تعیین مشخصه های هسته ای سیستم پرتودهی پرتابل بارگذاری شده با ۱۲ میله کبالت ۶۰ با استفاده از کد MCNP4C و دزیمترهای PMMA برای پرتودهی نیمه صنعتی گندم

نوید بالکانیان[۱]، مجید حشمتی[۱]، نادر سلحشور[۱] ، میکائیل یگانه[۲]، بهرام متقالچی[۲]، محمد حسین سلامت بخش[۲]

[۱]شرکت گاماتک، کیلومتر۷ جاده بناب- تبریز

[۲]مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور، کیلومتر ۷ جاده بناب – تبریز ۱۹۶-۵۵۵۱۵

چکیده

سیستم پرتودهی پرتابل یک سیستم خود حفاظ برای پرتودهی گندم می باشد، این سیستم با ۱۲ میله کبالت ۶۰با اکتیویته کل ۴۲/۶۱ کیلوکوری بارگذاری شده و برای پرتودهی گندم به شهرستان گرگان حمل شد. در این مقاله، مشخصه های هسته ای سیستم نظیر دز می نیمم جذبی، دز ماکزیمم جذبی و نسبت یکنواختی دز با استفاده از کد MCNP4C محاسبه شده و با نتایج حاصله از دزیمترهای Amber 3042 و Gammachrome YR شرکت هاروال مقایسه شده است. نسبت یکنواختی دز با استفاده از شبیه سازی ۱/۷۴ و با اندازه گیری به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۶۶ بدست آمده است که نتایج تطابق خوبی با هم دارند.

کلیدواژه : سیستم پرتودهی پرتابل ، کد MCNP4C، نسبت یکنواختی دز ، دزیمترهای PMMA

مقدمه

سیستم پرتابل برای پرتودهی گندم ساخته شده است. این سیستم شامل چشمه های تابشی کبالت ۶۰ از نوع محفظه خود حفاظ می‌باشد. که اکتیویته آن در آخرین بارگذاری با ۱۲ میله کبالت ۶۰ به ۴۲/۶۱ کیلوکوری رسید. گندم از مخزن ورودی توسط یک مارپیچ به گلوگاه در بالای سیستم حمل می‌شود و سپس بر اثر نیروی وزن خود از طریق یک حفاظ تابشی از جنس سرب به محفظه استوانه‌ای تابش وارد می‌شوند(شکل ۱). محفظه تابش

با حفاظ سربی به ضخامت ۲۶ سانتی متر احاطه شده است. محصولات تابش دیده از طریق مارپیچ درونی سیستم بر روی نقاله ریخته شده و از طریق نقاله به کندوی ضد عفونی شده سیلو وارد می شود.

دزیمترهای پلی متیل متا اکریلات (PMMA)[1] بطور گسترده در دزیمتری دز بالا در زمینه فرآوری تابشی صنعتی استفاده می‌شوند. مزایای اصلی این دزیمترها، سختی، پایداری، سادگی و قیمت ارزان آن می‌باشد. برهمکنش تابش یونساز با PMMA، رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که روی جذب اپتیکی آن در باندهای طول موج مشخص تاثیر می‌گذارد. از دزیمترهای PMMA می‌توان به دزیمتر Amber Perspex و GammaChrome YR اشاره کرد. با اندازه گیری مقدار جذب اپتیکی این دزیمترها و استفاده از منحنی های کالیبراسیون، می توان مقدار دز جذب شده را اندازه گیری نمود[1,2]. مشخصات این دزیمترها در جدول ۱ آورده شده است

جدول ۱: مشخصات دزیمترهای استفاده شده برای اندازه گیری

نوع دزیمتر	Amber Perspex	GammaChrome
طول موج اندازه گیری	۶۰۳ نانومتر	۵۳۰ نانومتر
محدوده اندازه گیری دز جذبی	۵۰۰ الی ۳۰ کیلوگری	۰/۱ الی ۳ کیلوگری

