مجلهٔ دانشگاه علوم پزشکی بابل
دوره هفدهم، شماره ۱، دی۱۳۹۳، صفحه ۲۱-۱۵

مقاله مروری

پرتوزایی طبیعی، تطبیق و هورمسیس پرتویی

سجاد برزوئی سیله (MSc)[۱]، علی شبستانی منفرد (PhD)[۱*]

۱- مرکز تحقیقات سلولی و ملکولی، دانشگاه علوم پزشکی بابل

دریافت: ۹۲/۱۱/۱۷، اصلاح: ۹۳/۲/۲۴، پذیرش: ۹۳/۵/۵

خلاصه

پرتوزایی طبیعی سالهاست که مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. معمولاً سطح پرتوگیری انسان از منابع مختلف طبیعی حدود ۲/۵ میلی سیورت در سال است. این میزان در برخی از مناطق دنیا، بسیار بیشتر است. یکی از مهم‌ترین این نقاط، رامسر است که دارای بیشترین سطح پرتوزایی طبیعی در مناطق مسکونی تمام زمین است. پرتوزایی زمینه یک تابش یونیزاسیون (Ionizing Radiation) است که در محیط طبیعت وجود دارد و می‌تواند منابع طبیعی یا مصنوعی داشته‌باشد. منابع طبیعی آن شامل پرتوهای کیهانی، زمینی، پرتوهای داخلی و گاز رادون است و منابع مصنوعی آن می‌تواند نیروگاه‌های هسته‌ای و پرتوهای پراکنده از آزمایشات هسته ای باشد. گزارشات بسیار زیادی درباره اثرات پرتوگیری زمینه طبیعی بر سیستم های بیولوژیک و حتی انسان منتشر شده است که اکثرا بر بی ضرر بودن و حتی به مفید بودن دوزهای خاصی از پرتو اشاره شده است. همچنین در مواردی نیز، افزایش و کاهش و تساوی تغییر آهنگ ریسک برخی از سرطان ها در دوزهای کم نسبت به دوزهای بالا گزارش شده است. با این وجود به نظر میرسد که تحقیقات اپیدمیولوژیکی گسترده ای جهت اثبات اثر پرتوگیری کم و بسیار کم بر بیماری ها و سرطان ها مورد نیاز می باشد و چه بسا هرکدام از موارد بالا جهت بیماری یا سرطان و در مجموع، اثرهای خاصی درست باشد.

واژه های کلیدی: رامسر، تابش های زمینه، تطبیق پرتویی، هورمسیس پرتویی.

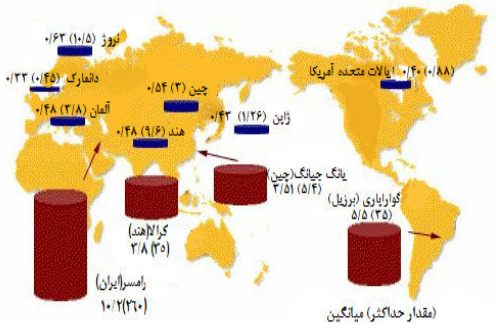
مقدمه

تابش های طبیعی (Natural Background Radiations) در طی سالیان متمادی مورد بررسی قرار گرفته اند (۱). همه انسانها در دوران زندگی خود تحت تابشهای طبیعی مختلف قرار می گیرند و به نظر می رسد که حذف کامل آن به راحتی ممکن نباشد (۲). پرتوگیری های طبیعی از منابع مختلف در فضا و پوسته زمین ناشی می شود (۳) و منشاء آنها می تواند پرتوهای کیهانی (Cosmic Radiation)، پرتوهای ساطع شده از پوسته زمین (Terrestrial Radiation)، پرتوهای داخلی (internal radiation) و گاز رادون (Radon) باشد (۵و۴). طبق مطالعات صورت گرفته در ایالات متحده، گاز رادون عامل بیشترین پرتوگیری انسان است و به تنهایی ۳۷ درصد پرتوگیری ها را شامل می شود. میزان پرتوگیری ساکنین از منابع کیهانی و زمینی و داخلی، بر طبق این گزارش، به ترتیب ۵، ۳ و ۵ درصد است (۶و۴). در این مطالعه مروری با بررسی وضعیت و منشا پرتوزایی طبیعی در نقاط مختلف جهان و مخصوصا در شهر رامسر، جدیدترین گزارشات در زمینه تاثیر دوزهای کم پرتوهای یونیزان و همچنین اثرات پرتوگیری زمینه بر ساکنین رامسر مورد بررسی قرار گرفت تا به وضعیت نگرانی در مورد سلامتی ساکنین با توجه به قوانین فعلی حفاظت در برابر پرتوهای یونساز پرداخته شود و همچنین یافته های محققین در مورد اثرات این پرتوها را دسته بندی کرده و با توجه به بحث های مطرح شده اخیر در مجامع علمی در مورد مفید بودن یا حداقل مضر نبودن دوزهای تا چند برابر دوز زمینه، دلایل مطرح شدن این نظرات و همچنین یافته های مخالف آنها را مرور کنیم.

مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا: مناطقی مانند یانگ جیانگ (Yangjiang) در چین، کرالا (Kerala) در هندوستان، گواراپاری (Guarapari) در برزیل و رامسر در شمال ایران از سطح پرتوزایی طبیعی بالاتر از حد معمول برخوردار می باشند (۸). در حدود نیم قرن است که مشخص گردیده شهر رامسر از جمله مناطق با پرتوزایی زمینه بسیار بالا است. مطابق گزارش سال ۲۰۰۰ کمیته علمی سازمان ملل متحد در مورد تشعشعات اتمی (United Nations Scientific Committee on the Effects, UNSCEAR)، شهر ساحلی رامسر از بیشترین سطح پرتوزایی طبیعی در بین تمامی مناطق مسکونی دنیا برخوردار است (۹-۷). علاوه بر این سطح گاز رادیواکتیو رادون نیز در برخی مناطق مسکونی شهر رامسر بالاتر از سطح اقدام (Action Level) توصیه شده توسط سازمان هایی چون آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده امریکا است (۲). میزان پرتوگیری سالیانه ساکنان برخی از مناطق با پرتوزایی زمینه بالا در سطح جهان با سایر نقاط مقایسه شده است (شکل ۱).

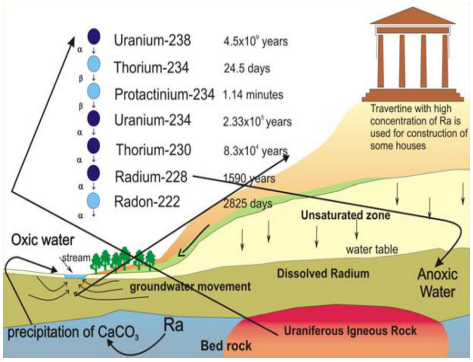
* مسئول مقاله: دکتر علی شبستانی منفرد
آدرس: بابل، دانشگاه علوم پزشکی بابل، گروه بیوشیمی و بیوفیزیک، تلفن: ۰۱۱-۳۲۱۹۹۵۹۱
E-mail:monfared_ali@yahoo.com

[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]
[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]



شکل ۱. سطح پرتوهای زمینه در مقایسه با مناطقی از جهان که به خاطر دارا بودن سطوح بالای پرتوزایی طبیعی شهرت دارند. در شکل سطح پرتوهای زمینه در برخی کشورها نیز مشخص شده است. اعداد ذکر شده نشان دهنده میانگین میزان پرتوگیری سالیانه (به میلی سیورت) می باشند. اعداد داخل پرانتز حداکثر میزان پرتوگیری سالیانه را نشان می دهند (۲)

منشاء پرتوزایی طبیعی بالا در رامسر: بالا بودن میزان پرتوهای طبیعی در برخی مناطق رامسر از زیاد بودن تراکم رادیو نوکلئید رادیوم-۲۲۶ و مواد رادیواکتیو حاصل از واپاشی آن منشا میگیرد (۹). رادیوم پس از ورود به بدن در استخوانها تراکم یافته و بدین ترتیب موجب پرتوگیریهای داخلی بعدی نیز میگردد. وجود سنگهای تراورتن که دارای مقادیر متفاوتی از ماده رادیواکتیو توریم هستند، نیز موجب بالا بودن میزان پرتوگیریهای طبیعی در منطقه رامسر شده است (۲) (شکل ۲) سنگهای آذرین اورانی فروس دارای مقدار زیادی اورانیوم هستند (۱۰). با وجود اینکه اورانیوم در آبهای زیرزمینی فاقد اکسیژن، محلول نیست، اما پس از واپاشیده شدن آن به رادیوم-۲۲۶، رادیوم در آب حل شده و در شکاف های زیر زمین جریان پیدا می کند. در نهایت هنگامی که رادیوم در محل چشمه ها به سطح زمین رسیده و اکسیژن دار می‌شود، کربنات کلسیم ($CaCO_3$) رسوب نموده و رادیوم-۲۲۶ جای اتمهای کلسیم را گرفته و کربنات رادیوم ($RaCO_3$) تولید می‌شود. سطوح بالایی از کربنات رادیوم در رسوبات چشمه های آب گرم منطقه دیده می‌شود (۲). در برخی موارد ساکنین منطقه از این رسوبات به شکل سنگ های تراورتن برای ساختن خانه های مسکونی خود استفاده کرده‌اند (۲).



