مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۳، شمارهٔ ۳، تابستان ۱۳۹٤

شبیه سازی آهنگ دز جذب شده سیب درختی در سامانه گاما سل ۲۲۰ با استفاده از کد MCNPX

مرتضی رئیسی[۱*]، اسماعیل شهریاری[۱] و افشین اخوت[۲]

[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

[*]چهارمحال وبختیاری، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده علوم، گروه فیزیک، کدپستی:۸۸۱۸٦۳٤۱٤۱

پست الکترونیکی: raeisi.morteza@sci.sku.ac.ir

چکیده

در این مطالعه آهنگ دز در یک سامانه گاما سل ۲۲۰ برای سیب درختی با استفاده از کد MCNPX در دو حالت محاسبه شده است. در حالت اول به صورت ایده‌ال، سیب به طور یکنواخت فضای داخلی گاما سل را کاملا پرمی‌کند. در حالت دوم، سیب‌ها به صورت کره‌هایی که فضای بین آنها را هوا پرمی‌کند در نظر گرفته شده است. در حالت کلی نتایج نشان می‌دهد که در هر دو حالت مقادیر آهنگ دز جذب شده در فضای گاما سل غیر یکنواخت است. در حالت اول آهنگ دزبرای سیب، کمتر از هوا و تقریبا با آب برابر است.در مرکز گاما سل آهنگ دز برای سیب و هوا به ترتیب ۲/۸۵و Gy/s ۳/۳۵ و در قاعده‌ها ۱/۵و Gy/s ۲/۵ به دست آمده است. در حالت دوم تغییرات آهنگ دزبین Gy/s ۳/۰٦ برای سیب مرکزی تا Gy/s ٤/۱ برای سیب‌های کناری است. در مقایسه با مقدار متوسط تحویلی توسط سامانه(Gy/s ۰/۰٤± ۳/۰۵) آهنگ دز جذب شده نسبت به نمونه مرکزی تقریبا بدون تغییر است در حالی‌که نسبت به نمونه‌های کناری ۳۰ ٪ است.بنابراین این تغییرات ممکن است در بحث خواص فیزیکی و شیمیایی محصولات آبگونه در اثر پرتودهی گاما مهم باشد.

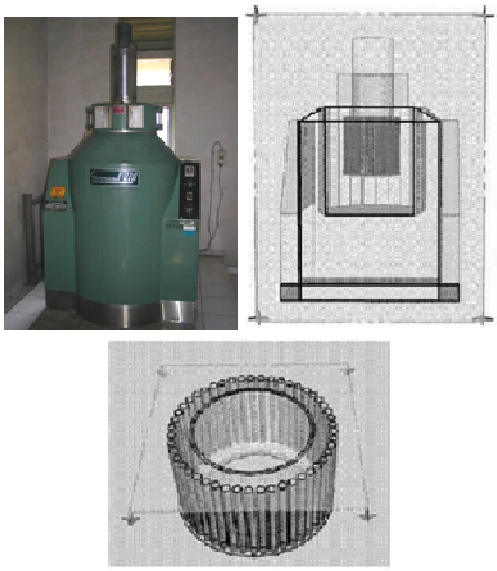
کلید واژگان: پرتودهی گاما، آهنگ دز جذب شده، کد MCNP، سیب درختی.

۱.مقدمه

هر ساله مقادیر زیادی از محصولات کشاورزی در مراحل پس از برداشت وبسته‌بندی و تا قبل از مصرف به لحاظ کمی وکیفی دچار آسیب می‌شوند. طی سالیان نسبتاً طولانی روش-های شیمیایی خصوصا ترکیبات تدخینی مانند متیل بروماید به عنوان مناسبترین روش انبارداری و قرنطینه محصولات کشاورزی مطرح بود اما بررسی دهه‌های اخیر دانشمندان نشان داد که کاربرد مواد شیمیایی علاوه بر خطرات زیست محیطی موجب بیماری‌های متعدد در مصرف کنندگان خواهد شد. لذا جهت‌گیری باید به سمتی باشد که در آینده این روش حذف شود. روش پرتودهی گاما یکی از روش‌های جدید غیر حرارتی است که محصولات کشاورزی در معرض پرتوهای یونیزه کننده گاما، ایکس و الکترون قرار می‌گیرد. این روش توانایی کاهش عوامل بیماری‌زا را بدون تغییری در بافت و تازگی و افزایش زمان ماندگاری دارد[۱]. بر اساس آمار موجود هم اکنون ۳۰۰ مرکز پرتودهی گاما در سطح دنیا مشغول

