



طراحی مفهومی سیستم پرتودهی کم- دز به صورت همزمان برای دو نوع ماده غذایی با

چگالی مختلف

سهیلا زراعت پیشه^۱ - فائزه رحمانی^۱ - حسین خلفی^۲

^۱دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

^۲سازمان انرژی اتمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

در این مقاله، طراحی یک سیستم پرتودهی کم-دز مبتنی بر کبالت برای پرتودهی همزمان دو نوع ماده غذایی با چگالی مختلف در یک بسته محصول ارائه شده است. نحوه قرارگیری محصولات با چگالی 0.05 تا 0.07 gr/cm³ در این بسته ها طوری در نظر گرفته شده که بهترین نسبت یکنواختی دز حاصل شود به طوری که این نسبت در کمترین و بیشترین ارتفاع بسته (بالا و پایین بسته ها) $1/7$ تا $2/9$ و در قسمت های مرکزی بسته ها $1/1$ تا $1/6$ است. میزان بهره تولید حجمی سیستم معرفی شده، در محدوده 0.26 تا 0.67 m³/10³ Ci hr است. همچنین کارایی این سیستم، در محدوده $1/52$ تا $6/02$ است که در مقایسه با سیستم های پرتودهی مواد غذایی موجود عملکرد قابل قبولی را نشان می دهد.

کلیدواژه‌ها: سیستم پرتودهی کم- دز، نسبت یکنواختی دز، چشمه کبالت 60، کد مونت کارلو MCNP

مقدمه

یکی از زمینه‌های پرکاربرد پرتودهی، استفاده از چشمه کبالت 60 برای نگهداری یا بالا بردن کیفیت مواد غذایی است [1-5]. اجزای اصلی یک سیستم پرتودهی گاما عبارت است از: چشمه پرتوزای گاما نظیر ⁶⁰Co، حفاظ پرتوی، حفاظ چشمه (آب یا سرب)، وسیله جابجائی چشمه (کابل‌های فولادی جهت قرار دادن چشمه در موقعیت پرتودهی)، سیستم جابجائی محصول (تسمه نقاله جهت انتقال محصول به اتاقک پرتودهی یا خارج از آن) [6-9]. یکی از سیستم های رایج پرتودهی مواد غذایی، سیستم پالت با مسیر حرکت مستقیم حول چشمه است. سیستم پرتودهی پالت اغلب برای پرتودهی سبب زمینی و پیاز مورد استفاده قرار می گیرد. برای اینگونه محصولات، بسته های محصول حامل هایی حجیم هستند که معمولاً در چند طبقه (یک یا چند مسیر) حول چشمه می چرخند و قابلیت جابه‌جایی بسته‌های محصول بین سطوح با استفاده از تسمه نقاله‌های پیچیده وجود دارد [6-9]. در کارهای پیشین سیستم‌های پرتودهی ساده مواد غذایی و کشاورزی با استفاده از پرتوهای گاما در محدوده دز 0.2 تا 5 kGy طراحی شدند [10، 11]. هدف از طراحی این سیستم های ساده پرتودهی محصولات غذایی با دز کم و کمترین هزینه و پیچیدگی سیستم است. بر اساس نتایج به دست آمده در بعضی از طراحی‌ها برای محصولات با چگالی بالا و در اندازه‌های بزرگ، نسبت یکنواختی دز، تغییرات زیادی با توجه