شکل ۲. منشا سطوح بالای پرتوزایی طبیعی در منطقه رامسر (۲)

تطبیقی پرتوی (Radioadaptive Response)

بررسی ها نشان می دهد که دوز متوسط سالیانه ساکنان مناطق با پرتوزایی طبیعی بالای رامسر در حدود ۱۰ mSv است. اما این میزان برای برخی ساکنین این مناطق تا حدود بالاتری افزایش پیدا میکند (۱۱). از آنجاییکه قوانین حفاظت پرتوی فعلی بر اساس فرضیه خطی و غیر آستانه ای بودن ارتباط بین دوز پرتو و بروز سرطان وضع شده اند (۱۳و۱۲)، برآوردهای ساده علمی نشان می دهد که بخشی از ساکنین مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا در رامسر که میزان پرتوگیری آنها دهها مرتبه بیشتر از افراد عادی است، بایستی دچار سرطان (مازاد بر بروز طبیعی) شده باشند، اما ساکنین از سلامت کامل ظاهری برخوردار بوده و مطالعات مقدماتی که تاکنون انجام شده هیچگونه اثر زیانباری را نشان نداده و ضرورتی برای انجام مداخله توسط سیاستگزاران بخش سلامت و بهداشت پرتوی کشور مشخص نشده است (۱۶-۱۴).

بررسی های سایر مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا در دنیا نیز نشان دهنده عدم اثبات اثر زیانبار بر ساکنین آن مناطق می باشد (۸). البته تطبیق پرتویی در نتیجه دریافت دوزهای پزشکی و شغلی نیز گزارش شده است (۱۸و۱۷) ولی به نظر می رسد اثر پرتوگیری طبیعی حتی از این نوع پرتوگیری ها بیشتر باشد (۱۸). بدین ترتیب اگرچه دوز دریافتی ساکنین این مناطق، حتی دهها یا صدها مرتبه بیشتر از دوز پرتوکارانی نظیر رادیولوژیستها و یا تکنولوژیست های رادیولوژی است[۸]، مطالعات نشان داده اند که پرتوگیری های طبیعی ساکنین مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا موجب بروز اثر تطبیقی پرتوی (Radioadaptive Response) و هورمسیس (Radiation Hormesis) در این افراد شده است (۱۹و۱۸). منظور از اثر تطبیقی پرتوی، افزایش مقاومت موجودات زنده (یا سلولها در محیط کشت) در مقابل یک دوز قابل توجه پرتو متعاقب دریافت یک دوز کم می‌باشد (۲۰-۱۸). در این پدیده پرتوگیری ابتدایی با دوزهای کم، احتمالا از طریق فرآیندهایی نظیر افزایش فعالیت سیستم ایمنی (۲۲-۲۰و۱۱و۹و۸) و یا افزایش کارایی سیستم های ترمیم کننده آسیب های DNA (۲۴و۲۳) موجب افزایش مقاومت موجود زنده در مقابل پرتوگیریهای با دوز زیاد بعدی می شود.

بروز اثر تطبیقی پرتوی بواسطه پرتوگیریهای طبیعی، در مجامع علمی دنیا، یافته ای بسیار پراهمیت تلقی شده است (۲)، بگونه ای که در فاصله زمانی پس از انتشار اولین گزارشها صدها مقاله در این زمینه منتشر شد. برخی محققین حتی فراتر رفته و گزارش کردند که دوزهای کم پرتو نه تنها میزان مرگ و میر ناشی از تمامی علتها و سرطان را کاهش میدهد، بلکه این دوزهای کم میتوانند موجب محافظت در مقابل پرتوگیریهای تصادفی با دوزهای زیاد شوند (۲۵). همچنین در برخی گزارشات از نتایج رامسر بعنوان شاهدی معتبر برای متفاوت بودن آثار زیستی دوزهای کم در مقایسه با دوزهای زیاد یاد می شود (۲۶).