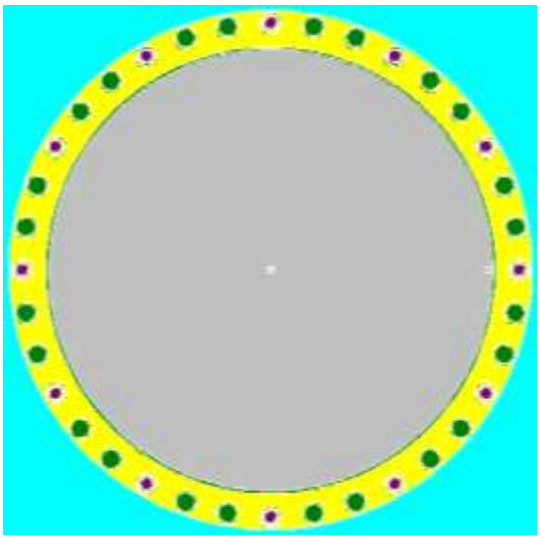
1 Poly Methyl Meth Acrylate

شکل ۱: نمایی از سیستم پرتودهی پرتابل

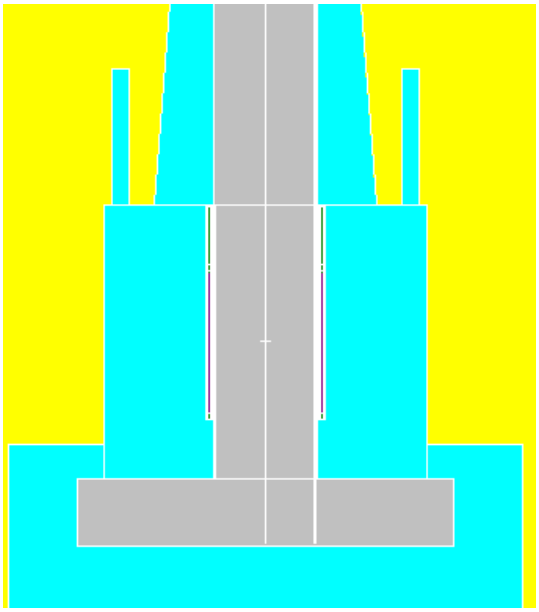
روش کار

در این کار از کد MCNP4C برای انجام محاسبات استفاده شده است[3]. ورودیهای لازم در کد MCNP4C به قرار زیر می‌باشند:

این سیستم دارای ۳۶ کانال چشمه (از جنس فولاد ضد زنگ) به قطر ۱۳ mm و ارتفاع ۶۲۸ mm با هندسه دایره ای به شعاع ۳۵۰ mm می‌باشد. سیستم دارای ۱۲ میله کبالت ۶۰ جدید با ابعاد $11/1 \times 452\ mm^2$ در وسط کانالها می باشد همچنین میله ها دارای غلاف‌هایی از جنس زیرکونیم و فولاد ضد زنگ می‌باشند. اکتیویته کل سیستم ۴۲/۶۱ کیلوکوری می باشد. شکل ۲ الف) ورودی کد MCNP4C برای چیدمان چشمه ها و شکل ۲ ب) ورودی کد MCNP4C برای محاسبه می نیمم دز، ماکزیمم دز، سرعت خروجی گندم و نسبت یکنواختی دز را نشان می دهد. در این شکلها قسمت های فیروزه ای رنگ حفاظ سربی سیستم، قسمت های زرد رنگ هوا، قسمت های خاکستری رنگ گندم، قسمت های سبز رنگ قطعات فولادی و قسمت های بنفش رنگ چشمه های سیستم می باشند. سلولهای ۱ و ۲، از سلولهای با ابعاد گندم تشکیل شده اند و از ورودی سیستم تا خروجی آن را پوشش می دهند. این سلولها برای محاسبه آهنگ دز می نیمم و آهنگ دز ماکزیمم در نظر گرفته شده اند.