به ارتفاع محصول داشت [۱۱]. از آنجا که هدف، طراحی ساده ترین سیستم پرتودهی مواد غذایی است، عدم جابجایی محصولات منجر به نسبت یکنواختی نامطلوبی می شود. از طرفی رسیدن به دز مورد نظر با جابجایی محصولات در ارتفاع، حول چشمه منجر به ساخت سیستم پرتودهی پیچیده و هزینه بیشتر می شود. به خصوص زمانی که حجم محصولات زیاد نباشد این سیستم کارایی پایینی خواهد داشت چون باید سیستم را تا رسیدن به حجم مناسب منتظر نگه داشت یا با حجم کمتر از ظرفیت سیستم راه اندازی کرد. همچنین دریافت دز مناسب با استفاده از تعداد جابجایی زیاد در مقابل چشمه، با تسمه نقاله ای با سرعت بالا انجام می شود که برای مواد غذایی با دز کم امکان عملیات گسسته (shuffle dwell) را ناممکن می سازد و لذا در صورت نیاز به زمان های کم پرتوگیری عملیات محدود و گاهی ناممکن می شود، به عبارتی نمی توان برای هر دزی سیستم را راه اندازی کرد. از آنجا که محصولات غذایی متنوع هستند و نمی توان محصولات را در نوبت پرتودهی نگه داشت. از طرفی احداث سیستم پرتودهی کوچک و بزرگ از نظر هزینه راه اندازی اولیه تفاوت زیادی ندارد. لذا در این مقاله، پارامترهایی از قبیل چگالی محصول بر اساس ارتفاع قرارگیری آنها در بسته های پالت مورد بررسی قرار گرفتند تا سیستم پرتودهی با قابلیت همزمان پرتودهی دو نوع محصول با چگالی مختلف امکان پذیر باشد و در نهایت بهترین سیستم بر اساس نسبت یکنواختی دز معرفی و بهره تولید حجمی و کارایی آن معین شد.

روش کار

به منظور محاسبه مشخصه های سیستم مورد نظر شامل نسبت یکنواختی دز معرفی و بهره تولید حجمی و کارایی، از کد MCNP استفاده شد. یک فضای پرتوئی بزرگ به گونه ای طراحی گردید که در راستای عمودی ۴ بسته و در راستای افقی ۸ بسته به ابعاد $75 \times 40 \times 45 \text{ cm}^3$ بدون جابه جایی در طبقات حول چشمه در مسیر مستقیم حرکت کنند. برای شبیه سازی چشمه، از 347 چشمه کبالت 60 که در راک هایبی (C-188 MDS Nordion) با اکتیویته ظاهری 500 kCi در کپسول های دوگانه استیل ضد زنگ استفاده شد. مشخصات سیستم پالت بدون جابجایی در طبقات در چگالی های گوناگون جدول ۱ نشان داده شده است. در این سیستم محصولات دو مسیر 6 متری را در هر طرف چشمه طی می کنند، دو مسیر حول چشمه یعنی 4 ردیف محصول که در کل مسافتی 24 متری را از ابتدای فرآیند پرتودهی تا پایان طی می کنند. اطلاعات جدول شماره ۱، با استفاده از اندازه گیری دز در نقاط مختلف هر بسته محصول برای مواد غذایی چگالی های مختلف بدست آمده است.

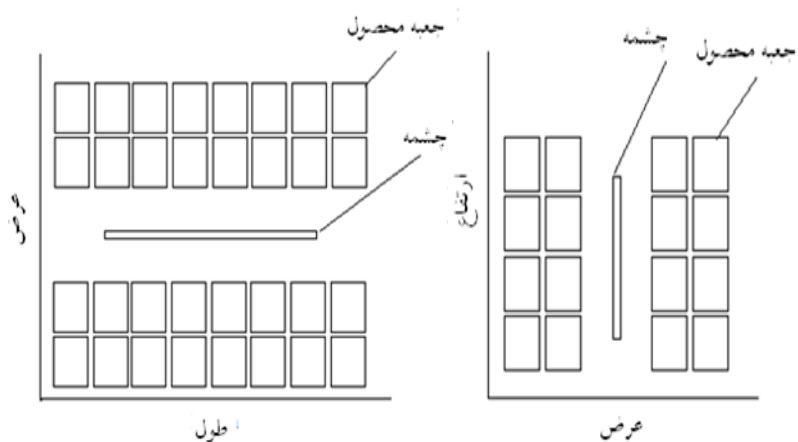
جدول ۱: مشخصات سیستم پرتودهی پالت در محدوده چگالی $0/05$ تا $0/5$ بدون جابجایی سطوح [۱۱]

چگالی (gr/cm^3)	نسبت یکنواختی دز	کارایی (%)	بهره تولید حجمی ($m^3/100kCi.hr$)
۰/۰۵	۲/۵۲	۱/۵۶	۰/۶۷
۰/۱	۲/۸۲	۲/۷۹	۰/۵۹
۰/۲	۳/۴۶	۴/۵	۰/۴۸
۰/۳	۴/۷۶	۵/۳۹	۰/۳۸
۰/۴	۵/۵۷	۵/۸۳	۰/۳۱
۰/۵	۸/۹۲	۶/۰۲	۰/۲۶

