

## بررسی تاثیر سن بر میزان کمیت‌های حفاظتی ناشی از تابش خارجی نوترون با استفاده از گزارش‌های مختلف ICRP

خباز، رحیم - آتابای، محمدامین

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان-ایران

### چکیده:

در این پژوهش بر مبنای توصیه‌های منتشر شده توسط کمیته بین‌المللی حفاظت پرتویی (ICRP)، دوزهای معادل و موثر برای سنین مختلف با چشمه خارجی نوترون برآورد شده است. محاسبات برای ۲۸ گروه انرژی نوترون از  $10^{-9}$  تا  $1 \times 10^{-9}$  مگاالکترون‌ولت در ۴ هندسه پرتودهی: از روبرو، از پشت سر، از سمت راست و از سمت چپ، انجام شده‌اند. مجموعه فانتوم‌های ریاضی ORNL که شامل ۶ گروه سنی: نوزاد، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ سال و بزرگسال است در کد مونت کارلوی MCNPX2.6 برای محاسبه دوز مورد استفاده قرار گرفتند. در هر مرحله دوز موثر با توجه به ضریب وزنی بافت ( $W_R$ ) منتشر شده توسط ICRP60، ICRP74 و ICRP116 محاسبه و نتایج حاصل با انتشارات ICRP116 مقایسه شد که در انرژی‌های پایین و میانی توافق نسبتاً خوبی داشتند اما در انرژی‌های بالا اختلاف تا ۳۰ درصد نیز می‌رسید.

کلیدواژه‌ها: دوز معادل، دوز موثر، MCNPX2.6، چشمه نوترون

## Age-dependent protection quantities for external neutron irradiation using ICRP recommendation

Khabaz, Rahim - Atabay, Mohammadamin

Department of physics, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

### Abstract:

In this study, based on the recommendation by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), equivalent doses and effective doses for different ages obtained for external neutron sources. The calculations at 28 neutron energies from  $1 \times 10^{-9}$  MeV to 20 MeV are carried out for 4 irradiation geometries: anterior-posterior, posterior-anterior, right lateral and left lateral. An age-dependent anthropomorphic mathematical phantom series of six groups: newborn, 1, 5, 10, 15 years old and adult is used with the Monte Carlo computer code MCNPX-2.6 for the dose evaluations. The results are compared with those in ICRP Publication 116 and are in good agreement. At each stage, the effective dose was calculated according to the tissue weight factor ( $W_R$ ) published by ICRP60, ICRP74 and ICRP116 and the results were compared with ICRP116 recommendation, which had a relatively good agreement at low and medium energies, but at high energies the difference was up to 30%.

**Keywords:** Equivalent dose, Effective dose, MCNPX-2.6, Neutron Source.

Email: aminatabay@gmail.com

## ۱. مقدمه

دوزسنجی برای افراد جامعه که در معرض تابش خارجی قرار گرفته‌اند امری مهم است زیرا اثرات و مضرات تابش در به خطر انداختن سلامتی، برای اندام‌های مختلف متفاوت است. مطالعات متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد خطرات تابش می‌تواند برای نوزادان و کودکان نسبت به بزرگسالان بیشتر باشد [۱]. تابش برای افراد عادی جامعه شامل تابش ناشی از روش‌های مختلف پرتودهی پزشکی (درمانی و تشخیصی)، تابش‌های پس زمینه طبیعی، تابش ناشی از تولیدات یا انفجارهای نیروگاه‌های هسته‌ای، تولیدات صنعتی که از مواد رادیواکتیو استفاده می‌کنند و حملات تروریستی که مستقیماً از بمب هسته‌ای استفاده می‌کنند، است.

دوز جذب شده برای هر اندام بدن انسان مستقیماً از تابش قابل اندازه‌گیری نیست. بنابراین باید کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری مانند کرما یا شار، به همراه ضرایب دوز برای تعیین دوز جذبی اندام مورد استفاده قرار گیرد [۲]. امروزه برای تعیین ضرایب دوز، فانتوم‌های انسانی ریاضی که مطابق با آناتومی بدن است با کدهای رایانه‌ای مونت کارلو سازگار شده‌اند. در این فانتوم‌ها اعضای بدن انسان توسط معادلات ریاضی تعریف شده‌اند [۳].