شکل ۱ الف) ورودی کد MCNP4C برای چیدمان چشمه ها



شکل ۱ب) ورودی کدMCNP4C برای انجام محاسبات

برای بدست آوردن رابطه بین سرعت پرتودهی دستگاه و می نیمم دز جذبی گندم از روابط زیر استفاده می کنیم.
در روابط زیر v سرعت، $\dot{D}_n$ آهنگ دز در در سلول n، t_n مدت زمان طی گندم از سلول n و x_n ارتفاع سلول n می باشد.

$$D(kGy) = \dot{D}_1 t_1 + \dot{D}_2 t_2 + \cdots + \dot{D}_n t_n \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{x_1}{v_1} \;\; t_2 = \frac{x_2}{v_2} \;\; \ldots \; t_n = \frac{x_n}{v_n} \xrightarrow{v_1 = v_2 = \cdots = v_n = v} t_1 = \frac{x_1}{v} \;\; t_2 = \frac{x_2}{v} \;\; \ldots \; t_n = \frac{x_n}{v} \quad (2)$$

$$D(kGy) = \frac{1}{v}\left(\dot{D}_1 x_1 + \dot{D}_2 x_2 + \cdots + \dot{D}_n x_n\right) \quad (3)$$

$$v(^{cm}/_{S}) = \frac{\dot{D}_1 x_1 + \dot{D}_2 x_2 + \cdots + \dot{D}_n x_n}{D * 3600} \quad (4)$$

در اندازه گیری تجربی برای محاسبه دقیق نسبت یکنواختی دز هر دزیمتر استاندارد به ۱۲ قسمت مساوی با ابعاد ۰/۵* ۰/۳ * ۰/۶ سانتی متر مکعب برش داده شده و جذب زمینه آنها برای اطمینان از عدم تغییر جذب دزیمترها

چک شده است. در ابتدا کل دستگاه را با گندم پر کرده و بعد ۱۰۰ عدد دزیمتر از یک نوع به داخل سیستم ریخته شده است . برای قرائت دزیمترها از دستگاه اسپکتروفوتو Lambda 45 UV/VIS شرکت Perkin Elmer و JENWAY 6305 UV/VIS استفاده شده است.

با توجه به محدوده دز قابل اندازه گیری دزیمترها، برای دزیمترهای Amber سرعت دستگاه در ۲۹/ سانتی متر بر ثانیه و برای دزیمترهای GammaChrome در۰/۵۲۵ سانتی متر بر ثانیه تنظیم شده است

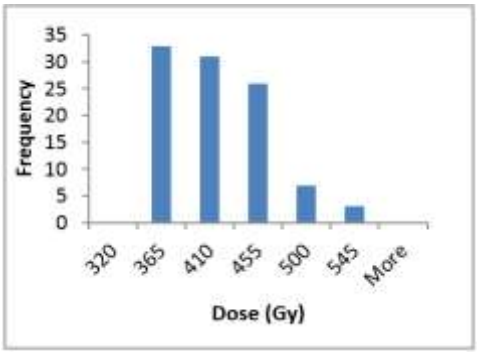
نتایج

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از کد MCNP4C و دزیمترهای Amber

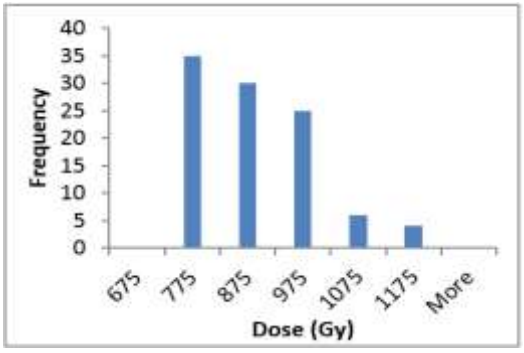
روش	کد MCNP4c	دزیمترهای Amber	درصد اختلاف
می نیمم دز (گری)	٦٢٨	٦٧٥	٪٧
ماکزیمم دز (گری)	١٠٩٣	١١٤١	٪٤
نسبت یکنواختی دز	١/٧٤	١/٦٩	٪٣

