

بررسی آسیب ناشی از انفجار بمب کثیف و تحلیل آسیب مستقیم ناشی از ذرات آلفا و پروتون بر روی DNA

علی روحی مردق^۱

چکیده

با کاربرد گسترده انرژی هسته‌ای در صنعت و زمینه‌های نظامی، تشعشعات یونیزان بیش از پیش بر انسان تاثیر می‌گذارد. در اقدامات تروریستی هسته‌ای، مکان‌های پرجمعیت شهری هدف اصلی محسوب می‌شوند. یکی از مهلک‌ترین نوع حملات تروریسم هسته‌ای، استفاده از بمب کثیف در مکان‌های شلوغ و سر بسته مانند ایستگاه‌های مترو و مراکز خرید می‌باشد. پرتوهای یونیزه کننده از لحاظ مکانیسم عمل یونیزاسیون به پرتوهای یونیزه کننده مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. تابش یونیزه کننده با انتقال انرژی خطی بالا (LET) همانند استفاده از ذرات آلفا می‌تواند مستقیماً با اهداف بیولوژیکی برهمکنش داشته باشد تا باعث یونیزاسیون شود و زنجیره‌ای از حوادث را برای ایجاد تغییرات بیولوژیکی آغاز کند. از نرم افزار Geant4-DNA برای محاسبه شکستگی مستقیم DNA ناشی از ذرات آلفا و پروتون استفاده شد. برای ذرات آلفا با انرژی ۱ مگاالکترون ولت، تعداد شکستگی‌های تک رشته‌ای (SSB) و دو رشته‌ای (DSB) افزایش یافته است. فراتر از انرژی ۱ مگاالکترون ولت، SSB و DSB روند نزولی داشتند. مشاهده شد که نسبت $\frac{SSB}{event}$ برای پروتون‌ها و ذرات آلفا در انرژی‌های مختلف تقریباً ثابت است. نتایج بررسی شده، نشان داد که در حالت کلی تفاوتی بین ذرات آلفا و پروتون در مقدار SSB، قابل توجه نیست.

واژگان کلیدی: بمب کثیف، ذرات آلفا، پروتون‌ها، DNA، SSB، DSB.

مقدمه

تحول و پیشرفت‌های روزافزون علوم و تکنولوژی موجب تحول در ساختار جنگ‌های بشری شده و شکل جنگ‌ها را از فرم کلاسیک به جنگ‌های نوین و نا متعارف تغییر داده است. بمب کثیف نوعی سلاح انفجاری است که در آن از انفجار غیر هسته‌ای برای پراکندن مواد پرتوزا و آلوده کردن محیط استفاده می‌شود. بمب کثیف بیشتر از آنکه شبیه به یک بمب هسته‌ای با قدرت تخریب بالا باشد به یک بمب با مواد منفجره متعارف شبیه است و تهدیدی جدی از سوی تروریست‌ها می‌باشد. انفجار یک بمب کثیف نسبت به بمب‌های هسته‌ای تخریب و تلفات کمتری ایجاد می‌کند ولی ساخت آن بسیار ساده تر و ارزان تر بوده و در ضمن از قابلیت تخریب انفجاری و آسیب‌های تشعشعی برخوردار است.

انتشار مواد رادیواکتیو با هدف آسیب رسانی حمله رادیولوژیکی نام می‌گیرد. بمب کثیف، نوعی RDD^۱ است که به منظور پراکنش مواد رادیواکتیو به سطح یک منطقه مشخص و با وسایل انفجاری معمول فعال می‌شود. از کلمات بمب کثیف و RDD اغلب در مقالات تکنیکی به جای یکدیگر استفاده می‌شود. ولی، RDD سایر موارد پراکنش مانند قراردادن یک کانتینر پر از مواد رادیواکتیو در یک محل عمومی یا استفاده از هواپیما برای انتشار شکل‌های پودری یا گازهای استنشاقی مواد رادیواکتیوی، را نیز در برمی‌گیرد [1]. انفجار یک بمب هسته‌ای هزاران، تا میلیون‌ها برابر بیش از انفجار متعارف که در بمب کثیف رخ می‌دهد، انرژی تولید می‌کند. انفجار کلاهک هسته‌ای منجر به انفجار مهیب شده و در نتیجه موج انفجار، گرما، تشعشع، ریزش مواد رادیواکتیو رخ می‌دهد و همچنین ابر قارچی شکل منحصربه فردی را تولید می‌کند. عبارات رادیواکتیو بوسیله باد در هوا جابجا شده و در اثر نیروی وزن به سطح زمین می‌ریزد [2].