در کمیته بین‌المللی حفاظت پرتویی (ICRP) انتشارات ICRP60، ICRP74 و ICRP116 [۴-۶] با یک جدول‌بندی از اندام‌ها و ضرایب دوز موثر برای تابش‌های خارجی منتشر شده است. ضرایب دوز در این انتشارات متمرکز بر بزرگسالان با تأکید بر محافظت پرتویی پرتوکاران است. در ICRP116 یعنی جدیدترین گزارش منتشر شده در مورد ضرایب دوز مرجع، مقادیری بود که با استفاده از فانتوم‌های محاسباتی و کسل بندی شده برای زنان و مردان بالغ انجام شده بود.

بر اساس گزارش منتشر شده توسط ICRP، ضرایب دوز موثر برای سنین مختلف متفاوت است و از این رو ضرورت دارد که برای هر گروه سنی در معرض تابش، ضرایب دوز مربوط به همان گروه سنی مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش بر مبنای توصیه‌های منتشر شده توسط کمیته بین‌المللی حفاظت پرتویی (ICRP)، دوزهای معادل و موثر برای سنین مختلف با چشمه خارجی نوترون را برآورد کردیم. محاسبات برای ۲۸ گروه انرژی نوترون از  $10^{-9}$  تا  $10^9$  مگاالکترون ولت در ۴ هندسه پرتودهی: از روبرو، از پشت سر، از سمت راست و از سمت چپ، انجام شد. در هر مرحله دوز موثر با توجه به ضریب وزنی بافت ( $W_R$ ) منتشر شده توسط ICRP60، ICRP74 و ICRP116 محاسبه و نتایج حاصل با انتشارات ICRP116 مقایسه شد.

## ۲. روش کار

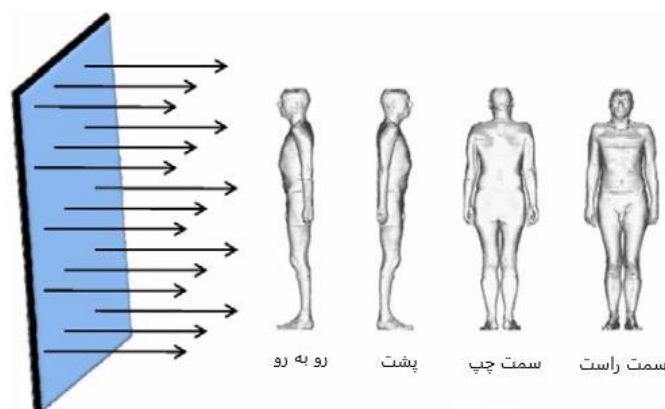
با شبیه‌سازی مونت کارلو توسط کد MCNPX2.6 [۷] از مجموعه فانتوم‌های ریاضی ORNL [9] که برای محاسبات دوزیمتری مناسب است استفاده شد. این فانتوم‌ها هر دو جنسیت زن و مرد را در بر می‌گیرند و شامل گروه‌های سنی: نوزاد، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ ساله و بزرگسال هستند. با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX2.6 برای هر یک از این فانتوم‌ها یک چشمه سطحی مستطیلی نوترون با حداکثر طول و عرض برابر با طول و عرض فانتوم مورد استفاده، در ۲۸ گروه انرژی مختلف و با پرتوهای موازی در فاصله ۳۰ سانتیمتری از آن‌ها شبیه‌سازی شد. این چشمه سطحی فانتوم‌ها را از جهات هندسی مختلف: رو به رو، پشت، سمت راست و سمت چپ تحت پرتوگیری قرار داد (شکل ۱).