هورمسیس پرتویی (Radiation Hormesis): هورمسیس از ریشه یونانی به معنای اشتیاق و حرکت سریع است و معمولا در پاسخ های بیولوژیکی به دوزهای کم توکسین و محرک های تنش زای دیگر به کار می رود (۲۷). هورمسیس در مورد توکسین و محرکها زمانی به کار میرود که اثر آنها در دوزهای کم و زیاد عکس همدیگر باشد (۲۹و۲۸). این واژه اولین بار توسط یک فارماکولوژیست آلمانی در سال ۱۸۸۸ به کار رفت (۳۰).

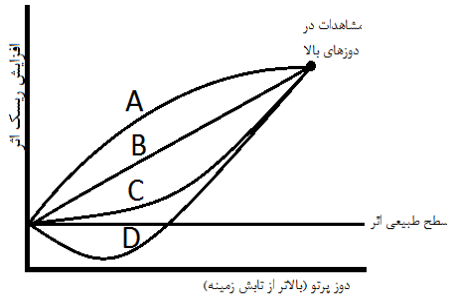
هورمسیس پرتویی (Radiation Hormesis) یا هموستازی پرتویی (Radiation Homeostasis) نظریه ای است که در مورد مفید بودن دوزهای کم پرتو پرتوهای یونیزان کمی بالاتر از مقدار زمینه به کار می رود. طبق این نظریه، فرآیندهای ترمیمی بر علیه بیماری ها که در غیاب پرتوهای یونیزان غیر فعال است، در دوزهای ۳ تا ۱۰ برابر مقدار طبیعی (۳۱) فعال می شود. طبق این نظریه که ابتدا

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]

با شک و تردید همراه بود (۳۲)، مکانیسم های معکوس ترمیم فعال شده نه تنها باعث لغو اثرات مضر پرتو می شود، بلکه باعث جلوگیری از بیماری های غیر مرتبط با پرتو نیز می شود (۳۴و۳۳). مواردی از کاهش مرگ و میر ناشی از سرطان با افزایش پرتوهای زمینه (۳۵) و کوتاه نشدن طول تلومر در نوزادان و بالغین ساکن مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا در کرالای هندوستان (۳۷و۳۶) و بسیاری موارد دیگر (۳۹و۳۸) گزارش شده است که تایید کننده هورمسیس است.

از سوی دیگر گزارشات معتبری نیز از رد این نظریه برای سرطان های خاص دلالت دارد که می توان به بررسی ۲۶ ساله ارتباط لوسمی در کودکی و مقدار پرتوگیری زمینه مادر در دوران بارداری در انگلستان که نتایج آن را نشان دهنده وجود ارتباط خطی بین پرتوگیری و لوسمی در کودکی دانسته اند (۴۰) و مطالعه نسبت سرطان تیروئید مرتبط با پرتوگیری زمینه در بازماندگان بمباران های اتمی ژاپن اشاره کرد (۴۱). البته در بعضی موارد نیز به بررسی های اپیدمیولوژیکی ارتباط بین سرطان و پرتوگیری ایراد گرفته شده است و در درستی برخی از نتایج نیز تردید وجور دارد (۴۲) ولی با توجه به تعداد زیاد مقالات و گزارشات، در وجود تطبیق و هورمسیس شکی وجود ندارد. با این وجود، حالت های مختلف برای رابطه دوز و اثر در دوزهای پایین پیشنهاد شده است (شکل ۳). در حال حاضر قوانین حفاظت در برابر اشعه بر اساس مدل خطی بدون آستانه (B) ارائه می شود ولی در بسیاری از یافته های علمی ۱۵ سال اخیر، مدل هورمسیس (D) اثبات شده است. بجز مدل هورمسیس، سه مدل دیگر از زیانبار بودن پرتو در دوزهای کم و خیلی کم حکایت می کنند. مدل فوق خطی (supra-linearity) نشان دهنده آهنگ ریسک بیشتر دوزهای کم پرتو به نسبت به دوزهای بالا است (۴۳).

مدل خطی دوز–اثر نیز بیان کننده یکسان بودن آهنگ ریسک در دوزهای کم تا بسیار زیاد است (۴۴). از طرف دیگر، در مدل خطی درج دو (Linear Quadratic) در دوزهای پایین، آهنگ ریسک کمتر از دوزهای بالاتر است و به بیان دیگر، دوزهای کم پرتو اگرچه خطرناک است ولی هرچه دوز افزایش یابد، خطر با آهنگ بیشتری افزایش می یابد (۴۵). در مقابل این سه مدل، در مدل هورمسیس، پرتوگیری تا حدود ۱۰ برابر میزان زمینه، نه تنها مضر نیست، بلکه موجب کاهش اثر مضر طبیعی نیز می شود (۴۷و۴۶و۳۷).