در حال حاضر یکی از تهدیدهای محتمل استفاده از سلاح‌های هسته‌ای کم قدرت است که در ابعاد و اندازه یک چمدان می‌باشد و محتمل‌ترین تهدید منطقی، استفاده از بمب کثیف است. این بمب حاوی مواد منفجره و مواد رادیواکتیو است. این سلاح‌ها می‌توانند حاوی اورانیوم یا پلوتونیم باشند ولی به احتمال بیشتر، از مواد رادیواکتیو قابل دسترس در امور پزشکی، تحقیقات و صنایع استفاده می‌شود [3]. در انفجار بمب کثیف بیشتر ذرات رادیواکتیو به مناطق اطراف پراکنده می‌شود و به زمین سقوط می‌کند و در محدوده انفجار، اعمال اثر خواهد کرد. میزان تخریب و تلفات بمب کثیف با مقدار مواد منفجره آن تعیین می‌شود. ولی با کمترین مقادیر ماده منفجره، پخش مواد رادیواکتیو می‌تواند چشمگیر باشد و اثرات روانی این رخداد بسیار بیشتر از صدمات فیزیکی آن است [4].

ذرات باردار با LET^۲ بالا، مانند یون‌های کربن یا هلیوم، می‌توانند یونیزاسیون قوی را در طول مسیر خود القا کنند و باعث آسیب به DNA شوند. آسیب وارده در این فرایند نسبت به آسیب دیگری که از طریق سایر فرایندهای تابش یونیزان مانند اشعه X ایجاد شده است، قدرتمندتر است [5]. اگرچه جنبه‌های فیزیکی ذرات باردار به طور منطقی قابل درک است، اما تفاوت بین انواع مختلف تابش از نظر آسیب DNA نیاز به بررسی بیشتری دارد [6-8]. تابش یونیزان با انتقال انرژی خطی بالا (LET)، همانند استفاده از ذرات آلفا، می‌تواند مستقیماً با اهداف بیولوژیکی برهم‌کنش داشته باشد تا باعث یونیزاسیون شود و زنجیره‌ای از حوادث را برای ایجاد تغییرات بیولوژیکی آغاز کند. برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که آسیب DNA به LET تابش یونیزان بستگی دارد. تابش ذرات با LET بالا آسیب‌های پیچیده‌تری ایجاد می‌کند که ترمیم آن بسیار دشوار است [9-11].

¹ radiological dispersal device

² Linear energy transfer

در مطالعات بیولوژیکی، DNA به عنوان یک هدف مهم برای اثرات بیولوژیکی انواع مختلف تابش شناخته می‌شود [۱۲-۱۴]. شکست‌های DNA ناشی از تابش برای بررسی ظرفیت تابش برای از بین بردن سلول‌ها اساسی است. انواع مختلف تابش، طیف وسیعی از آسیب‌های DNA را ایجاد می‌کند، مانند ^۱SSB و ^۲DSB ها. SSB در صورت برخورد با یک اتم قند فسفات با ذخیره انرژی بیشتر از ۸/۲۳eV که اولین سطح تحریک در آب مایع است برخورد می‌کند [۱۵]. DSB زمانی اتفاق می‌افتد که دو SSB در رشته‌های مخالف در فاصله جفت ۱۰ پایه (جفت باز) تشکیل شوند [۱۶-۱۸]. DSB از خطرناک‌ترین آسیب‌های DNA است [۱۹].