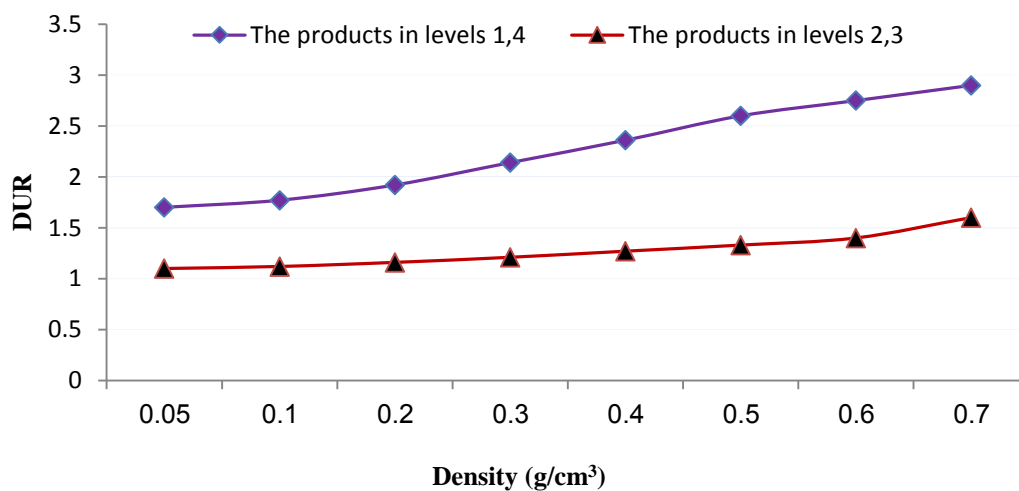
دیده می‌شود که بدون تغییر سطوح، نسبت یکنواختی دز به خصوص در چگالی‌های بالا، افزایش می‌یابد که برای سیستم‌های تجاری مناسب نیست.

نتایج

جهت بهبود نسبت یکنواختی دز، در یک پالت به طور همزمان چگالی جعبه‌های میانی (سطوح ۲ و ۳) و جعبه‌های بالا و پایین (سطوح ۱ و ۴) تغییر داده شد. به عبارتی محصولات با چگالی بالاتر تنها مسیری در مرکز و محصولات با چگالی کمتر تنها مسیری در طبقات بالا و پایین را طی می‌کنند. شکل ۱، یک سیستم پالت با ۴ سطح و نیز یک سیستم پرتودهی ۲ مسیره (۴ ردیفه) را نشان می‌دهد. شکل ۲ و جدول ۲ نیز نسبت یکنواختی دز بر حسب چگالی برای سطوح میانی و نیز بالا و پایین را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نسبت یکنواختی دز در محدوده چگالی $0/05$ تا $0/7$ در جعبه‌های میانی از $1/1$ تا $1/6$ و برای جعبه‌های پایین و بالا (سطوح ۱ و ۴) از $1/7$ تا $2/9$ تغییر می‌کند و این مقادیر در مقایسه با سیستم پرتودهی تک محصوله با یک چگالی برای رسیدن به دز یکسان بسیار مناسب تر است. شکل ۳ نیز تغییرات نسبت یکنواختی دز بر حسب چگالی در شرایطی که چگالی محصولات در سطوح ۱ و ۴ با سطوح ۲ و ۳ متفاوت است و دو نوع محصول با چگالی متفاوت پرتودهی می‌شود، را نشان می‌دهد.