فعالیت هستند. در سال ٦٤ نیز اولین سامانه پرتودهی مقیاس صنعتی در کشور در سازمان انرژی اتمی راه اندازی شد[۲].

در راستای بکارگیری سامانه‌های بزرگ در پرتودهی محصولات در مقیاس صنعتی، تحقیقات زیادی نیز جهت بررسی اثر پرتو دهی گاما بر روی خواص فیزیکی وشیمایی محصولات کشاورزی در زمان ذخیره سازی در حال انجام است[۳]. در این بین سامانه گاما سل برای تولید آهنگ دز بالا جهت انجام تحقیقات نه فقط در حوزه محصولات کشاورزی بلکه سایر حوزه ها مانند زمین شناسی، پزشکی، سیستم‌های بیولوژیکی، استرلیزه کردن ارگانیسم‌ها وخاک ، تغییرات و بهبود خواص پلیمری[٤ و٥] و غیره بکار گرفته شده است. در گاما سل و سامانه‌های دیگر مقدار دز به دست آمده بر مبنای جرم هوایی که کل محفظه سامانه را اشغال می‌کند در نظر گرفته می‌شود. این مقدار بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های هر نمونه مانند حجم، ترکیب و چگالی و حتی نسبت غیر یکنواختی دز در فضای سامانه گاما سل است[٥]. بیشتر محققان که در حوزه ماندگاری محصولات کشاورزی یا سایر موارد خوراکی با روش پرتودهی گاما مطالعه می‌کنند، هدفشان فقط بررسی خواص فیزیک و شیمایی محصول در یک بازه زمانی پس از پرتودهی می‌باشد. لذا مقدار دز جذب شده مورد نیاز را هنگام قرار دادن نمونه در سامانه گاما سل بر اساس زمان ماندن نمونه در گاما سل تعیین می‌کنند. چون فرض آنها این است که تمام قسمتهای یک نمونه به طور یکسان با آهنگ یکسانی دز دریافت می‌کنند. به عنوان نمونه در مرجع ۷ در مطالعه بر روی سیب از گاما سل سازمان انرژی اتمی استفاده شده است. مقدار متوسط آهنگ دز در مرکز این سامانه بدون حضور نمونه سیب که توسط کارشناس دستگاه گزارش شده است برابر ۳/۰۵ ±۰/۰٤ Gy/s می‌باشد. بنابراین برای دزهای ۲۵۰، ۵۰۰،۷۵۰ و ۱۰۰۰ گری، دستگاه براساس زمان‌های به ترتیب ۸۲، ۱٦٤، ۲٤٦ و ۳۲۸ ثانیه تنظیم است. لذا در آنالیز بعدی که بر روی خواص کیفی و کمی سیب انجام شده است این مسئله نادیده گرفته شده است (شکل ۱)[۵].



شکل (۱): بالا سمت راست نمای بیرونی، سمت چپ نمای برشی سامانه گاما سل ۲۲۰ وپایین نمای بالای میله های چشمه های کبالت ٦۰ داخل محفظه سامانه.