آسیب مستقیم مربوط به عملکرد مستقیم ذرات (اولیه یا ثانویه) بر روی اهداف بیولوژیکی از طریق یونیزاسیون یا تحریک است. در اثر تأثیرات غیر مستقیم، تابش با آبی که بیشتر حجم سلول را پر می‌کند، برهم‌کنش می‌کند، این منجر به ایجاد رادیکال‌های آزاد می‌شود که اتم‌ها یا مولکول‌های بسیار با واکنش بالا هستند و هرکدام دارای یک الکترون جفت نشده هستند. رادیکال‌های آزاد می‌توانند به اهداف حیاتی متشکل از DNA حمله کرده و رشته‌های آنها را بشکنند [۲۰]. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیرات مستقیم تابش ذرات آلفای تک انرژی در سطح انرژی ۱-۰/۱ Mev با گام ۰/۱ Mev، ۵-۱ Mev با گام ۱ Mev و ۳۰-۱۰ Mev را با گام ۱۰ Mev مرحله انجام شده است. $\frac{SSB}{event}$ ، $\frac{DSB}{event}$ و انرژی ذخیره شده، مقادیر LET برای انرژی‌های مختلف و بازده SSB و DSB برای ذرات آلفا محاسبه شد. علاوه بر این، نتایج آلفا با نتایج پروتون مقایسه شد [۲۱].

1- پیشینه تحقیق

برهم‌کنش پرتوهای یونیزان با هسته سلول می‌تواند منجر به آسیب به پایه DNA و همچنین شکستگی رشته‌های تکی و دوگانه (SSBs و DSBs) شود که می‌تواند اثرات بیوفیزیکی اولیه و دیر هنگام از جمله مرگ سلولی، اختلال ژنتیکی و سرطان را آغاز کند. نتایج تجربی از زیست‌شناسی پرتوهای مولکولی و سلولی نشان می‌دهد که سطوح اولیه و باقیمانده DSBs به اثرات بیولوژیکی تشعشعات مرتبط است. آسیب DNA می‌تواند باعث انسداد ساختاری در سلول شود که می‌تواند منجر به انحراف سلولی یا سرطان شود. اثرات اولیه پرتوهای یونیزان هم از فعل و انفعالات فیزیکی مانند یونیزاسیون و تحریک و هم از واکنش شیمیایی رادیکال‌ها به ویژه رادیکال هیدروکسیل سرچشمه می‌گیرد. مدل‌سازی بیوفیزیکی منجر به درک این موضوع شده است که با افزایش پیچیدگی آسیب DNA، آسیب شدیدتر می‌شود و احتمالاً پیامدهای بیولوژیکی خواهد داشت. مطالعه طیف‌های DSB در درجه اول مهم است زیرا آنها می‌توانند منجر به ترمیم نادرست یا عدم درمان شوند و از این رو می‌توانند باعث مرگ سلولی شوند. در تشعشعات آلفا، مانند همه انواع پرتوهای یونیزان، DSB اشتباه یا ترمیم نشده اصلی‌ترین ضایعه مرتبط بالینی فرض می‌شود. منجر به انحرافات کروموزومی و از دست دادن یکپارچگی تولید مثلی سلول می‌شود. DSB های ایجاد شده توسط ذرات آلفا بسیار پیچیده، مقاوم‌تر به ترمیم معمولی هستند، و بنابراین ژنوتوکسیک‌تر از DSB های ناشی از روش‌های دیگر هستند [۲۲].