شکل ۳. فرضیه های موجود در رابطه دوز اثر در دوزهای پایین پرتو. (A) فوق خطی (supra-linearity)، (B) خطی (linear)، (C) خطی درجه دو (linear quadratic) و (D) هورمسیس(hormesis)

با این وجود به خاطر تعمیم اثرات دوزهای بالای پرتو به دوزهای کم، مانند پرتو زمینه باعث القای ترس در ساکنین و افراد عادی می شود. ولی در مجامع علمی با توجه به تشریح شدن اثراتی مانند هورمسیس و تطبیق پرتویی، این نگرانی تا حدی کمتر است (۴۸).

البته این نگرانی ها برای تست های تصویربرداری تشخیصی مخصوصا در پزشکی هسته ای بیشتر ملموس است (۴۸) درحالی که در تصویربرداری ها نیز اغلب دوزهای پایینی به بیمار میرسد بعنوان مثال، دوز موثر تقریبی از تصویربرداری های پزشکی و پزشکی هسته ای در شمال کشور در حدود ۱/۵ میلی سیورت به ازای هر آزمون گزارش شده است (۵۰و۴۹) و با وجود اینکه، دوز متوسط در منطقه شمال کشور، از تصویربرداری های پزشکی، ۰/۳۳ میلی سیورت در سال گزارش شده است (۴۸)، پرتوگیری آنها فقط از پرتوی گامای زمینه به طور متوسط، ۰/۵۳ میلی سیورت در سال است (۵۱).

علاوه بر این، علیرغم شکستگی های کروموزومی بیشتر حتی در پرتوگیری های کم و مزمن (۵۲) گزارشات حاکی از رابطه خفیف و معکوس بین مقدار پرتوگیری زمینه و ابتلا به سرطان در قسمت هایی از شمال کشور می باشد (۵۳). البته باید توجه داشت که مانند سایر یافته های موجود در بحث پرتوهای زمینه و مزمن، گزارشاتی نیز در رد این گزارش منتشر شده است و تا حدی نیز پیچیدگی هایی در این بحث وجود دارد. از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه در ایران می توان به رابطه مستقیم ابتلا به سرطان تیروئید و ارتفاع محل زندگی در استان چهارمحال و بختیاری اشاره کرد که با افزایش ارتفاع، پرتوگیری کیهانی افزایش می یابد (۵۴). یکی از جذاب ترین تحقیقات برای پژوهشگران در دهه اخیر، بررسی اثر دوزهای کم بر سیستم ایمنی و علت هورمسیس بوده است و گزارشات زیادی در این زمینه منتشر شده است و بر اساس نتایج این گزارشات، پرتوگیری کم و مزمن، تغییراتی در سیستم ایمنی ایجاد می کند و سیستم ایمنی نیز یکی از کاندیدهای اصلی علت هورمسیس پرتویی مطرح شده است. از بین این گزارشات، می توان به افزایش درصد سلول های CD4+ و CD8+ (۸)، کاهش سلولهای CD107a+ (۵۵)، کاهش فعالیت سلول های کشنده طبیعی و سایتوتوکسیک در ساکنین مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا (۹) افزایش تولید اینترلوکین ۴ و ۱۰ و کاهش تولید اینترلوکین ۲ و اینترفرون گاما (۵۶) و تغییرات در هورمون های مربوط به سیستم ایمنی (۵۷) اشاره کرد که بسیاری از این تغییرات در جهت تایید هورمسیس و نقش سیستم ایمنی در آن بوده است. البته عوامل دیگری نیز برای هورمسیس و تطبیق پرتویی مطرح شده است که مهمترین آنها تاثیر فرآیند ترمیم است (۲۳).

نتیجه گیری

گزارشات بسیار زیادی درباره اثرات پرتوگیری زمینه طبیعی و ساخته بشر بر سیستم های بیولوژیک و حتی انسان منتشر شده است که اکثرا بر بی ضرر بودن و حتی به مفید بودن دوزهای خاصی از پرتو اشاره شده است. همچنین در موادی نیز، افزایش و کاهش و تساوی تغییر آهنگ ریسک برخی از سرطان ها در دوزهای کم نسبت به دوزهای بالا گزارش شده است. با این وجود به نظر میرسد که تحقیقات اپیدمیولوژیکی گسترده ای جهت اثبات اثر پرتوگیری کم و بسیار کم بر بیماری ها و سرطان ها مورد نیاز می باشد و چه بسا هرکدام از موارد بالا جهت بیماری یا سرطان و در مجموع، اثرهای خاصی درست باشد.