جدول ۳: مقایسه نتایج حاصل از کد MCNP4C و دزیمترهای GammaChrome

روش	کد MCNP4c	دزیمترهای GammaChrome	درصد اختلاف
می نیمم دز (گری)	٣٠٠	٣٢٠	٪٦
ماکزیمم دز (گری)	٥٢٢	٥٣٢	٪٢
نسبت یکنواختی دز	١/٧٤	١/٦٦	٪٥



شکل ٤: نمودار فراوانی دز داخل گندم با دزیمترهای GammaChrome



شکل۳: نمودار فراوانی دز داخل گندم با دزیمترهای Amber

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که در جدول (۲) و (۳) دیده می شود نتایج دزیمترهای Amber و GammaChrome تطابق بسیار خوبی با نتایج کد MCNP4C دارند و چون این اندازه گیریها در دو سرعت متفاوت سیستم انجام شده است پس می توان رابطه سرعت دستگاه – دز برای همه دزهای درخواستی بکار برد. در رابطه (٤)، مقدار xها برابر با cm ۰/۵ می باشد و با استفاده از کد MCNP4C مجموع دز می نیمم برای ۱ ساعت توقف در هر سلول دزیمتری برابر با 1134.4 kGy/hr پس رابطه بین سرعت و دز بصورت v(cm/s)=157.5/D(Gy) خلاصه می شود.

همانطوریکه در شکل (۳) دیده می شود برای سرعت ۰/۲۹ سانتی متر بر ثانیه، ٦٥٪ گندم دزی مابین ٦٧٥ تا ٨٧٥ گری را دریافت می کند و تنها ٤٪ گندم دز ماکزیمم را دریافت می کند پس می توان گفت میانگین دز دریافتی گندم به دز می نیمم نزدیکتر است. در شکل(٤) برای سرعت ۰/۵۲۵ سانتی متر بر ثانیه،٦٤٪ گندم دزی مابین ۳۲۰ تا ٤١٠ گری را جذب می کند و تنها ۳٪ گندم دز ماکزیمم را دریافت می کند.

[1] B. Whittaker , The influence of dose rate, ambient temperature and time on the radiation response of Harwell PMMA dosimeters, Radiation Physics and Chemistry 60 (2001) 101-11.

[2] S. O'Keeffe , C. Fitzpatrick and E. Lewis A review of optical fibre radiation dosimeters, Sensor Review, 28/2 (2008) 136–142.

[3] OAK Ridge National Laboratory. Monte Carlo N-Particle Transport Code System. Los Alamos National Laboratory, 2000

تعیین مشخصات هسته ای سیستم پرتودهی چند منظوره شمال غرب کشور با استفاده از کد MCNP4C و مقایسه با نتایج تجربی

نوید بالکانیان، مجید حشمتی، نادر سلحشور، تراب عباسی، مهرداد باوقار

شرکت گاماتک، کیلومتر۷ جاده بناب- تبریز

چکیده

سیستم پرتودهی چند منظوره شمال غرب کشور یک سیستم panoramic شش عبوری چهار طبقه می باشد. این سیستم دارای دو مد کاری دز پایین و یک مد کاری دز بالا می باشد. در این کار منحنی های هم دز، نسبت یکنواختی دز و بازدهی بر حسب چگالی با استفاده از کد MCNP4C برای همه مدهای کاری محاسبه شده است. برای اطمینان از درستی شبیه سازی اندازه گیری تجربی در مد کاری دو طبقه میانی نیز انجام شده است. درصد اختلاف میان اندازه گیری تجربی و محاسبات کمتر از ۹٪ می باشد.

کلیدواژه : سیستم پرتودهی چند منظوره، کد MCNP4C، دزیمتر Amber 3042

مقدمه

برای مقیاس تجاری از سیستم‌های panoramic استفاده می‌شود که چشمه شامل چندین ماژول کبالت ٦٠ که در راک قرار گرفته‌اند، می‌باشد. چشمه تابش این نوع سیستمها، متحرک می‌باشد. چشمه تابش در طی فرآیند تابش دهی محصولات در اتاق تابش می‌باشد و بعد از اتمام تابش‌دهی توسط سیستم حرکت چشمه به محل حفاظت چشمه (زیر اتاق تابش) که می‌تواند به صورت خشک یا مرطوب باشد، حمل می شود. چون یک چشمه رادیونوکلید در تمام جهات تابش می‌کند پس برای داشتن بهره انرژی بالا چشمه بوسیله محصولات احاطه می‌شود[1].