هرچند در بیشتر موارد پرتودهی، اختلاف کمی بین آهنگ دز با یا بدون حضور نمونه وجود دارد، اما اگر نمونه دارای چگالی بیشتری نسبت به هوا و همچنین بدون یک توزیع غیر یکنواخت در سامانه قرار داشته باشد، همه نمونه‌ها در معرض تابش پرتو با آهنگ دز یکسان قرار نمی‌گیرند[۸]. بنابراین ممکن است در آنالیز خواص اندازه‌گیری شده نمونه‌ها به ویژه زمان ماندگاری اثر گذار باشد. هرچه نمونه چگالتر باشد آهنگ دز جذب شده یا همان مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه در واحد جرم و در واحد زمان کمتر خواهد بود. با توجه به اینکه ۸۰٪ ترکیب سیب از آب تشکیل شده است بنابراین انتظار می‌رود که مقدار دز جذب شده توسط سیب نزدیک به مقدار جذب شده توسط آب باشد. برای روشن شدن این

مسئله آهنگ دز سیب را می‌توان به صورت مستقیم اندازه گیری و یا به صورت شبیه‌سازی (مدل) محاسبه نمود. در روش اندازه‌گیری مستقیم آهنگ دز در سامانه توسط قراردادن یک دزیمتر مانند فیلم بج یا پرسپکس در نمونه با توجه به اندازه نمونه‌ها تهیه و در داخل نمونه قرار داده می‌شود. پس از زمان مشخصی دزیمترها استخراج و سپس مقدار دز جذب شده توسط نمونه محاسبه می‌شود زیرا در بیشتر نمونه‌ها عملاً نصب دزیمتر امکان پذیر نیست یا ممکن است به بافت نمونه آسیب بزند. برای مثال در مورد سیب نیاز به تکه تکه کردن سیب دارد که بر روی کیفیت آن عملا تاثیر می‌گذارد. اما روش دوم بدون هزینه و خطای آماری آن کمتر از ۰/۵٪ است[٦]. هدف از این مطالعه تعیین آهنگ دز در داخل سامانه گاما سل به صورت استخراج منحنی‌های هم دز و نمودارهای برشی شعاعی و محوری در حضور سیب درختی است. محاسبات در دوحالت مختلف انجام شده است. برای حالت اول که سیب تمام فضای اتاقک را به طور یکنواخت پرکند و حالت دوم سیب‌ها در مکان‌های مختلفی قرار داشته و فضای بین آنها را هوا پر کرده باشد. برای مقایسه بهتر نتایج محاسبات برای محیط هوا و همچنین با توجه به اینکه ۸۰٪ درصد ترکیب سیب از آب تشکیل شده شبیه سازی برای آب نیز انجام شده است.

۲. مواد وروش‌ها

MCNPX[۱] یک کد چند منظوره است که برای ترابرد انواع تابش‌های یونده مانند گاما، نوترون، الکترون و غیره در هر ماده‌ای با هر شکل هندسی به کار می‌رود. امروزه این کد به عنوان یک نرم افزار پایه جهت بررسی حفاظت در برابر پرتوها در طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای تا سامانه پرتودهی در حوزه صنعت، پزشکی و کشاورزی به طور وسیعی استفاده می‌شود. به طور کلی این کد اطلاعات مختلفی مانند مشخصات هندسی و ترکیبات بکار رفته در نمونه و منابع پرتودهی مورد نظر را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و انواع خروجی مختلف را که به صورت تالی (حسابگری) است محاسبه و در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این کد می‌تواند کمیت مهم آهنگ دز را که در مبحث دز سنجی و پرتودهی بسیار مهم است محاسبه نماید. اساس محاسبات آن به روش آماری مونت کارلو می‌باشد که در آن تعداد زیادی از ذرات گسیل شده از چشمه هسته‌ای را در نمونه دنبال می‌کند و مقدار انرژی جذب شده در واحد سطح یا واحد جرم از نمونه را محاسبه می‌کند. تکنیک پیشرفته کاهش واریانس مبنای خطاهای آماری این کد است. MCNPX که در اینجا بکار گرفته شده، یک نسخه ارتقا یافته از MCNP است که در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس آمریکا طراحی شده است [۱۱].