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]

Natural Background Radiations, Radioadaptive Response and Radiation Hormesis

S. Borzoueisileh (MSc)[1], A. Shabestani Monfared (PhD)[*1]

1.Cellular and Molecular Biology Research Center, Babol University of Medical Sciences, Babol, I.R. Iran

J Babol Univ Med Sci;17(1); Jan 2015; PP: 15-21

Received: Feb 6th 2014, Revised:May 14th 2014, Accepted:Jul 27th 2014.

ABSTRACT

Natural background radiation has been an interesting subject among scientific studies for many years. The effective radiation dose of human from natural sources is about 2.5 mSv/y but it is higher in some regions of the world. Ramsar in Mazandaran, Iran is one of the most important areas and it has the highest natural background radiation among whole residential areas of the world. Background radiation is an ionizing radiation in the environment that its source could be natural or man-made. Its natural sources are cosmic radiations, terrestrial radiation, internal radiation and radon and its man-made sources could be the nuclear power plants and the scatter radiations of atomic bomb tests. There are a lot of studies about the effects of natural background radiation on the biological systems and even humans. Most of these studies confirmed the harmless and even useful effects of the certain doses of natural background radiation. Also there are reports on the decrease, increase or even equality in risk of some cancers between low and high doses of radiation. Nevertheless extensive epidemiological studies are needed to confirm the effect of low dose radiation on carcinogenesis and other factors and even decrease or increase of the risk in different types of cancers is possible too.

KEY WORDS: *Ramsar, Natural background radiations, Radioadaptive response, Radiation hormesis.*

Please cite this article as follows:

Borzoueisileh S, ShabestaniMonfared A. Natural background radiations, radioadaptive response and radiation hormesis. J Babol Univ Med Sci. 2015;17(1):15-21.

[*]**Corresponding Author;A. ShabestaniMonfared (PhD)**
Address: Department of Biophysics & Biochemistry, Babol University of Medical Sciences, Babol, I.R. Iran
Tel: +98 11 32199591
E-mail:monfared_ali@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]

References

1.Borzoueisileh S, Shabestani Monfared A, Abediankenari S. High natural background radiation effects on peripheral blood cells of inhabitants of Ramsar-Iran.J Rafsanjan Univ Med Sci 2013; In Press. [in Persian]

2.Mortazavi SMJ, Borzoueisileh S. The physical basis of ionizing radiation and its application in medical diagnosis. 1st ed. Shiraz: Publication of Shiraz University of Medical Sciences 2011; pp: 30-48. [in Persian]

3.UNSCEAR.Sources and effects of ionizing radiation, Annex B: Exposures from natural radiation sources. UNSCEAR 2000 Report 2000.

4.Baker JE, Moulder JE, Hopewell JW. Radiation as a risk factor for cardiovascular disease. Antioxid Redox Signal 2011;15(7):1945-56.

5.Ott S, Geiser T. Epidemiology of lung tumors. Ther Umsch 2012;69(7):381-8.

6.Hendry JH, Simon SL, Wojcik An, et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? J Radiol Prot 2009;29(2A):A29-42.

7.Borzoueisileh S, Shabestani Monfared A, Comby B, et al. The highest background radiation school in the world and the health status of its students and their offspring. Isotopes Environ Health Stud 2014;50(1):114-9. doi: 10.1080/10256016.2013.821986.

8.Borzoueisileh S,Shabestani Monfared A, Abediankenari S, et al. The comparison of CD4/CD8 ratio among high and ordinary background radiation areas in Ramsar, Iran. Int J Low Radiat 2011;8(4):329-37.

9.Borzoueisileh, S, Shabestani Monfared A, Abediankenari S, Mostafazadeh A. Theassessment of cytotoxic T cell and natural killer cells activity in residents of high and ordinary background radiation areas of Ramsar-Iran. J Med Phys 2013;38(1):30-3.

10.Sanders CL.Potential treatment of inflammatory and proliferative diseases by ultra-low doses of ionizing radiations. Dose Response 2012;10(4):610-25.