سیستم پرتودهی چندمنظوره شمال غرب کشور یک سیستم شش عبوری چهار طبقه می باشد. این سیستم دارای ایستگاه های بارگیری وتخلیه، اتاق کنترل و اتاق پرتودهی (ضخامت دیوارهای اتاق ۲۰۰ سانتی متر می باشد) می باشد. رک این سیستم دارای ۱۰ ماژول می باشد که هر ماژول می تواند ٤٢ میله چشمه را در خود جای دهد. این سیستم دارای ۸۰ قفسه فولادی برای انتقال محصول از ایستگاه بارگیری به اتاق پرتودهی و خارج کردن محصول به سمت ایستگاه تخلیه می باشد که از این تعداد ٦۰ قفسه در اتاقک پرتودهی هستند. هر قفسه دارای چهار طبقه برای بارگیری محصولات می باشد.

روش کار

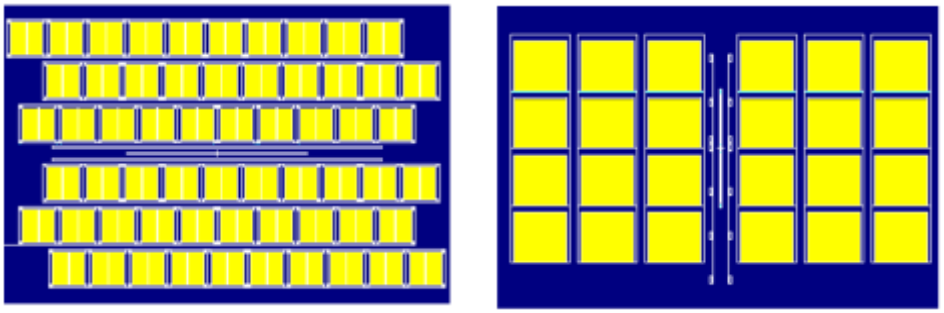
در این کار از کد MCNP4C برای انجام محاسبات استفاده شده است[2]. ورودیهای لازم در کد MCNP4C به قرار زیر می‌باشند:

- ٢٦ میله کبالت ٦۰ با قطر ۱/۱۱ سانتی متر و ارتفاع ٤٥/٢ سانتی متر (اکتیویته کل ۱۹۸ کیلوکوری)
- رک فولادی حاوی ۱۰ ماژول (جاهای خالی ماژولها با میله های دامی پر شده است)
- محافظ آلومنیومی چشمه به ضخامت ۵ میلی متر
- تعداد ٦۰ قفسه چهار طبقه فولادی با ضخامت ۳ میلی متر که با محصولات پر شده اند
- ٤۹ عدد دزیمتر با ابعاد ۳/۲*۰/۳*۱/۱ سانتی متر مکعب در هر جعبه محصول

از تالی F4 وضرایب تبدیل شار به دز [3] برای محاسبات دز و از تالی F8* برای محاسبات گرمای تولید شده در محصولات و بازدهی سیستم پرتودهی استفاده شده است. ماکزیمم خطای کد MCNP4C برابر با ۲٪ می باشد. شکل ۱ ورودی کد MCNP4C برای هندسه شبیه سازی شده را نشان می دهد. در این شکل بخش های زرد رنگ جعبه های محصول می باشد قفسه های فولادی و محافظ آلومنیومی رک در شکل مشخص می باشد.