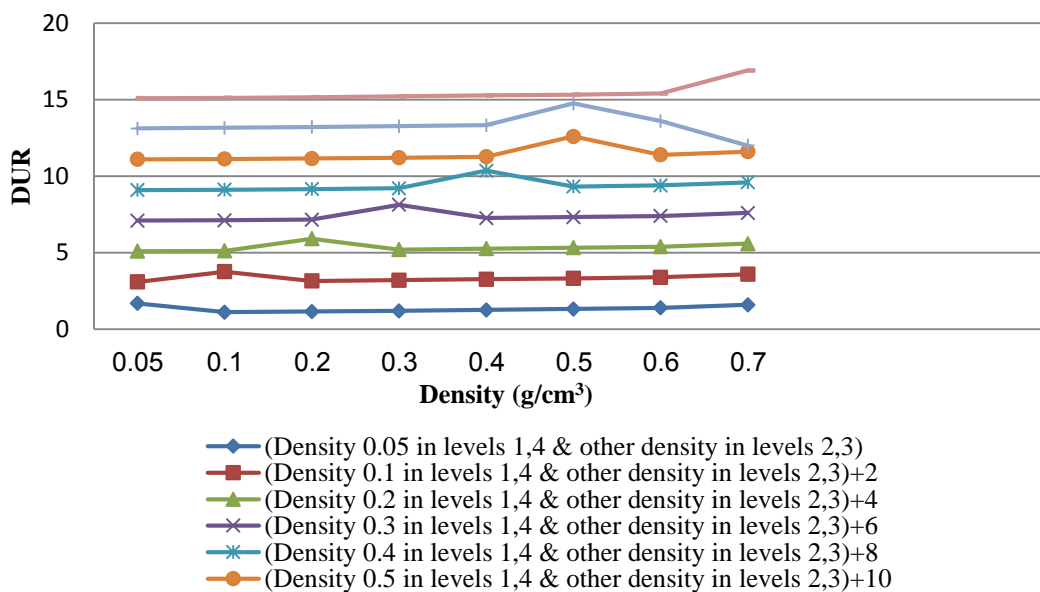
شکل ۱: نمایی از یک سیستم پرتو دهی ۲ مسیره (۴ ردیفه).



شکل ۲: تغییرات نسبت یکنواختی دز در سطوح بالا و پایین (۱ و ۴) و سطوح میانی (۲ و ۳) بر حسب چگالی.

جدول ۲: میزان نسبت یکنواختی دز در سطوح بالا و پایین (۱ و ۴) و سطوح میانی (۲ و ۳) در محدوده چگالی 0.05 تا 0.07 gr/cm³.

نسبت یکنواختی دز در سطوح ۱ و ۴	نسبت یکنواختی دز در سطوح ۲ و ۳	چگالی (g/cm ³)
۱/۷	۱/۱	۰/۰۵
۱/۷۷	۱/۱۲	۰/۱
۱/۹۲	۱/۱۶	۰/۲
۲/۱۴	۱/۲۱	۰/۳
۲/۳۶	۱/۲۷	۰/۴
۲/۶	۱/۳۳	۰/۵
۲/۷۵	۱/۴	۰/۶
۲/۹	۱/۶	۰/۷



شکل ۳: تغییرات نسبت یکنواختی دز بر حسب چگالی با دو نوع محصول با چگالی متفاوت در سطوح ۱،۴ و سطوح ۲، ۳ (برای وضوح شکل، به هرکدام از نمودار اعداد نوشته شده افزوده شده است).

جهت صحت سنجی و مقایسه محاسبات، میزان بهره تولید حجمی و نسبت یکنواختی سیستم طراحی شده با چند سیستم پرتودهی Nordion مورد بررسی مقایسه شده و نتایج در جدول ۳ آورده شده است. دیده می شود که سیستم طراحی شده بر اساس معیارهای نسبت یکنواختی دز، بهره تولید حجمی و کارایی طرح مناسب تری است. البته لازم به ذکر است ابعاد سیستم های مقایسه شده با هم متفاوت بوده.

جدول ۳: مقایسه سیستم طراحی شده با سیستم های Nordion در چگالی 0.05 gr/cm^3 [۷].

نسبت یکنواختی دز	بهره تولید حجمی در 10 kGy در $(\text{m}^3/100 \text{ kCi.hr})$	حجم چشمه	نوع سیستم
۱/۱ در سطح ۱ و ۴ ۱/۷ در سطوح ۲ و ۳	۰/۶۷	یک راک مستطیلی ($169/4 \times 41/7 \text{ cm}^3$)	پالت (طراحی شده در این مقاله)
۱/۴	۰/۳۲	دو راک مدور (قطر 100 cm و ارتفاع 100 cm)	پالت ۷ موقعیته
۱/۴	۰/۴۷	سه راک مستطیلی ($169/4 \times 125/1 \times 41/81 \text{ cm}^3$)	پالت ۸ موقعیته
۱/۵	۰/۶۵	سه راک مستطیلی ($169/4 \times 125/1 \times 41/81 \text{ cm}^3$)	پالت دو ردیفه موازی