۱.۲. توصیف شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی از مشخصات دستگاه گاما سل ۲۲۰ که یک نمونه آن هم در بخش کاربرد پرتوها در سازمان انرژی اتمی موجود می‌باشد استفاده شده است. اخیراً به این دستگاه، فعالیت جدیدی از کبات ٦۰ به مقدار kCi ۱۲ اضافه شده است.

با استفاده از دز سنج‌های ترمولومینیسانس مقدار متوسط آهنگ دز را Gy/s ۳/۰۵ گزارش کرده‌اند (کارشناس دستگاه گاما سل). بنابراین بیشتر کاربران این مقدار را برای محاسبه دز جذب شده توسط همه نمونه‌ها در یک بازه زمانی مورد نیاز بکار می‌برند. در حالی‌که این مقدار در نقاط مختلف دستگاه متفاوت است و نمونه‌ها دزهای متفاوتی را دریافت می‌کنند. برای اینکار در ابتدا یک فایل ورودی که از سه بخش مجزا تشکیل شده، فراهم می‌شود. قسمت اول مربوط به مواد و هندسه گاما سل می‌باشد (جدول ۱)[۱۰]. قسمت دوم فایل

ورودی درصد وزنی عناصر تشکیل دهند ماده سیب است که داخل محفظه دستگاه قرار می‌گیرد(جدول۲)[۱۰].

جدول (۱): پارامترهای هندسی گاما سل ۲۲۰ (برحسب سانتیمتر).

شعاع داخلی گاما سل	۷/۸
ارتفاع	۲۰/۶۳
شعاع خارجی لایه اول گاما سل (الومینیم)	۸
شعاع خارجی لایه دوم گاما سل (استیل)	۸/۲
شعاع داخلی سرب	۱۰
شعاع خارجی سرب	۲۰
شعاع داخلی میله چشمه	۰/۳۱۷۵
شعاع خارجی لایه اول میله چشمه (آلومینیم)	۰/٤۰۲۰
شعاع خارجی لایه دوم میله چشمه (استیل	۰/٤۸٦۵
ارتفاع اکتیو چشمه	۱۹/٦۳
ارتفاع کل میله	۲۰/۸۹
تعداد میله های چشمه	٤۸
فاصله میله ها تا محور استوانه	۹
فعالیت کل میله های چشمه	۱۲۰۷۲ کوری

جدول (۲): درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده سیب (چگالی سیب (۰/۸۷ g/cm^3

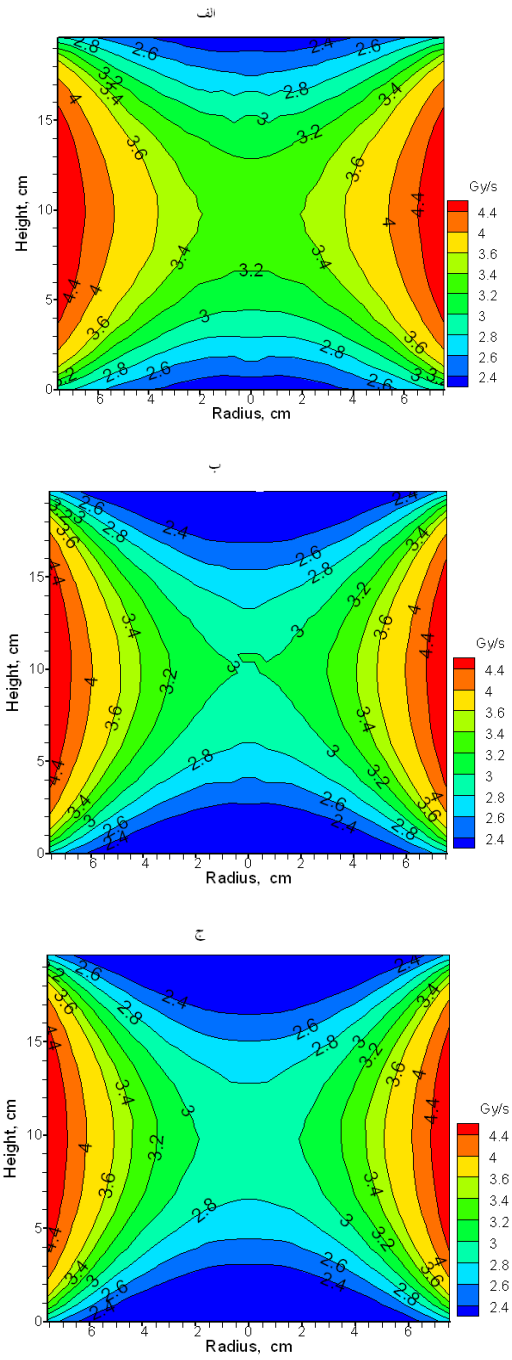
H	۱۰/۹۹
O	۸۳/۱۵
C	۵/۸۲
K	۰/۱٤
P	۰/۰۱
سایر	۰/۰۲