برای اندازه گیری تجربی از دزیمترهای Amber3042 شرکت هاروال استفاده شده است. این دزیمترها مطابق شکل ۲ الف) در بین دو ورقه پلکسی گلس واقع شده اند. اندازه گیری تجربی برای مد کاری دو طبقه میانی انجام شده است در این مد کاری ١٦۰ جعبه محصول به وزن ۸/۵ کیلوگرم طبقه های دوم و سوم هر قفسه را اشغال می کنند. برای هر طبقه دو ست دزیمتر استفاده و میانگیری شده است. شکل ۲ ب) ست دزیمتری واقع در جعبه محصول

را نشان می دهد. برای خوانش دزیمترها از دستگاه اسپکتروفوتومتر Lambda 45 شرکت Perkin Elmber استفاده شده است.



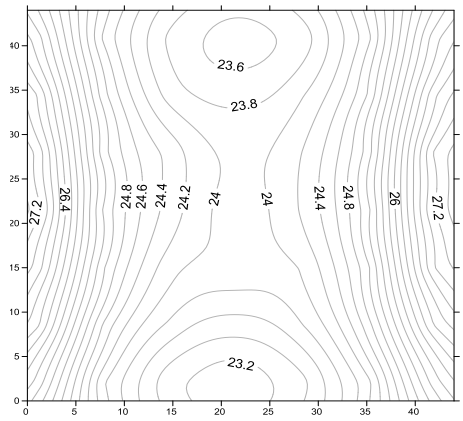
شکل ۱: ورودی کد MCNP4C برای سیستم پرتودهی شمال غرب کشور

شکل۲: Set up اندازه گیری تجربی. شکل سمت راست دزیمترهای قرار گرفته در بین ورقه های پلکسی گلس و شکل سمت چپ ست دزیمتری قرار گرفته در جعبه کاه را نشان می دهد

نتایج

مد کاری چهار طبقه

در این مد، همه چهار طبقه قفسه ها با جعبه های محصول پر می شوند و بیشترین دز جذبی در این حالت اتفاق می افتد. شکل ۳ نمودار هم دز درون جعبه محصول برای چگالی ۰/۱ گرم بر سانتی متر مکعب و اکتیویته ۱۰۰ کیلوکوری می باشد. واحد اعداد داخل نمودار بر حسب گری برای ۱ ثانیه توقف در هر موقعیت می باشد. واحد محورها در نمودار بر حسب سانتی متر می باشد.