نخست مقادیر شار حجمی و دوز جذبی برای چند دسته از بافت‌های فانتوم برآورد شد سپس دوز جذب شده حاصل بر روی اندام یا بافت‌های T ناشی از تابش خارجی R در ضریب وزنی تابش  $W_R$  برای تابش R ضرب شد. هنگامی که میدان تابشی متشکل از تابش‌هایی با مقادیر مختلف  $W_R$  است، دوز جذبی به تعدادی از بافت‌ها در  $W_R$  مربوط به خود ضرب شده و برای تعیین دوز معادل کل به صورت زیر جمع زده می‌شوند [۶]:

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (1)$$

که در آن  $D_{T,R}$  دوز جذب شده متوسط بر روی اندام یا بافت  $T$  ناشی از تابش  $R$  است.

مقادیر  $W_R$  مورداستفاده در اهداف حفاظتی پرتویی توسط ICRP منتشر می‌شود. در این پژوهش به منظور برآورد دوز معادل کل از  $W_R$  های موجود در ICRP60، ICRP74 و ICRP116 که هر کدام روش محاسبه مربوط به خودش را دارد، استفاده شد.



شکل ۱. چهار هندسه مختلف فانتوم در معرض پرتوگیری از چشمه خارجی سطحی نوترون با پرتوهای موازی [۶]

پس از محاسبه دوز معادل برای هر اندام یا بافت  $T$  طبق رابطه زیر هر دوز معادل حاصل، به منظور برآورد دوز موثر، در ضریب وزنی بافت  $T$  ضرب شد [۶]:

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R \cdot D_{T,R} = \sum_T W_{RT} H_T \quad (2)$$

که  $W_T$  ضریب وزنی بافت می‌باشد و مقادیر آن برای هر اندام یا بافت توسط ICRP منتشر شده است. از مقادیر  $W_T$  منتشر شده توسط ICRP استفاده شد تنها با این تفاوت که مقدار  $W_T$  برای هر دو سطح و مغز استخوان را به طور میانگین  $0/13$  در نظر گرفته شد.

به این ترتیب مقدار دوز موثر را برای هر فانتوم و برای ۲۸ گروه انرژی نوترون که از ۴ جهت: از رو به رو، از پشت سر، از سمت راست و از سمت چپ فانتوم را مورد تابش خارجی قرار می‌دهند محاسبه شد.

در تمامی برنامه‌های نوشته شده و اجرا شده در کد MCNPX2.6 که داده‌های اولیه و موردنیاز را به دست می‌دهد از کتابخانه ENDF/B-VI.0 استفاده گشت، تعداد ذرات  $2 \times 10^8$  و درصد خطای محاسبات کمتر از ۳ درصد بود.

### 3. نتایج

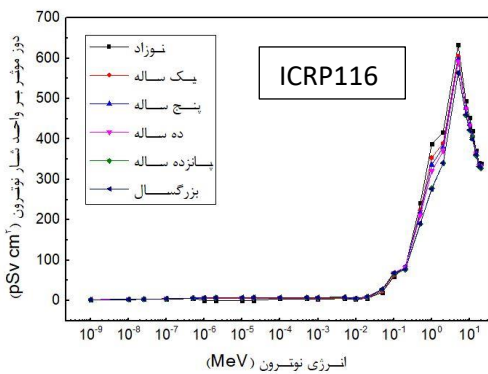
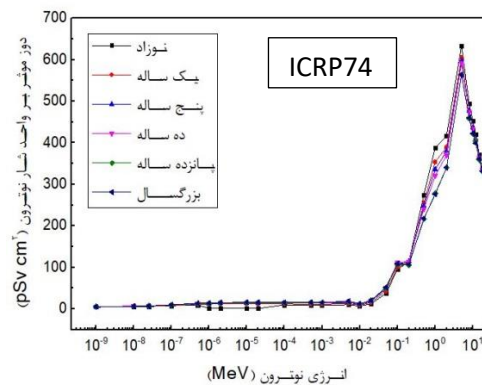
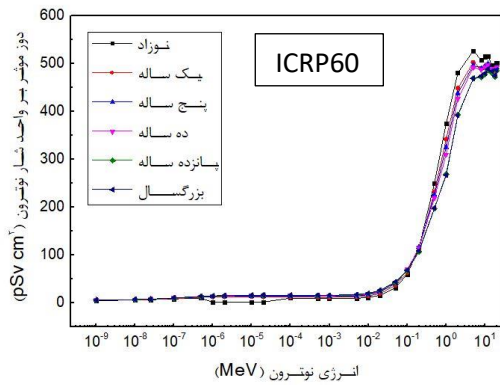
در شکل‌های ۲ تا ۵ مقادیر دوز موثر برآورد شده نسبت به انرژی نوترون برای گروه‌های مختلف فانتوم با  $W_R$  های مختلف مربوط به ICRP60، ICRP74 و ICRP116 نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ دوزهای موثر محاسبه شده با مقادیر منتشر شده توسط ICRP116 برای سن بزرگسال در ۴ جهت مختلف پرتوگیری، مقایسه شده است.

