه ابزار و تجهیزات بیشتری در این زمینه معرفی و ساخته شد. رقابت سازندگان و متخصصین این صنعت نه تنها در زمینه ارائه تجهیزات کارا تر بلکه در زمینه بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های پرتو دهی می‌باشد.

در میان سیستم‌های پرتو دهی مختلف، استفاده‌ی بیش از ۲۰۰ مرکز تجاری تحقیقاتی پرتو دهی گامای حاصل از چشمه $Co-60$ در سراسر جهان و نیز در اختیار داشتن ۸۰ درصد بازار جهانی توسط سیستم‌های پرتو دهی گاما بیانگر سرعت رشد و قابلیت‌های بالای پرتو فرآوری سیستم‌های پرتو دهی گاما می‌باشد، که همین مسئله توجیه‌کننده‌ی افزایش ۶ درصدی سالانه‌ی استفاده از $Co-60$ در جهان است. بررسی اخیر IAEA بیانگر فعالیت درصد بالایی از سیستم‌های پرتو دهی گاما (۸۵٪) در زمینه استرلیزاسیون تجهیزات پزشکی و محصولات کشاورزی است [۶].

سامانه‌های پرتو دهی بزرگ هزینه اولیه بسیار هنگفتی را می‌طلبند. از این رو نیاز است تا در جای جای کشور سامانه پرتو دهی کوچک که اصطلاحاً بدان سامانه‌های پرتابل یا محلی گفته می‌شود، ساخته شود. استفاده از سیستم‌های پرتو دهی گاما و مشخصاً پرتو دهنده‌های گامای پرتابل به این منظور نسبت به سایر سیستم‌های پرتو دهی از مزایای بسیاری نظیر استفاده از محصول مورد پرتو دهی بلافاصله پس از پرتو دهی، امکان نصب و برچیدن ساده، حداقل افزایش دما طی پروسه‌ی پرتو دهی، قابلیت پرتو دهی محصولات بسته‌بندی شده به دلیل نفوذپذیری بالای پرتوی گاما، کنترل راحت فرآیند پرتو دهی، امکان پرتو دهی انواع و اقسام مواد غذایی با توجه به نوع آن‌ها برخوردار است [۷]. در ایران تاکنون تنها سامانه‌های بزرگ صنعتی در چند شهر ایران نظیر تهران، یزد، بناب و شهرکرد ساخته شده است که نیاز است این قبیل سامانه‌های کوچک محلی تمام شهرهای ایران ساخته شود [۸]. همچنین سامانه دیگری نیز در آذرشهر به منظور پرتو دهی لپه امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سامانه کوچک تنها در مد فعال (اکتیو) کار می‌کند و مشابه مدل‌های نوردیون کاناداست.

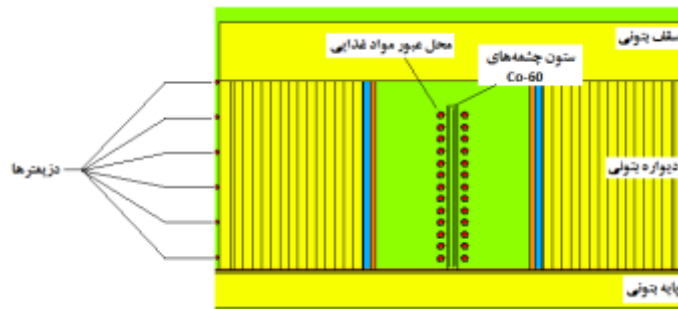
روش کار :

کلیت پروژه شامل دو بخش اساسی است. مرحله اول شبیه‌سازی‌های مونت کارلویی به منظور به دست آوردن پارامترهای اصلی و تعیین مشخصه‌های کلی سیستم است. شبیه‌سازی‌های مونت کارلویی به منظور به دست آوردن پیکربندی چینش مناسب چشمه‌های کبالت-۶۰ برای رسیدن به حدود دز مناسب برای پرتو دهی مواد غذایی انجام شد [۹]. سپس به منظور کاهش میزان دز پرتویی و رسیدن به آهنگ دز معادل مجاز مطابق با قوانین حفاظت در برابر اشعه و حفاظت‌سازی پرتویی شبیه‌سازی‌ها صورت گرفت [۱۰].