قسمت سوم نیز شامل طیف گامای چشمه هسته ای ^{60}CO است که شامل دو قله در انرژی‌های ۱/۳۳ Mev و۱/۱۷Mev با شدت‌های برابر است. در این شبیه‌سازی علاوه بر ترابرد تابش گاما، ترابرد الکترون و پوزیترون نیز در نظر گرفته شده است. که سهم دو مورد آخر در مقدار آهنگ دز تولید شده ناچیز است. در حالت اول با استفاده از تالی آهنگ دز، فضای استوانه‌ای شکل داخل سامانه سلول بندی می‌شود. راستای شعاعی و محوری استوانه به بازه‌های ۰/۵سانتیمتری تقسیم می‌شود. سپس همه سلول‌ها هر بار از هوا، سیب و آب به ترتیب پر می‌شوند. سپس مقدار آهنگ دز متوسط در هر سلول محاسبه می‌شود. در حالت دوم که یک حالت واقعی‌تر می‌باشد هر سیب به صورت یک کره با قطر متوسط ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. باتوجه به اینکه ابعاد فضای داخلی گاما سل مطابق جدول ۱ تقریبا ۲۰cm × ۱۵ cm است، ۱۵ سیب را می‌توان جای دارد. در هر ردیف ۵ سیب به گونه‌ای که یکی از ۵ سیب بر روی محور استوانه و ٤ سیب دیگر به طور متقارن در اطراف آن قرار گرفته اند. تعداد فوتون‌های گامای آزمون 10^6 در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه مقدار خطای مطلق آماری محاسبات کمتر از ۰/۰۰۵ به‌دست آمده، نتایج بدون مقدار خطا گزارش می شوند.

۳. نتایج و بحث

در ابتدا منحنی های هم‌دز برای محیط هوا ، سیب وآب (با یک توزیع یکنواخت) محاسبه شده است. نتایج در شکل‌های ۲ به ترتیب نشان داده شده است.

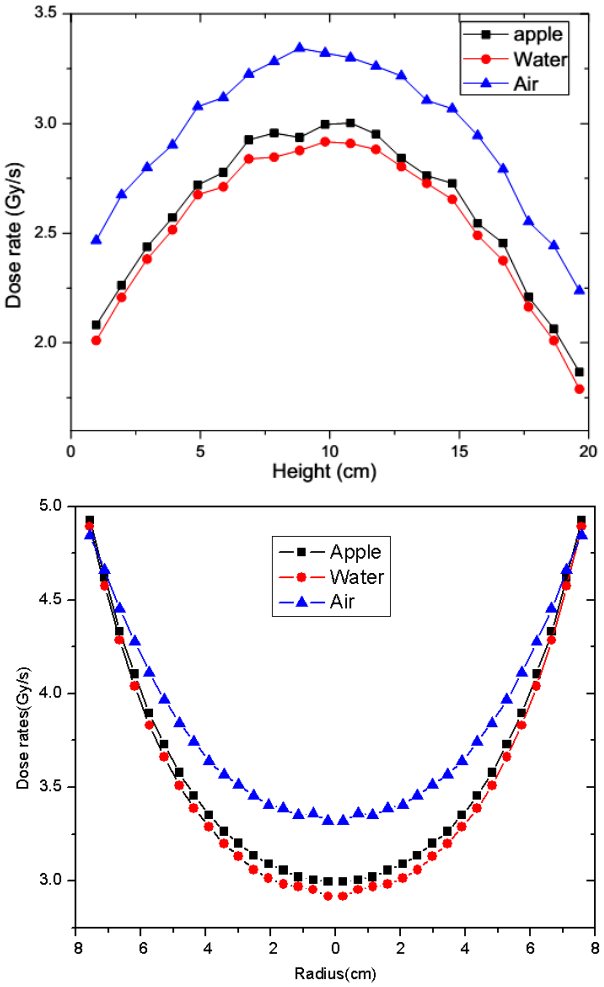
همانطور که انتظار می‌رود توزیع آهنگ دز بین منحنی‌های سیب دارای رفتار مشابه با آب می‌باشد. همچنین آهنگ دز جذب شده در مرکز گاما سل برای سیب و آب کمتر از هوا است. چون در فرایند ترابرد اشعه گاما برای ماده آب یا سیب از یک چشمه اطراف گاما سل، مقدار تابش گامای رسیده به نقاط مرکزی در اثر تضعیف شدت، کاهش می‌یابد.