در شکل ۶ نسبت دوزهای موثر بین سنین مختلف و سن بزرگسال برای انواع هندسه پرتوگیری نمایش داده شده است.

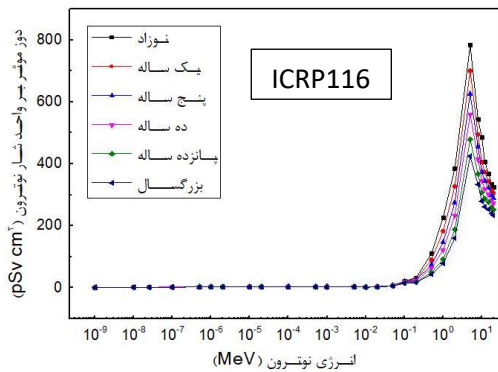
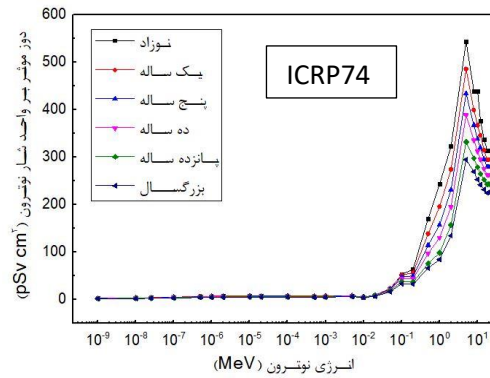
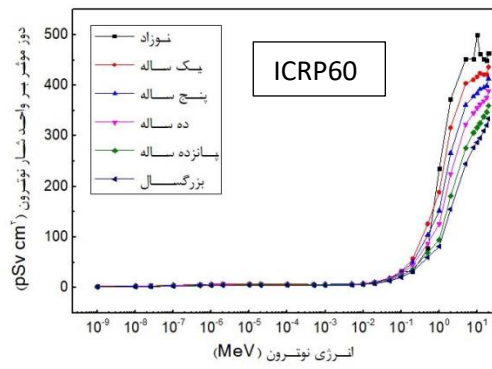
جدول ۱. مقایسه دوزهای موثر محاسبه شده در این پژوهش با مقادیر منتشر شده توسط ICRP116 برای سن بزرگسال در ۴ جهت مختلف