نتیجه گیری

در این مقاله، یک سیستم پرتودهی مواد غذایی با قابلیت پرتودهی همزمان محصولات با چگالی های مختلف با هزینه کم بدون جابجایی محصولات در سطوح مختلف اما پارامترهای مطلوب (نسبت یکنواختی دز، بهره تولید حجمی و کارایی) طراحی شد که دارای نسبت یکنواختی دز بهتر (در محدوده ۱/۱ تا ۱/۶ برای سطوح میانی (۲ و ۳) و در محدوده ۱/۷ تا ۲/۹ برای سطوح بالا و پایین (۱ و ۴))، کارایی در محدوده ۱/۵۲ تا ۶/۰۲، و بهره تولید حجمی 0.67 تا $0.26 \text{ m}^3/100 \text{ kCi.hr}$ است. می توان از نتایج محاسبات برای پرتودهی همزمان چند محصول با یک چگالی و یا چگالی های مختلف ولی رسیدن به دزهای مختلف نیز استفاده کرد.

مراجع

1. J. Cuda, Optimum Plant Capacity-Technical and Economic Considerations, Radiat. Phys. Chem. ۲۵, ۴۱۱, ۹۵-۱۰۲, ۱۹۸۵.
2. J. Silverman Radiation Processing: The Industrial Applications of Radiation Chemistry. J. Chem. Educ. ۵۸, ۱۶۸, ۲۱۳-۲۲۱, ۱۹۸۱.
3. D. C. Mosse, J. M. Laizier, Y. Keraron, T. F. Lallemant, Experimental Qualification of a Code for Optimizing Gamma Irradiation Facilities, Radiat. Phys. Chem. ۳۱, ۵۵۵, ۲۶۷-۲۸۷, ۱۹۸۸.
4. J. C. Almeida, M. C. Cavaco, M. E. Andrade, Dose distribution study for an experimental gamma-source. Radiat. Phys. Chem. ۳۵, ۸۱۶, ۱۱۳-۱۱۷, ۱۹۸۹.
5. M. R. CLELAND, G. M. Pageau, Comparison of X-ray and Gamma-ray Sources for Industrial Radiation Processes, Nucl. Instrum. Methods, Sect. B ۲۴/۲۵, ۹۶۷, ۱-۲۲, ۱۹۸۷.
6. Y. Aikawa, a New Facility for X-ray Irradiation and its Application, Radiat. Phys. Chem. ۵۷, ۶۰۹, ۹۰-۹۸, ۲۰۰۰.
7. Nordion™, the logo and Science Advancing Health™ are trademarks of Nordion (Canada) Inc., used under license by Nordion Inc. All rights reserved, Printed in Canada. PCCS ۵۱۹, © June ۲۰۱۱.
8. W. Bogus, R. Raczynski, J. Ledzion, Calculation of Dose-rate Distribution for Gamma Irradiated materials, Radiat. Phys. Chem. ۴۲, ۷۷۳, ۱۵۳-۱۶۶, ۱۹۹۲.
9. G. R. Raisali, M. Sohrabpour, A. Hadjinia, a Computer Code for Dose Rate Mapping of Gamma Irradiators, Radiat. Phys. Chem. ۳۵, ۸۳۱, ۱۰۰-۱۲۱, ۱۹۹۰.
۱۰. غ. رئیس علی، ح. خلفی، و همکاران، گزارش طراحی مفهومی سیستم پرتودهی گاما (مرحله اول از پروژه طراحی مفهومی، پایه و تفصیلی سیستم پرتودهی گاما)، کد پروژه: ۸۵۵۱۰۲۸۰۱، شماره گزارش: PARS-GID-CD-۰۰۱-R۱، پژوهشکده کاربرد پرتوها، تهران، ۱۳۸۶.
۱۱. س. زراعت پیشه، ف. رحمانی، ح. خلفی، طراحی سیستم پرتودهی مواد غذایی با چشمه کبالت ۶۰، کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه یزد، ۱-۴، ۱۳۹۱.