11.Borzoueisileh, S, Shabestani Monfared A, Abediankenari S, Mostafazadeh A, Khosravifarsani M. The effects of residence duration in high background radiation areas on immune surveillance. JNat Sci Biol Med 2013;4(1):218-22.

12.The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP 2007;37(2-4):1-332.

13.Mobbs SF, Muirhead CR, Harrison JD. Risks from ionising radiation: an HPA viewpoint paper for Safegrounds. J Radiol Prot 2011;31(3):289-307.

14.Shabestani Monfared A, Jalali F, Mozdarani H, Hajiahmadi M. The inhabitants health status in high and low natural background radiation areas in Ramsar, Iran. J Gorgan Univ Med Sci 2004;6(1):23-8. [in Persian]

15.MortazaviSMJ, Ghiassi-NejadM, Karam PA, Ikushima T, Niroomand-Rad A, Cameron JR. Cancer incidence in areas with elevated levels of natural radiation. Int JLow Radiat 2006;2(1/2):20-7.

16.Shabestani Monfared A, Jalali F, Sedaghat S, et al. Natural background radiation areas in Ramsar- Iran. Can inhabitants feel safe? Int J Low Radiat 2006;3(2/3):171-7.

17.Shabestani Monfared A, Amiri M, Mozdarani H, Moazzezi Z. Can previous thyroid scan induce cytogenetic radioadaptive response in patients treated by radioiodine for hyperthyroidism? Iran J RadiatRes 2004;2(2):69-74.

18.Shabestani Monfared A, Mozdarani H, Amiri M. Natural background radiation induces cytogenetic radioadaptive response more effectively than occupational exposure in human peripheral blood lymphocytes. Czechoslovak J Phys 2003;53(1):791-5.

19.Mortazavi SMJ, Shabestani Monfared A, Ghiassi-Nejad M, Mozdarani H. Radioadaptive responses induced in human lymphocytes of the inhabitants of high level natural radiation areas in Ramsar, Iran. Asian J Exp Sci 2005. 19(1):19-39.

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]

20.Tapio S, Jacob V. Radioadaptive response revisited. Radiat Environ Biophys 2007;46(1):1-12.
21.Mortazavi SMJ, Rahmani MR, Rahnama A, et al. The stimulatory effects of topical application of radioactive lantern mantle powder on wound healing. Dose Response 2009;7(2):149-59.
22.Mortazavi MJ, Asiabanha Rezaiee M, Rahmani MR, Rezieean M, Pooladvand V. The alterations of serum cortisol level and blood count in male rats after a short term exposure to burned radioactive lantern mantle powder. Zahedan J Res Med Sci 2010;11(4):63-70. [In Persian]
23.Wang B. Involvement of p53-dependent apoptosis in radiation teratogenesis and in the radioadaptive response in the late organogenesis of mice. J Radiat Res 2001;42(1):1-10.
24.Takahashi A, Ohnishi T. Molecular mechanisms involved in adaptive responses to radiation, UV light, and heat. J Radiat Res 2009;50(5):385-93.
25.Pollycove M, Feinendegen LE. Biologic responsesto low doses of ionizing radiation: Detriment versus hormesis. Part 2. Dose responses of organisms. J Nucl Med 2001;42(9):26N-32N, 37N.
26.Cohen BL.Cancer risk from low-level radiation. AJR Am J Roentgenol 2002;179(5):1137-43.
27.Martins I, Galluzzi L, Kroemer G. Hormesis, cell death and aging. Aging (Albany NY) 2011;3(9):821-8.
28.Calabrese EJ. Hormesis: a revolution in toxicology, risk assessment and medicine. EMBO Rep 2004;5(Suppl 1):S37-40.
29.Cook R, Calabrese EJ. The importance of hormesis to public health. Cien Saude Colet 2007;12(4):955-63.
30.Hoffmann KF. The pharmacologist Hugo Schulz; 1853-1932. Med Monatsschr 1957;11(9):607-9.
31.Yalow RS. Concerns with low-level ionizingradiation. Mayo Clin Proc 1994;69(5):436-40.
32.Balaram P, Mani KS. Low dose radiation--a curse or a boon? Natl Med J India 1994;7(4):169-72.
33.Feinendegen LE. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. Br J Radiol 2005;78(925):3-7.
34.Wolff S. The adaptive response in radiobiology: evolving insights and implications. Environ Health Perspect 1998;106 (Suppl 1):277-83.
35.Hart J, Hyun S. Cancer mortality, state mean elevations, and other selected predictors. Dose Response 2012;10(1): 58-65.
36.Das B, Saini D, Seshadri M. No evidence of telomere length attrition in newborns from high level natural background radiation areas in Kerala coast, south west India. Int J Radiat Biol 2012;88(9):642-7.
37.Das B, Saini D, Seshadri M. Telomere length in human adults and high level natural background radiation. PLoS One 2009;4(12):e8440.
38.Koya PK, Chougaonkar MP, Predeep P, et al. Effect of low and chronic radiation exposure: acase-control study of mental retardation and cleft lip/palate in the monazite-bearing coastal areas of southern Kerala. Radiat Res 2012;177(1):109-16.
39.Vaĭserman A, Mekhova LV, Koshel' NM, Voĭtenko VP. Cancer incidence and mortality after low-dose radiation exposure: epidemiological aspects. Radiats Biol Radioecol 2010;50(6):691-702.
40.Kendall GM, Little MP, Wakeford R, et al. A record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980-2006.Leukemia 2013;27(1):3-9.
41.Little MP. The proportion of thyroid cancers in the Japanese atomic bomb survivors associated with natural background radiation. J Radiol Prot 2002;22(3):279-91.
42.Little MP, Wakeford R, Lubin JH, Kendall GM. The statistical power of epidemiological studies analyzing the relationship between exposure to ionizing radiation and cancer, with special reference to childhood leukemia and natural background radiation. Radiat Res 2010;174(3):387-402.