شکل (۲): منحنی‌های هم دز در هوا الف)، سیب (ب) و آب (ج).

محور افقی راستای شعاعی و محور عمودی راستای محوری گاما سل را نشان می‌دهد. اعداد بر روی منحنی ها مقادیر آهنگ دز برحسب Gy/s است.

بنابراین اثر خود جذبی در ماده چگال بیشتر است و در مواد چگال‌تر مقدار دز در نقاط مرکزی گاما سل کمتر است. منحنی های برشی شعاعی و محوری آهنگ دز به طور جداگانه برای محیط هوا، سیب و آب، در شکل۳ نشان داده شده است.



شکل (۳): منحنی‌های برشی محوری (بالا) و شعاعی (پایین) آهنگ دز در سه محیط هوا، سیب وآب.

در جهت محوری، نسبت آهنگ دز بیشینه در مرکز نسبت به بالا یا پایین گاما سل ۱/۲۵ است در حالیکه در جهت شعاعی این نسبت ۱/٦ می‌باشد. بنابرین غیر یکنواختی آهنگ دز در جهت شعاعی نسبت به جهت محوری بیشتر است. همچنین مقدار این کمیت در سیب و آب نسبت به هوا تفاوت بیشتری دارد. بنابراین نتایج قبلی نشان دهنده تاثیر غیر همگنی آهنگ دز در حضور مواد با چگالی بالا می‌باشد.

برای پیش بینی دقیق‌تر، سیب‌ها به‌صورت یک آرایش فضایی از کره‌های فرضی در داخل گاما سل، در نظر گرفته شده است.

در جدول ۳ آهنگ دز های جذب شده توسط ۱۵ سیب با شعاع ۲/۵ سانتیمتر در ۳ ردیف ۵ تایی نشان داده شده است. این سیب‌ها به ترتیب از ۱ تا ۱۵ شماره گذاری شده‌اند. سیب-های شماره ۱ ، ٦ و ۱۱ روی محور دستگاه قرار گرفتند طوری که سیب‌های اطراف ۱ شماره‌های ۲ تا ۵ نامگذاری شدند. سیب‌های کناری ٦ با شماره‌های ۷ تا ۱۰ و سیب‌های اطراف ۱۱ که با سیب‌های کناری ٦ متقارنند با شماره‌های ۱۲ تا ۱۵ نامگذاری شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سیب مرکزی (شماره ۱) با آهنگ ۳/۰٦ Gy/s دز دریافت می‌کند که تقریبا همان دز تحویلی دستگاه به کاربر است در حالی‌که سیب‌های غیر مرکزی (۷–۱۰)یا (۱۲–۱۵) تا ٤ Gy/s دریافت می‌کنند. بنابراین در یک بازه زمانی مشخص سیب‌های غیر مرکزی تا حدود ۳۰٪ دز اضافی دریافت می‌کنند که این می-تواند منجر به توزیع متفاوت زمان ماندگاری و کیفیت محصول شود.