به عنوان ورودی مرحله دوم که همانا طراحی پایه مهندسی است، قرار می‌گیرد. در ابتدا هندسه کلی سامانه طراحی شد و در کدهای شبیه‌ساز MCNPX2.7e پیاده‌سازی گشت. سپس نتایج شبیه‌سازی‌ها به عنوان مقادیر قابل اتکا برای ساخت به مراحل طراحی پایه و مهندسی داده شد. خلاصه‌ای از اهم فعالیت‌های شبیه‌سازی در ادامه آورده شده است.

شبیه‌سازی مونت کارلویی

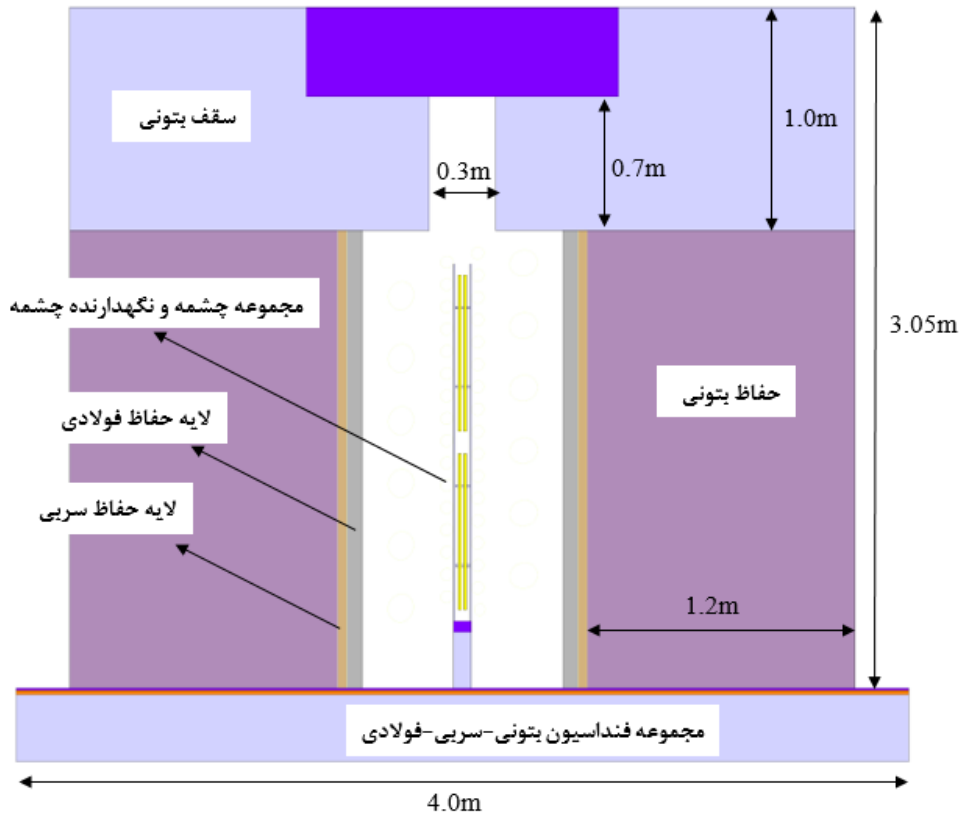
حدود دز پرتودهی برای گستره وسیعی از مواد غذایی طبق استانداردهای بین‌المللی از ۰/۲ تا ۱۰ کیلوگری می‌تواند متغیر باشد. در این پروژه در ابتدا با استفاده از کد مونت کارلویی MCNPX محاسبات دزیمتری برای تعیین چینش بهینه چشمه‌های میله‌ای کبالت-۶۰ در یک سامانه پرتودهی کوچک پرتابل مورد بررسی واقع شد [۹]. همانگونه که هندسه مجموعه شبیه‌سازی شده در شکل ۱ نشان داده شده است، محاسبات آهنگ دز معدل در پشت دیواره، ناحیه عبور مواد غذایی، غذایی، چشمه‌ها و نگهدارنده آنها و سقف، دیواره و پایه بتونی و نوع قرارگیری آن‌ها نشان داده شده است. تالی‌های مورد استفاده از نوع ۵ بصورت الحاقی با کارت‌های پیش‌فرض df برای این منظور استفاده شد و اجرای کد تا رسیدن به حداقل میزان خطای نسبی قابل قبول محاسبات (کمتر از ۵ درصد) ادامه یافت. هندسه‌های موجود شامل اکتیویته‌های ۲/۵، ۵/۰، ۷/۵، ۱۰/۰، ۱۲/۵، ۱۵/۰ و ۱۷/۵ کیلوکوری بودند.