2- روش تحقیق

¹ single-stranded breaks

² double-stranded breaks

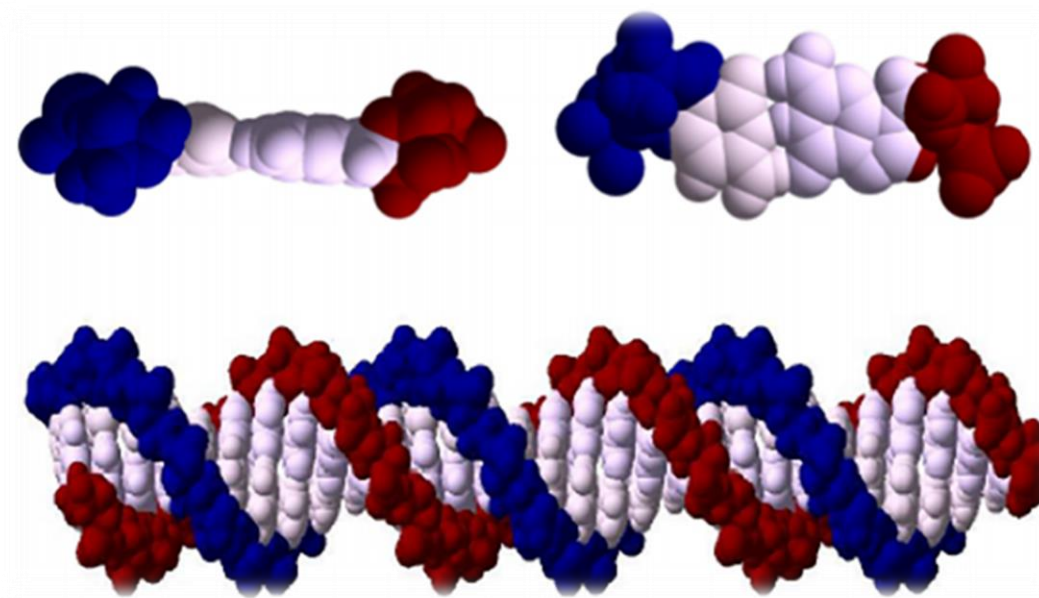
۱-۲ نرم افزار Geant4-DNA

نرم افزار کاربردی Geant4-DNA در این کار انتخاب شده است. نرم افزار Geant4-DNA برای اولین بار در سال ۲۰۰۷، توسعه یافته، این نرم افزار با هدف عمومی برای ترابرد ذرات در انرژی‌های مربوط به میکرو و نانو دوزیمتری تولید شد. این نسخه نتیجه تحقیقات مداوم در چارچوب پروژه Geant4-DNA می‌باشد. نسخه مورد استفاده Geant4.10.2 بود که مجموعه کاملی از مدل‌ها را برای مراحل فیزیکی، فیزیکی شیمیایی و شیمیایی برهم کنش تابش یونیزان با آب مایع فراهم می‌کند.

۲-۲ روش شبیه‌سازی

در این مطالعه برای در نظر گرفتن تمام فرایندهای فیزیکی منجر به ذخیره انرژی الکترون‌ها، می‌توان از پروتون‌ها و ذرات آلفا، فرایندهای خاص و کلاس‌های مدل موجود در Geant4-DNA بهره برد. در این شبیه‌سازی‌ها از کلاس سازنده G4EmDNAPhysics استفاده شده است که برهم‌کنش‌های الکترومغناطیسی و شبیه‌سازی برخی از فرایندهای فیزیکی مانند پراکندگی الاستیک، یونیزاسیون، تحریک الکترونیکی، تحریک ارتعاشی و غیره را توصیف می‌کند.

استفاده از مدل هندسی اولین قدم برای مدل‌سازی آسیب‌های DNA است. در این بررسی، هندسه DNA اتمی براساس مدل پیشنهادی برنال و همکاران شبیه‌سازی شد [23]. در این مدل سطوح مختلف و نوکلئوتیدها و الیاف کروماتین شبیه‌سازی شده است. در مدل اتمی، مارپیچ دوتایی DNA با جزئیات در نظر گرفته شد. اتم‌ها توسط کره‌هایی با شعاع متناسب با شعاع و اندروالس مدل‌سازی شدند. برای ساخت سطوح مختلف هندسه، از روشی که شامل جفت نوکلئوتید یا جفت باز، رشته‌های دوتایی DNA، نوکلئوزوم‌ها و الیاف کروماتین استفاده شد. برای تشکیل مارپیچ DNA، از طریق چرخش زاویه حدود 36° درجه برای هر جفت باز، جفت بازها در امتداد یک محور چرخشی قرار گرفتند. شکل ۱ نمودار سه بعدی هندسه جفت باز را از دو نمای و مارپیچ دوگانه DNA نشان می‌دهد [21].