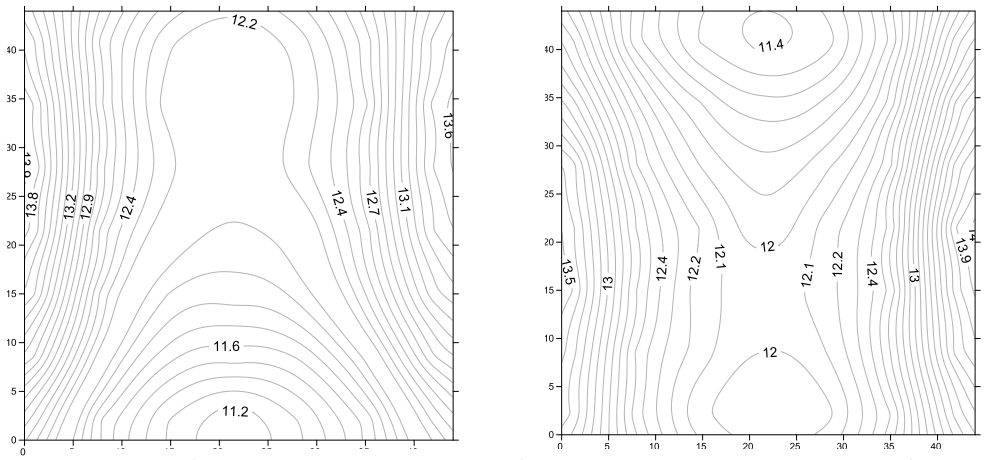


شکل۳: نمودار هم دز برای حالت چهار طبقه برای چگالی ۰/۱ گرم بر سانتی متر مکعب

همانطوریکه در شکل ۳ مشخص می باشد قسمت بالای جعبه ۲٪ دز بیشتری نسبت به پایین جعبه دریافت می کند که بخاطر اندکی بالا ایستادن رک سیستم می باشد. برای بدست آوردن بازدهی سیستم می توان از گرمای تولید شده چشمه های کبالت ٦٠ استفاده کرد. توان گرمایی تولید شده از ۱ میلیون کوری کبالت ٦٠ برابر با ١٤/٨ کیلو وات می باشد[4]. توان گرمایی تولید شده درون جعبه های محصول از کمترین چگالی به بیشترین چگالی (۰/۰۵ تا ۰/٤١ گرم بر سانتی متر مکعب) با استفاده از کد ١/١٤ تا ٥/٦ می باشد پس بازدهی از ۷/۷٪ تا ۳۸٪ می باشد.

مد کاری دو طبقه مجازی

در این مد کاری جعبه ها بصورت دو تایی وارد طبقه اول و دوم می شوند و بعد از یکبار پرتودهی جعبه طبقه اول به سوم و جعبه طبقه دوم به چهارم منتقل می شود. شکل ٤ نمودار هم دز برای این حالت را نشان می دهد

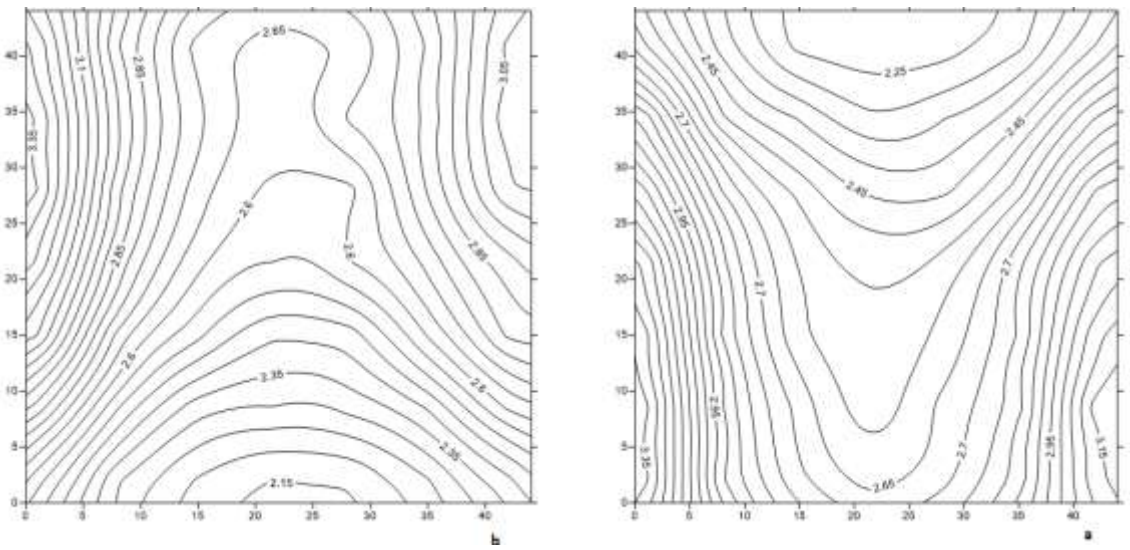


شکل٤: نمودار هم دز برای حالت دو طبقه مجازی. شکل سمت راست مربوط به طبقه ۲ و ٤ و شکل سمت چپ مربوط به طبقه ۱ و ۳ می باشد