پرتوگیری

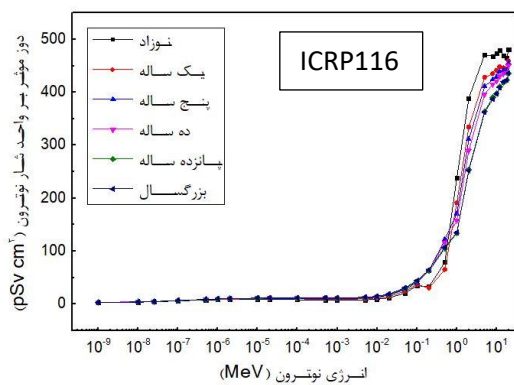
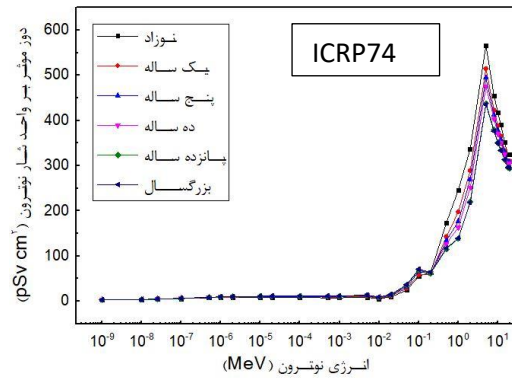
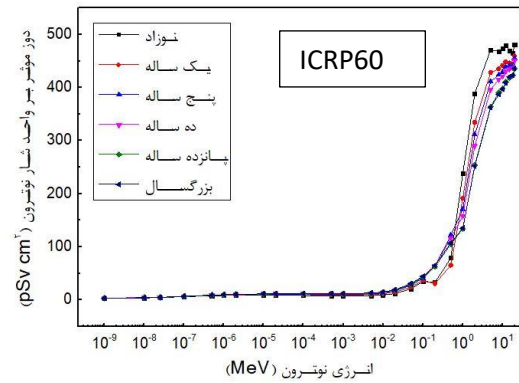
انرژی نوترون (MeV)		نسبت دوز موثر		
	رو به رو	پشت	سمت چپ	سمت راست
1.00E-09	0.88	0.90	0.79	0.85
1.00E-08	0.95	1.00	0.87	0.94
2.50E-08	0.96	1.01	0.85	0.94
1.00E-07	0.99	1.02	0.90	0.97
5.00E-07	1.02	1.06	0.92	0.99
1.00E-06	1.02	1.04	0.92	0.99
2.00E-06	1.03	1.05	0.91	0.99
1.00E-05	1.03	1.06	0.93	0.99
2.00E-05	1.03	1.05	0.93	1.00
1.00E-04	1.03	1.05	0.95	1.00
5.00E-04	1.05	1.04	0.94	1.00
1.00E-03	1.05	1.05	0.96	1.00
5.00E-03	1.15	1.09	0.98	1.03
1.00E-02	0.66	0.58	0.54	0.56
2.00E-02	0.84	0.65	0.60	0.61
5.00E-02	1.26	0.76	0.66	0.69
1.00E-01	1.64	1.13	0.94	0.99
2.00E-01	0.99	0.75	0.60	0.63
5.00E-01	1.08	0.89	0.67	0.72
1	0.92	0.88	0.68	0.74
2	0.84	1.11	0.90	0.95
5	1.14	1.77	1.58	1.61
8	0.92	1.19	1.10	1.11
10	0.85	0.96	0.88	0.89
12	0.80	0.87	0.80	0.80
15	0.73	0.82	0.75	0.75
18	0.69	0.75	0.70	0.70
20	0.69	0.72	0.67	0.67



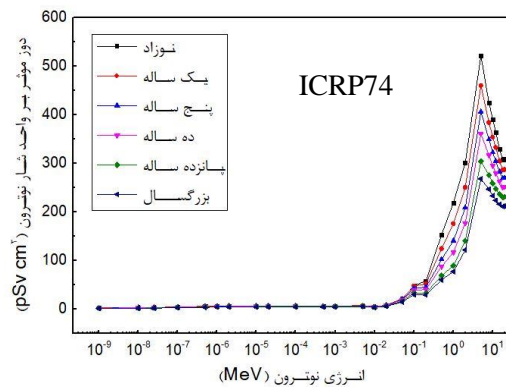
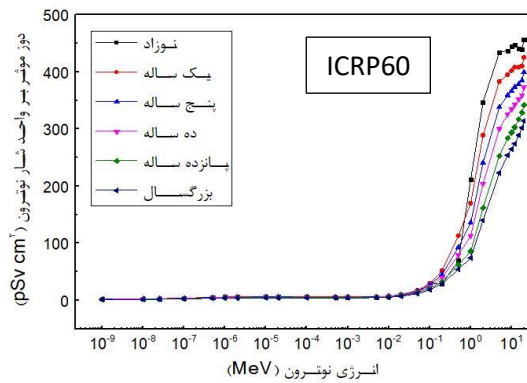
شکل ۲. مقادیر دوز موثر بر حسب انرژی نوترون برای ۶ گروه سنی در هندسه پرتوگیری رو به رو و با  $W_R$ های منتشر شده در ICRPهای مختلف