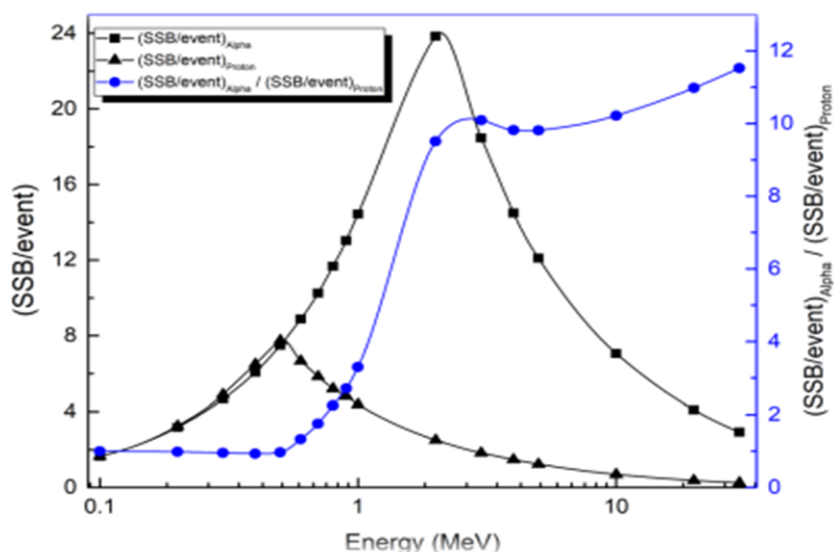


شکل (۱): نمودار سه بعدی یک جفت نوکلئوتید با دو نمای جانبی و مارپیچ دوتایی DNA که در مطالعه حاضر استفاده شده است [21].

در مرحله بعدی شبیه سازی هندسی، نوکلئوزومها با چرخاندن دو حلقه مارپیچ به دور کره هیستون ساخته شدند. پس از ساخت نوکلئوزوم، الیاف کروماتین توسط شش نوکلئوزوم در هر سطح در یک مارپیچ فوقانی با گام $7/11$ نانومتر و قطر خارجی $38/31$ نانومتر تشکیل شد. تکرار این ساختار منجر به فیبر کروماتین شد. بر اساس هندسه شبیه سازی شده، تمام جفت های پایه DNA به طور تصادفی در هسته سلول به طول 10 میکرومتر قرار گرفتند. مقدار LET، توسط Geant4 محاسبه شد. شبیه سازی ها با آلفای تک انرژی و پروتون با سطح انرژی $0.1-1$ MeV، $5-10$ MeV و $10-30$ MeV انجام شد. پرتوهای در امتداد جهت Z و در ورودی هسته سلول تحت تابش قرار گرفتند [21].

۳- تجزیه و تحلیل

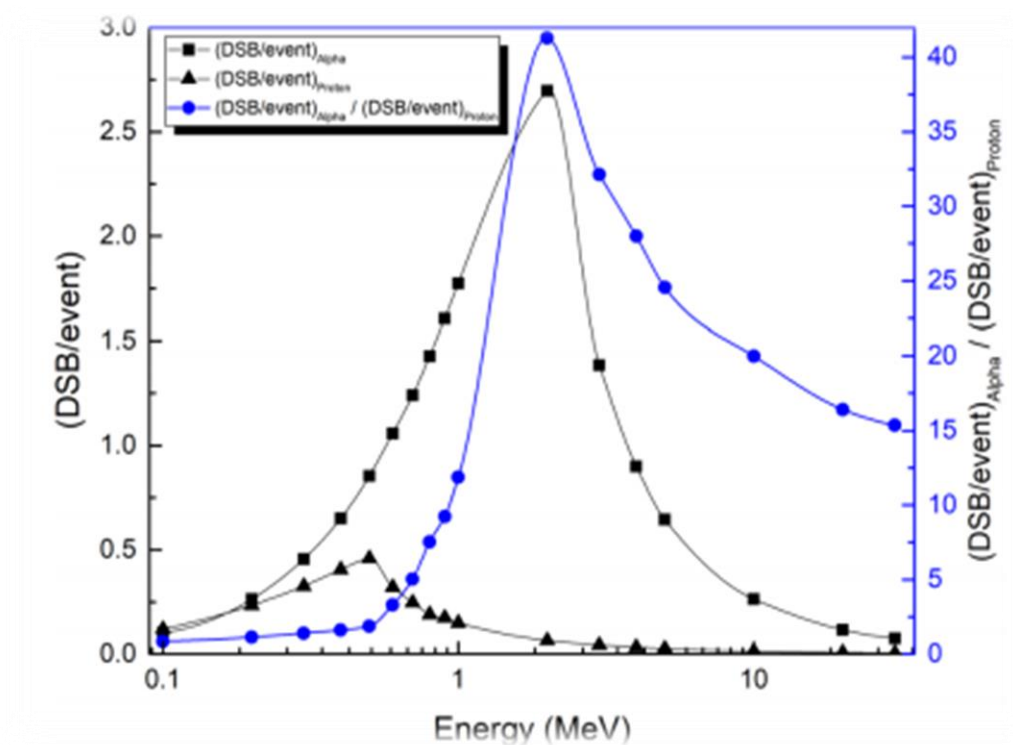
شکل ۲ از نظر انرژی ذرات آلفا در مقایسه با نتایج پروتون، $\frac{SSB}{event}$ ، $\frac{DSB}{event}$ را نشان می دهد. روند $\frac{SSB}{event}$ ذرات آلفا در محدوده $0.1-1$ MeV افزایش یافت، اما این روند افزایش در محدوده $0.5-1$ MeV برای پروتون ها بود. روند بیشتر از 1 MeV برای ذرات آلفا و فراتر از 0.5 MeV برای پروتون ها کاهش یافته است. بر اساس نتایج، برای تابش های آلفا و پروتون در محدوده 0.1 MeV تا 0.5 MeV تقریباً یکسان است، اما فراتر از این محدوده، نسبت ذرات آلفا به پروتون ها در سطح انرژی 12 MeV به 30 MeV افزایش می یابد [21].