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]

43.Piepho HP. Statisticalsignificance of supra-linearity of dose-response in the A-bomb study. Health Phys 1992; 63(2):236.

44.Doss M. Shifting the paradigm in radiation safety. Dose Response 2012;10(4):562-83.

45.Jones L, Hoban P, Metcalfe P. The use of the linear quadratic model in radiotherapy:a review. Australas Phys Eng Sci Med 2001;24(3):132-46.

46.Jolly, D. and J. Meyer, A brief review of radiation hormesis. Australas Phys Eng Sci Med 2009;32(4):180-7.

47.Szumiel I. Radiation hormesis: Autophagy and other cellular mechanisms. Int J Radiat Biol 2012;88(9):619-28.

48.Shabestani Monfared A, Amiri M, Kameron J. How public fear from radiation can be reduced? IranJ Nucl Med 2003;19:1-7.

49.Shabestani Monfared A, Abdi R. The estimation of radiation effective dose from diagnostic medical procedures in general population of northern Iran. Iran J Radiol 2006;3(3):185-8.

50.Shabestani Monfared A, Amiri M, Mahboob F, Farahi Ashtiani S. The estimation of effective dose to population from nuclear medicine procedures in north of Iran. Int J Low Radiation 2006;3(3):166-70.

51.Amiri M, Abdi R, ShabestaniMonfared A. Estimation of external natural background gamma rays doses to the population of Caspian Coastal Provinces in North of Iran. Iran J Radiat Res 2011;9(3):183-6.

52.ShabestaniMonfared A, Mozdarani H, Samavat H, Hashemoghli A. Chromosomal aberrations in radiation workers of radiology departments in Northern Iran-Babol. Int J Low Radiation 2006;3(1):83-7.

53.Shabestani Monfared A, Hajian K, Hosseini R, Nasir A. Association between local external gamma rays and frequency of cancer in Babol-Iran. Dose Response 2010;8(3):368-77.

54.Shahbazi-Gahrouei D. Possible effect of background radiation on cancer incidence in Chaharmahal And Bakhtiari province. Iran J RadiatRes 2003;1(3):171-5.

55.Borzoueisileh, S, Shabestani Monfared A, Mostafazadeh A,Abediankenari S, Khosravifarsani M, Elahimanesh F. The measurements of CD107a+ cells in residents of high and ordinary natural back-ground radiation areas of Ramsar-Iran. Cell J(Yakhteh) 2011;13(Suppl 2):17.

56.Attar M, Molaie Kondolousy Y, Khansari N. Effect of high dose natural ionizing radiation on the immune system of the exposed residents of Ramsar Town, Iran. Iran J Allergy Asthma Immunol 2007;6(2):73-8.

57.Zakeri F, Kariminia A. Hormone levels associated with immune responses among inhabitants in HLNRAs of Ramsar-Iran. Int Cong Series 2005;1276:199-200.

[DOR: 20.1001.1.15614107.1393.17.1.2.5]
[DOI: 10.22088/jbums.17.1.15]