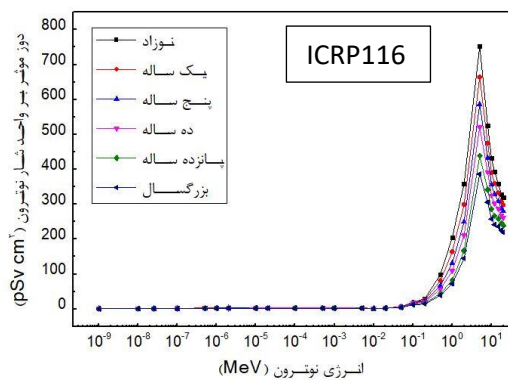
شکل ۳. مقادیر دوز موثر بر حسب انرژی نوترون برای ۶ گروه سنی در هندسه پرتوگیری سمت چپ و با  $W_R$ های منتشر شده در ICRPهای مختلف



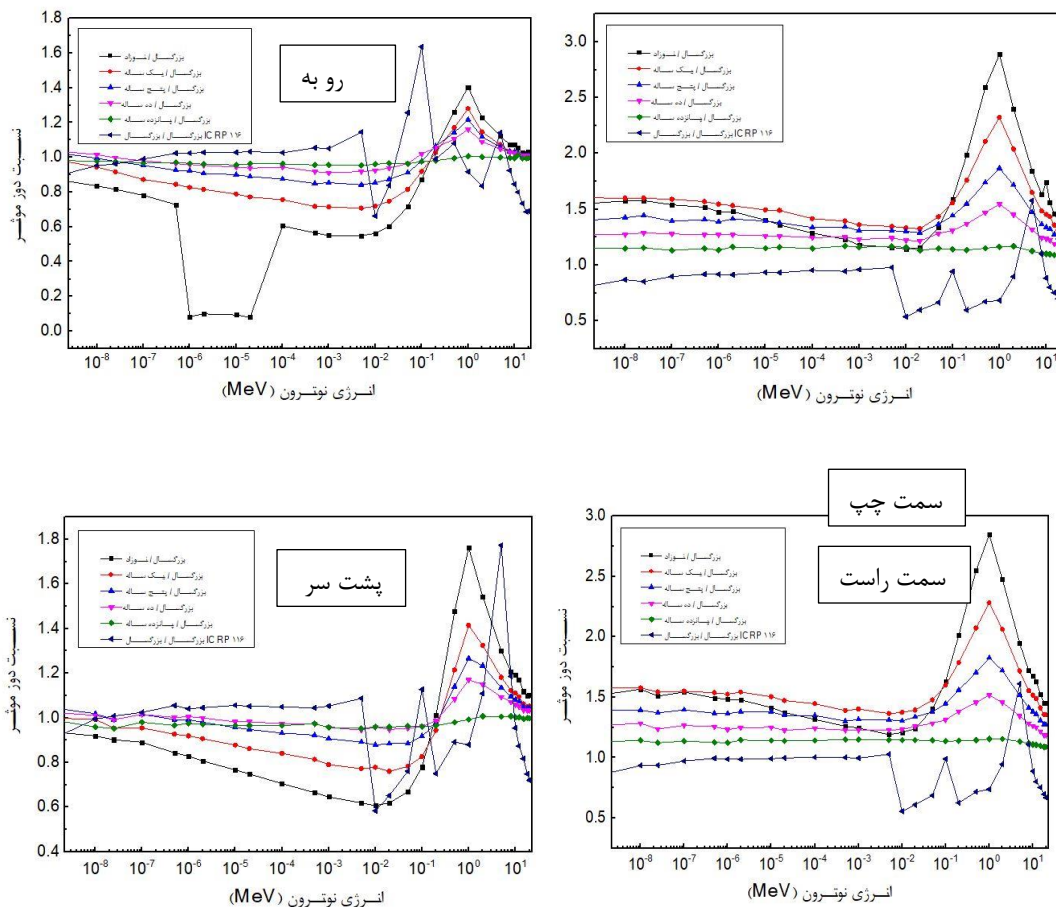
شکل ۴. مقادیر دوز موثر بر حسب انرژی نوترون برای ۶ گروه سنی در هندسه پرتوگیری پشت و با  $W_R$  های منتشر شده در ICRP های مختلف