شکل (۲): تعداد $\frac{SSB}{event}$ برای ذرات آلفا و پروتون و نسبت $\frac{SSB}{event}$ برای ذرات آلفا به آن برای پروتون ها [21].

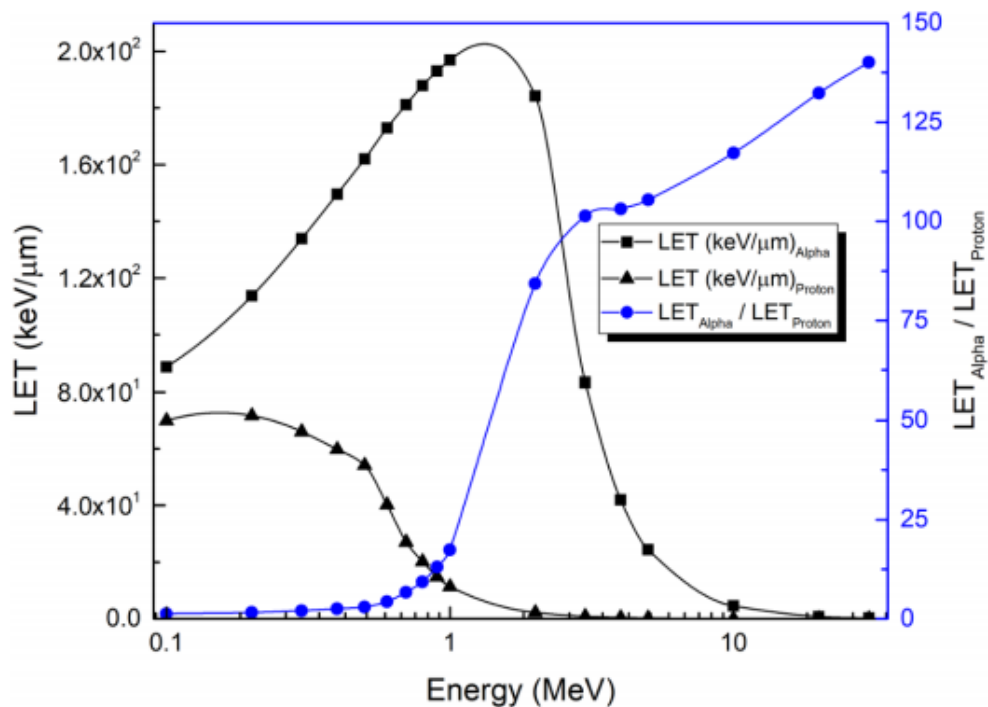
شکل ۳ میانگین شکستگی DSB برای انرژی های مختلف آلفای مختلف و نسبت آنها به شکست پروتون را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، روند $\frac{SSB}{event}$ آلفا و پروتون مشابه روندهای $\frac{SSB}{event}$ آن ذرات است. اکثر

DSBها مربوط به انرژی کم هستند. در واقع، بیشتر این شکست‌ها برای ذرات آلفا در سطح انرژی کمتر از ۱ MeV رخ می‌دهد. نسبت شکست آلفا به شکست پروتون ۱ برای سطح انرژی کمتر از ۰/۵ MeV است، اما فراتر از این انرژی، این نسبت در انرژی ۲ MeV به ۴۱ MeV افزایش می‌یابد [21].



شکل (3): تعداد $\frac{SSB}{event}$ برای آلفا و ذرات پروتون و میزان $\frac{SSB}{event}$ ذرات آلفا به پروتون‌ها به عنوان تابعی از انرژی [21].