شکل شماره (۱). هندسه شبیه‌سازی و محل استقرار گوی‌های دزیمتری برای یافتن ضخامت بهینه حفاظ.

طراحی فنی پایه

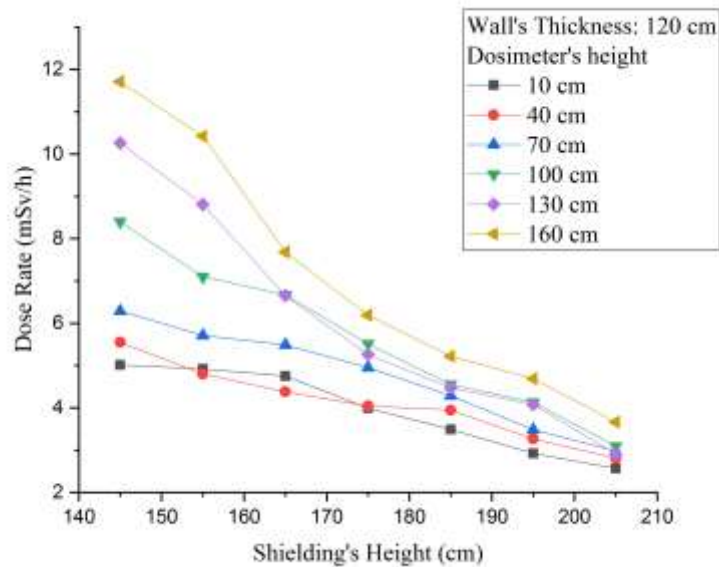
اجزای فیزیکی سامانه همانگونه که ذکر شد، شامل دو بخش داخلی و خارجی است. بخش داخلی، مجموعه چشمه‌ها و نگهدارنده چشمه‌ها است و بخش خارجی آن شامل ممرهای عبور مواد غذایی، پایه بتونی و حفاظ‌های پرتویی اطراف می‌باشد. ذکر این نکته نیز لازم است که طراحی‌ها و انتخاب اجزا به گونه‌ای صورت پذیرفته است که از لحاظ اقتصادی کمترین هزینه‌ها متوجه پروژه شود. نمایی از طراحی این سیستم در شکل ۲ با معرفی اجزا نمایش داده شده است.



شکل شماره (۲) نمای برش طولی از حفاظ، سقف و محل قرار گیری چشمه‌ها.

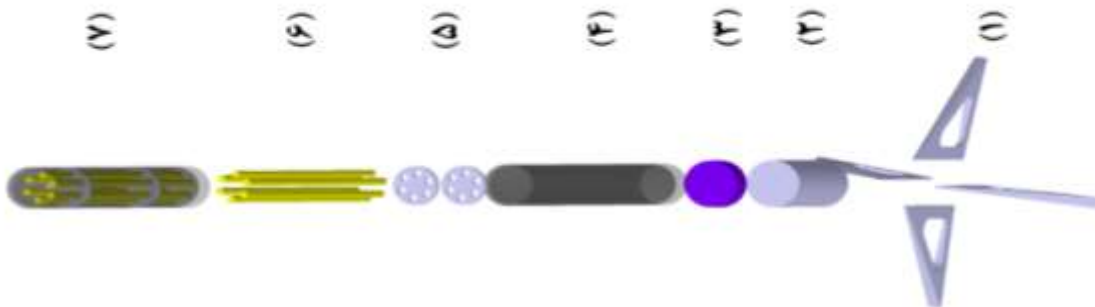
نتایج :