شکل ۵. مقادیر دوز موثر بر حسب انرژی نوترون برای ۶ گروه سنی در هندسه پرتوگیری سمت راست و با  $W_R$  های منتشر شده در ICRP های مختلف







شکل ۶. نسبت دوزهای موثر بین سنین مختلف بر سن بزرگسال برای ۴ هندسه پرتوگیری چپ، راست، روبه رو و پشت سر

#### ۴. نتیجه‌گیری

در تمامی نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش سن دوز موثر برای یک انرژی به خصوص کاهش می‌یابد، به عنوان مثال سن نوزاد در یک انرژی دریافتی از چشمه مقدار دوز موثر بیشتری را متحمل می‌شود. در انرژی‌های بالا برای تمامی هندسه‌های پرتوگیری زمانی که  $W_R$  منتشر شده در ICRP60 را به کار برده شده دوز موثر تقریباً روند ثابتی را طی می‌کند اما در بقیه نمودارها با استفاده کردن از  $W_R$  های مربوط به ICRP74 و ICRP116، دوز موثر تا انرژی حدود ۵ مگاالکترون ولت افزایش یافته اما پس از این انرژی سیری کاهشی را در پیش می‌گیرد. نتایج موجود در جدول ۱ نشان می‌دهد که در انرژی‌های پایین و میانی توافق نسبتاً خوبی بین محاسبات و داده‌های منتشر شده توسط ICRP116 وجود دارد اما در انرژی‌های بالا اختلاف تا ۳۰ درصد نیز می‌رسد.

در نمودار مربوط به نسبت دوزهای موثر بین سنین مختلف و سن بزرگسال برای انواع هندسه پرتوگیری مشاهده می‌شود که در انرژی‌های پایین و میانی منحنی تقریباً روند ثابتی را طی می‌کند اما در انرژی حدود ۵ مگاالکترون ولت پیک‌هایی مشاهده می‌شود و همچنین شکل منحنی مربوط به نوزاد در ۴ هندسه پرتوگیری با سایر منحنی‌ها تفاوت بیشتری دارد

که به علت ترکیبات بافت نوزاد نسبت به بقیه سنین است. در این محدوده انرژی استفاده از  $W_R$  منتشر شده در ICRP116 مقادیر دوز موثر بیشتری را نسبت به استفاده از  $W_R$  منتشر شده در ICRP74 با توجه به اینکه از  $W_R$  های مختلف استفاده شده، در این انرژی ها، به دست می‌دهد.

## مراجع

1. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation 2006 Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Washington, DC: National Academies, 2006.
2. ICRP, Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures Ann, ICRP 40 1–258, 2010.
3. M. Cristy, K.F. Eckerman, Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources, Vol. 1–7. ORNL Report TM-8381/Vol. 1–7. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1987.
4. ICRP, New quantities and units as given in ICRP publication 60.
5. ICRP, Glossary of terms and definition of quantities, in ICRP publication 74.
6. ICRP, Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures, ICRP 116.
7. Denise B. Pelowitz, editor, MCNPX User's Manual, Version 2.6.0, LA-CP-07-1473, April 2008.
8. Pelowitz, D.B., 2008. MCNPX-A general Monte-Carlo N-particle transport code, Version 2.6, LANL Report, LA-CP-07-1473, Los Alamos.
9. Eckerman, K. F., Cristy, M. and Ryman, J. C. *The ORNL mathematical phantom series*. <http://ats.ornl.gov/documents/mird2.pdf> (1996).