در شکل ۴، LET با توجه به انرژی ذخیره شده محاسبه شد. مقدار LET ذرات آلفا برای بیش از ۱۰۰٪ در محدوده ۰/۱ keV / μ m تا ۸۸/۶۲ keV / μ m (۱۹۶/۸۷ keV / μ m) افزایش یافت، اما فراتر از این محدوده انرژی به ۱۴۰ keV / μ m کاهش یافت. نسبت LET آلفا به LET پروتون ۱/۲۶ در ۰/۱ MeV بود، اما در سطوح انرژی بالاتر، به ۲۸ رسید [21].



شکل (4): LET برای ذرات آلفا و پروتون و نسبت مقادیر LET برای آن ذرات به عنوان تابعی از انرژی محاسبه شده است [21].

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

خطرناک‌ترین نوع استفاده از انرژی هسته‌ای کاربردهای نظامی آن است که به دلیل قدرت تخریبی بسیار بالا آسیب‌های غیرقابل‌تصویری را به DNA می‌رساند. در مطالعه حاضر، آسیب مستقیمی که ذرات آلفا و ذرات پروتون در DNA ایجاد کرده‌اند محاسبه و در محدوده ۳۰-۱ MeV مقایسه شده است. وضوح اتمی DNA با استفاده از Geant4-DNA شبیه‌سازی شد و $\frac{SSB}{event}$ مربوطه، $\frac{SSB}{event}$ مربوطه ارزیابی شد. انرژی ذخیره شده توسط Geant4 محاسبه شد. دامنه آلفا کوتاه‌تر از دامنه پروتون بود. کل انرژی ذرات آلفا در کمتر از ۱ MeV و پروتون‌ها کمتر از ۰/۵ MeV ذخیره انرژی داشته است. نسبت مقدار LET ذرات آلفا به پروتون‌ها از ۱/۲۶ در ۱ MeV به ۱۴۰ در ۳۰ MeV افزایش یافته است. نسبت عملکرد SSB برای آلفا به پروتون‌ها از ۰/۸۶ تا ۱/۱ متغیر بود. در این مورد، تفاوت معنی‌داری بین ذرات آلفا و پروتون وجود نداشت.

فهرست منابع

- [1] Radiological Attack. A fact sheet from the national academies and the US department of Homeland security. www.bt.cdc.gov. last update 10 2006
- [2] Frequently Asked Questions About a Nuclear Blast. www.cdc.gov. Page last reviewed May ۱۰, ۲۰۰۶
- [۳] دفتر پاسخ به فوریت های پرتوی؛ مقابله با سلاحهای رادیولوژیک، مرکز آمادگی فن آوریهای نوین دفاعی
- [4] dirty bomb explosion. www.cdc.gov. 12/ 2005
- [5] H. Nikjoo, P. O'Neill, W. Wilson, and D. Goodhead, "Computational approach for determining the spectrum of DNA damage induced by ionizing radiation," *Radiation research*, vol. 156, no. 5, pp. 577-583, 2001. I. Rosenberg, "Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students," *British journal of cancer*, vol. 98, no. 5, p. 1020, 2008.
- [6] S. Ritter and M. Durante, "Heavy-ion induced chromosomal aberrations: a review ", *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 701, no. 1, pp. 38-46, 2010.
- [7] M. Bernal *et al.*, "Track structure modeling in liquid water: A review of the Geant4-DNA very low energy extension of the Geant4 Monte Carlo simulation toolkit," *Physica Medica*, vol. 31, no. 8, pp. 861-874, 2015.
- [8] D. Viduna, K. Hinsin, and G. Kneller, "Influence of molecular flexibility on DNA radiosensitivity: a simulation study," *Physical Review E*, vol. 62, no. 3, p. 3986, 2000.
- [9] H. Nikjoo, P. O'Neill, W. Wilson, and D. Goodhead, "Computational approach for determining the spectrum of DNA damage induced by ionizing radiation," *Radiation research*, vol. 156, no. 5, pp. 577-583, 2001. I. Rosenberg, "Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students," *British journal of cancer*, vol. 98, no. 5, p. 1020, 2008.
- [10] L. H. Thompson, "Recognition, signaling, and repair of DNA double-strand breaks produced by ionizing radiation in mammalian cells: the molecular choreography," *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, vol. 751, no. 2, pp. 158-246, 2012.
- [11] M. Hada, H. Wu, and F. A. Cucinotta, "mBAND analysis for high-and low-LET radiation-induced chromosome aberrations: a review," *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, vol. 711, no. 1-2, pp. 187-192, 2011.
- [12] H. Palmans *et al.*, "Future development of biologically relevant dosimetry," *The British journal of radiology*, vol. 88, no. 1045, p. 20140392, 2015.