با توجه به محدودیت فضا و هندسه، زمان در معرض قرار گرفتن مواد غذایی مورد محاسبه واقع شد. محاسبات نشان دادند زمانی که از ۶ چشمه مدادی پرتوزای کبالت-۶۰ با اکتیویته ۱۵/۰ کیلوکوری در پیکربندی ۶- ضلعی منتظم می‌تواند ایده‌آل‌ترین چپش برای داشتن بیشینه دز جذبی مجاز برای مواد غذایی خشک باشد [۹]. همچنین پیکربندی‌های مختلف حفاظ جانبی و سقف از جنس‌های گوناگون مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که ضخامتی معادل ۱۲۰ سانتی‌متر بتون به صورت تلفیقی با یک لایه سرب و فولاد به ضخامت‌های ۴ و ۱۰ سانتی‌متر می‌تواند آهنگ دز مجاز را در پشت دیواره حاصل نماید. نتایج این محاسبات حفاظ‌سازی در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. علت استفاده از یک لایه فولاد به منظور اتصالات مکانیکی و امکان جوش و پرچ اجزای فتر داخلی و نگهدارنده‌ها با آن است. از یک لایه سرب هم به منظور حایل بین فولاد و بتون به منظور جلوگیری از خوردگی فولاد توسط آب موجود در بتون استفاده شد.



شکل شماره (۳) تغییرات آهنگ دز در پشت دیواره به ضخامت ۱۲۰ سانتی متر.

اجزای بخش داخلی در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است.

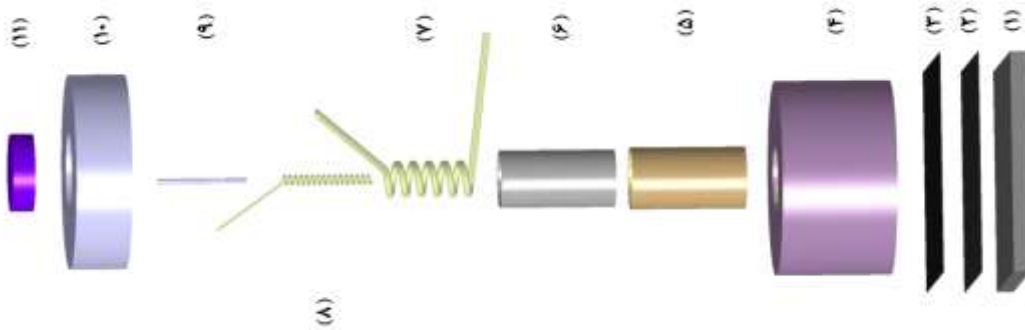


شکل شماره (۴) طرحواره انفجاری اجزای داخلی سامانه پرتودهی شامل چشمه.

همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، نحوه چینش بخش داخلی به گونه‌ای است که به ترتیب از بالا به پایین و عمودی، به وسیله جرتقیل می‌توانند روی هم قرار بگیرند.

در شکل ۴ مجموعه چشمه و نگهدارنده چشمه‌ها به ترتیب قرارگیری عبارتند از:

- (۱) پایه‌های نگهدارنده (۲) پایه فلزی نگهدارنده فولادی (۳) فاصله‌پرکن آلومینیومی (۴) نگهدارنده از جنس آلومینیوم (۵) نگهدارنده‌های چشمه میله ای کبالت-۶۰ (۶) چشمه های کبالت-۶۰ (۷) مجموعه کامل طبقه دوم چشمه‌ها
- اجزای بخش خارجی سامانه در شکل طرحواره انفجاری نمایش داده شده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل شماره (۵) ترتیب قرارگیری اجزای بدنه و پایه بتونی و مجراهای عبور مواد غذایی فعال و غیرفعال.

ترتیب اجزای بیرونی به ترتیب شامل موارد ذیل هستند که طبق روال معینی که بعد از این گفته می شود در جای خود قرار می گیرند:

(پایه بتونی ۲) لایه سربی ۳) لایه فولادی ۴) حفاظ بیرونی بتونی ۵) حفاظ داخلی سربی ۶) حفاظ داخلی فولادی ۷) ماریپیچ عبور مواد غذایی دز پایین ۸) ماریپیچ عبور مواد غذایی دز بالا ۹) محفظه چشمه و نگهدارنده چشمه ها ۱۰) سقف بتونی ۱۱) درپوش بتونی سقف محفظه