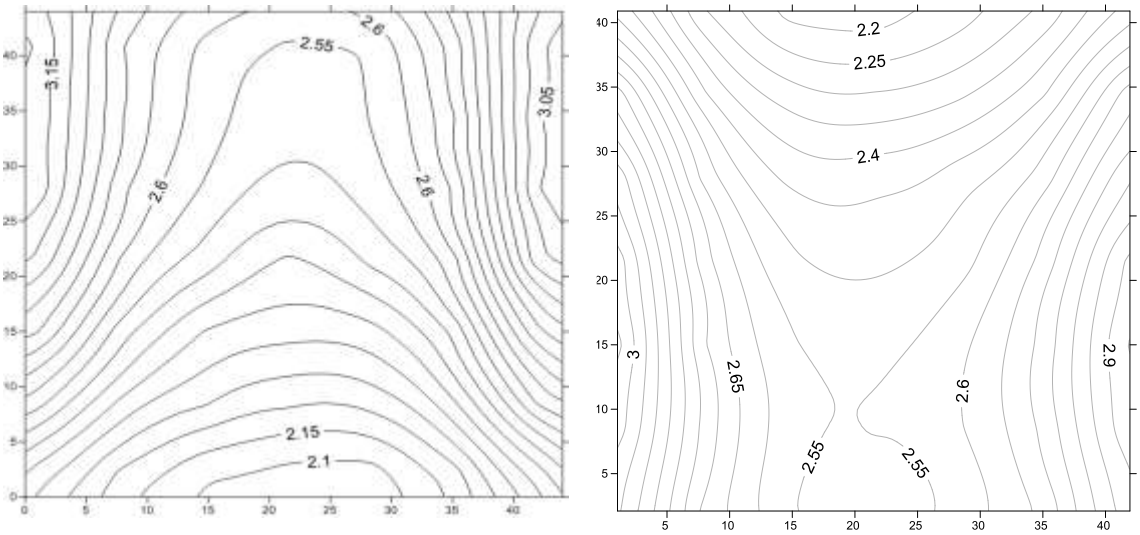
همانطور که از شکل ها مشخص است از مجموع این دو شکل، نمودار هم دز حالت چهار طبقه بدست می آید.

دزیمتری تجربی

شکل ۵ نمودارهای هم دز مربوط به دزیمتری تجربی و شکل ٦ نمودارهای هم دز مربوط به محاسبات برای حالت دو طبقه می باشد. واحد اعداد داخل نمودارهای بر حسب کیلوگری برای ١٦٠ ثانیه توقف در هر موقعیت می باشد.



شکل ۵: نمودارهای تجربی هم دز برای حالت دو طبقه میانی. نمودار سمت راست مربوط به طبقه سوم و سمت چپ مربوط به طبقه اول می باشد



شکل٦: نمودارهای محاسباتی هم دز برای حالت دو طبقه میانی. نمودار سمت راست مربوط به طبقه سوم و سمت چپ مربوط به طبقه اول می باشد

نتیجه گیری

در این کار منحنی های هم دز تجربی و محاسباتی برای سیستم پرتودهی شمال غرب کشور بدست آمده است. همانطور که در شکل های ۵ و ٦ دیده می شود نتایج تجربه و تئوری تطابق بسیار خوبی با هم دارند و در بدترین حالت ۹٪ با هم اختلاف دارند پس می توان از کد MCNP4C بعنوان روشی روتین برای پیش بینی پرتودهی استفاده کرد. مشخصات اصلی سیستم پرتودهی شمال غرب کشور در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات هسته ای سیستم پرتودهی شمال غرب کشور برای اکتیویته ۱۹۸ کیلوکوری

mode	density (g/cm^3)	throughput for 25 kGy (kg/hr/100kCi)	minimum-dose rang (kGy)	DUR	efficiency(%)
four-level	to 0.41	16.7-81.6	2.4-4	1.16-1.41	7.7-38
two-virtual level	to 0.41	low dose	1-1.19	1.22-1.50	7.7-38
two-middle level	to 0.41	low dose	0.7-1.2	1.4-2.02	4.7-23

[1] International Atomic Energy Agency (IAEA), Gamma irradiators for radiation processing, Vienna, 2002.

[2] X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N - Particle Transport Code, Version 5. Volume I – Overview and Theory. Los Angeles National Laboratory, University of California, USA, 2003.

[3] ANSI/ANS-6.1.1. Neutron and Gamma-Ray Fluence-to-Dose Factor. American Nuclear Society, 1991.

[4] E.S. Josephson and M.S.Peterson, Preservation of Food by Ionizing Radiation, Vol. I. Boca Raton, Florida 33431: CRC Press. 137-163.