٤. نتیجه گیری

نتایج شبیه‌سازی اولاً نشان می‌دهد که دز جذب شده با حضور سیب در دستگاه با عدم حضور آن متفاوت است. دوم اینکه آهنگ دز جذب شده توسط سیب نشان می‌دهد که مقدار این کمیت به مکان سیب در دستگاه نیز وابسته است. به طوریکه این تغییرات تا ۳۰ ٪ می‌تواند تفاوت داشته باشد. با توجه به اینکه بیشتر ترکیب سیب از آب می‌باشد نشان داده شد که آهنگ دز جذب شده توسط سیب مشابه آب می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دز جذب شده در محصولات آبگون، مشابه سیب، پرتقال ، هندوانه وغیره از همان الگوی محیط آب رفتار می‌کنند. از اینرو با داشتن مقادیر آهنگ دز جذب شده برای آب در هر دستگاه پرتودهی گاما می‌توان برای محصولات آبگون نیز استفاده نمود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحلیل نمونه‌های پرتودهی شده که مربوط به بررسی خواص فیزیکی وشیمیایی است این اثرات می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

جدول(۳): آهنگ دز جذب شده در ۱۵ سیب که در مکان‌های مختلف گاما سل قرار داده شده است.

شماره سیب	۱(محور)	۲	۳	٤	۵	٦(محور)	۷	۸	۹	۱۰	۱۱(محور)	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	میانگین
آهنگ دز	۳/۰٦	۳/۷٤	۳/۷۳	۳/۷۳	۳/۷۳	۳/۳۸	٤/۱۰	٤/۱۰	٤/۱۱	٤/۱۰	۳/۰٦	۳/۷۳	۳/۷٤	۳/۷٤	۳/۷٤	۳/۷۲

۵.مراجع

[1] A.G. Chmielewski, M. Haji-saeid. Radiation technologies: past, present and future, Radiat. Phys. Chem.71 (2004)17–21.

[۲] سهراب پور، مصطفی. مرکز تابش گاما معرفی خدمات پرتودهی کنترل کیفی و تحقیقات. مهندسی صنایع و مدیریت شریف. شماره ۱۰ (۱۳۷۳) ٥٤.

[3] H.A. Mostafavi, S.M. Mirmajlessi, S.M. Mirjalili, H. Fathollahi, H. Askari. Gamma radiation effects on physico-chemical parameters of apple fruit during commercial post-harvest preservation. Radiat. Phys. Chem. 81(2012) 666–671.

[4] A. Tayel, M.F. Zaki, A.B. Basaty, T. M. Hegazy. Modifications induced by gamma irradiation to Makrofol polymer nuclear track detector. J. Adv. Res. 6 (2015) 219-224.

[5] S.S. Cota, V. Vasconcelos, J.M. Senne, L.L. Carvalho. Changes in mechanical properties due togamma irradiation of high-density polyethylene (HDPE). Braz. J. Chem. Eng. 24 (2007) 259 - 265.

[6] M. Sohrabpour, M. Hassanzadeh, M. Shahriari, M. Sharifzadeh. Gamma irradiator dose mapping

simulation using the MCNP code and benchmarking with dosimetry. App. Radiat. Isot. 57(2002)537-542.

[۷] رزداری، آیت. مطالعه پرتودهی گاما بر روی ماندگاری سیب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد (۱۳۹۳).

[8] K. Jongsoon, R.G. Moreira and I.A. Braby. Simulation of Gamma-Ray Irradiation of Lettuce Leaves in a Cs137 Irradiator Using MCNP, Prog. Nucl. Sci. Tech. 2 (2011)442-446.

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

[10] Manual and specifications of gamma cell 220 irradiation unit. Atomic energy of Canada limited (1988).

[11] A.L. Winton. Structure and composition of foods.London, John Wiley & Sons (1965).