- [13] M. Hada, H. Wu, and F. A. Cucinotta, "mBAND analysis for high-and low-LET radiation-induced chromosome aberrations: a review," *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, vol. 711, no. 1-2, pp. 187-192, 2011.
- [14] J. Ward, "Nature of Lesions Formed by Ionizing Radiation, DNA damage and repair," *DNA Repair in Higher Eukaryotes. Totowa: Humana Press*, vol. 2, pp. 65-84, 1998.
- [15] W. Friedland, P. Jacob, H. G. Paretzke, M. Merzagora, and A. Ottolenghi, "Simulation of DNA fragment distributions after irradiation with photons," *Radiation and environmental biophysics*, vol. 38, no. 1, pp. 39-47, 1999.
- [16] J. Allison *et al.*, "Recent developments in Geant4," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 835, pp. 186-225, 2016
- [17] A. H. Elgazzar and N. Kazem, "Biological effects of ionizing radiation," in *The pathophysiologic basis of nuclear medicine*: Springer, 2015, pp. 715-726.
- [18] M. A. Bernal *et al.*, "An atomistic geometrical model of the B-DNA configuration for DNA–radiation interaction simulations," *Computer Physics Communications*, vol. 184, no. 12, pp. 2840-2847, 2013.
- [19] A. Campa *et al.*, "DNA DSB induced in human cells by charged particles and gamma rays: experimental results and theoretical approaches," *International journal of radiation biology*, vol. 81, no. 11, pp. 841-854, 2005.
- [20] M. A. Bernal, C. Dealmeida, C. Sampaio, S. Incerti, C. Champion, and P. Nieminen, "The invariance of the total direct DNA strand break yield," *Medical Physics*, vol. 38, no. 7, pp. 4147-4153, 2011.
- [21] Z. Ahmadi Ganjeha *et al.*, "Simulation of direct DNA damages caused by alpha particles versus protons," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, Vol 473, No 1, Pages 10-15, 2020.
- [22] H. Moeini *et al.*, "Calculation of the initial DNA damage induced by alpha particles in comparison with protons and electrons using Geant4-DNA," *International Journal of Radiation Biology*, Vol. 66, NO. 6, pp. 767–778, 2020.
- [۲۳] A. Ottolenghi, M. Merzagora, and H. Paretzke, "DNA complex lesions induced by protons and α -particles: track structure characteristics determining linear energy transfer and particle type dependence," *Radiation and environmental biophysics*, vol. 36, no. 2, pp. 97-103, 1997.

investigation of damage caused by dirty bomb explosion and analysis of direct damage caused by alpha and proton particles on DNA

A. Rouhi¹

Abstract:

With the widespread use of nuclear energy in industry and military fields, ionizing radiation affects humans more than ever. In nuclear terrorist acts, densely populated urban areas are considered the main target. One of the most deadly types of nuclear terrorism attacks is the use of dirty bombs in crowded and closed places such as subway stations and shopping centers. Ionizing rays are divided into direct and indirect ionizing rays in terms of the mechanism of action of ionization. Ionizing radiation with high linear energy transfer (LET), such as using alpha particles, can directly interact with biological targets to cause ionization and initiate a chain of events to produce biological changes. Geant4-DNA software was used to calculate direct DNA breakage caused by alpha particles and protons. For alpha particles with an energy of 1 megaelectron volts, the number of single strand breaks (SSB) and double strand breaks (DSB) has increased. Beyond the energy of 1 MeV, SSB and DSB had a decreasing trend. It was observed that $\frac{SSB}{event}$ ratio is almost constant for protons and alpha particles at different energies. The analyzed results showed that in general, there is no significant difference between alpha particles and protons in the amount of SSB.

Keywords: Dirty bomb, alpha particles, protons, DNA, SSB, DSB.

1. Graduated from Tabriz University, Iran. Email: Alirohiie.ar99@gmail.com