محل عبور مواد پرتودهی شونده یک لوله ماریپیچ از نوع آلومینیوم آلیاژی ۱۰۵۰، به قطر ۲ اینچ (معادل ۵،۰۸ سانتی متر) و ضخامت ۱،۲ میلیمتر می باشد. شامل ۱۷ دور پیچ بوده تا از ابتدا تا انتهای مسیر را پوشش داده و زاویه آن ۴۵ درجه است. شعاع داخلی آن ۹،۲ سانتی متر و شعاع خارجی آن ۱۴،۴ سانتی متر کل طول مسیری که ماده غذایی از ابتدا تا انتهای خروجی طی می کند برابر است ۱۴،۰۵۴ متر می باشد. در فضای باقیمانده از داخل محفظه حفاظ یک ماریپیچ دیگر با قطر ۵ اینچ معادل ۱۲،۷ سانتی متر قرار گرفته است که می تواند در کنار کانال اصلی به پرتودهی غلات بپردازد. این مسیر ماریپیچ ثانوی میزان دز کمتری را به علت فاصله زیادترش از چشمه نسبت به ماریپیچ اولیه می دهد و بنابراین برای مصارف مورد نیاز برای دزهای کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. لوله متصل به ابتدا و انتهای ماریپیچ می بایست به صورت مورب قرار بگیرند. این بدان دلیل است که در ابتدا مواد با نیروی گرانش به سمت پایین سرازیر شوند و سپس به علت عدم نشت پرتو با بیرون بتون های پشت آن بتواند محافظت مناسب تری را انجام دهد.

بحث و نتیجه گیری :

سامانه های پرتودهی در جای کوچک یا محلی بی تردید موجب افزایش سطح سلامتی مواد غذایی و به تبع آن باعث سلامتی جامعه می شود. با توجه به اینکه کشور ایران از لحاظ تولیدات مواد غذایی بسیار غنی است، لذا ساخت این گونه سامانه ها درجا از اهمیت بالایی برخوردار است و می تواند ارزش افزوده اقتصادی بالایی را به ارمغان بیاورد. در این



پژوهش به طراحی اولیه و فنی یک سامانه پرتودهی کوچک یا محلی با چشمه کبالت-۶۰ با اکتیویته ۳۰ کیلوکوری پرداخته شد. دو مد کاری فعال و غیرفعال برای این سامانه در نظر گرفته شده است که با استفاده از آن می توان همزمان مواد غذایی مختلف که نیاز به حدود دز مختلفی برای پرتودهی موثر دارند را سترون نمود. ملاحظات ساختی و پیاده سازی مرحله به مرحله و متوالی به عنوان قید اجرای پروژه در طراحی ها به طور کامل در نظر گرفته شد.

مراجع :

- [1] WHO. 2000. Foodborne disease: Focus on health education. World Health Organization, Geneva.
- [2] WHO. 2008. Foodborne disease outbreaks: Guidelines for investigation and control. WHO publication, Geneva
- [3] Roday, S. 1999. Food hygiene and sanitation, Tata McGraw-Hill publishing company limited
- [4] Ray, B. 2004. Fundamental of Food Microbiology. CRC Press. Washington, DC
- [5] Chmielewski, A.G., Haji-Saeid, M., Radiation technologies: past, present and future, Radiat. Phys. Chem. 71 (2004) 17-21
- [6] ICGFI (1996). Report of ICGFI Workshop on Implications of GATT Agreements on Trade in Irradiated Food. International Consultative Group on Food Irradiation Document 23. IAEA, Vienna.
- [7] Gölge, E., and G, Üva. 2007. The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels. Radiation Physics and Chemistry. 365-369.
- [8] S.R. Rafiee, E. Eftekhari-Zadeh, Y. Gholami, A review on the status and future trends of radiation processing in Iran, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Vol. 10 (4) (2017) pp. 331-337
- [۹] کبیر، مصطفی؛ اطاعتی، غلامرضا، شبیه‌سازی مونت کارلویی دز جذبی در تعیین هندسه بهینه چشمه‌های سامانه پرتودهی پرتابل گامای کبالت-۶۰، ۲۵مین کنفرانس هسته‌ای ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ۱۳۹۷
- [10] Annals of the ICRP, Recommendation of the international commission on radiological protection, ICRP103, 2007