



## پرتوگیری گامای خدمه‌ی پرواز خط هوایی تهران- بندرعباس

رضا قلی‌پور پیوندی\*

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران

**چکیده:** تحقیقات متعددی بر روی پرتوگیری طبیعی از تابش‌های کیهانی و اثرات آن بر روی سلامتی انجام شده است. در این مقاله، اثرات تابش گامای ناشی از پرتو کیهانی بر روی کارکنان پرواز و مسافران خط هوایی تهران- بندرعباس مورد مطالعه قرار گرفته است. این مقاله، تغییرات شار پرتو کیهانی در اتمسفر را بحث کرده و پرتوگیری از تابش گاما در ارتفاعات پرواز را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در این بررسی، میزان پرتوگیری از تابش گاما در گستره‌ی انرژی ۵۰keV تا ۱.۵MeV در مسیر هوایی تهران- بندرعباس اندازه‌یابی شده است. نتایج، حاکی از تغییرات بیشینه‌ی آهنگ دز حداکثر ۱۵ تا ۲۰ برابر در ارتفاع حدود ۳۰۰۰ft (۹ کیلومتری) از سطح زمین می‌باشد. هم‌چنین آهنگ دز برای این مسیر هوایی در حدود ۱.۸۷μSv/h است که برای ۵۰۰ ساعت پرواز در سال برابر ۹۳۵μSv خواهد شد. این مقدار از دز مجاز (۱mSv/y) برای عموم مردم کم‌تر است.

**کلید واژه‌ها:** پرتو کیهانی، پرتوهای گاما، پرتوگیری، آهنگ دز، اثرات تابش

## Gamma Radiation Exposure of Aircrew in Tehran-Bandarabbas Flights

R. Gholipour Peyvandi\*

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran

**Abstract:** Different researches have been performed on natural exposure of cosmic rays and their effects on the human health. Monitoring of cosmic derived gamma ray exposure of aircrews and passengers is the subject of the current study. In this paper, the controllable variations of the cosmic ray flux in the atmosphere and the cosmic radiation exposure at flight altitudes will be discussed. For this study, the exposure rates to gamma ray, in an energy range of 50keV-1.5MeV, for the Tehran-Bandarabbas air flights have been measured. The results show that the maximum dose rate at 3000ft (about 9km) is 15-20 times higher than on the ground base. Also, the dose rate for this pathway is about 1.87μSv/h which for 500 hours flights per year it is estimatal to be 935μSv. This number is less than human permissible dose rate of 1mSv/year.

**Keywords:** Cosmic Rays, Gamma Radiation, Exposure, Dose Rate, Radiation Effects



## ۱. مقدمه

تابش‌های کیهانی پیوسته بر زمین و ساکنان آن فرود می‌آیند. پرتو کیهانی که متشکل از ذرات باردار زیراتمی است، به وسیله‌ی کلهکشان‌ها و خورشید ایجاد می‌شود. این ذرات باردار شامل پروتون‌ها (۸۵٪) و یون‌های هلیوم (تقریباً ۱۲٪) و هم‌چنین شامل هسته‌های عناصر و تعدادی از الکترون‌ها هستند که دامنه‌ی انرژی آن‌ها به  $10^{20}$  eV می‌رسد. برهم‌کنش کلهکشان‌ها با اتمسفر، سبب تولید تابش‌های ثانوی می‌گردد که همراه با ذرات فرودی اولیه میزان پرتوگیری در سراسر اتمسفر را افزایش می‌دهد. عواملی که در افزایش پرتوگیری نقش بسزایی دارند شامل ارتفاع، طول جغرافیایی و فعالیت‌های خورشیدی است.

### ۱.۱ ارتفاع

لایه‌ی اتمسفر زمین اثر حفاظتی معادل ۱۳ft بتون را دارد. در حالی که در سطح دریا میزان پرتوگیری حدود  $0.06 \mu\text{Sv/h}$  است، در ارتفاع ۳۵۰۰۰ft از سطح دریا (ارتفاع پرواز هواپیمای تجاری ایرباس و بوئینگ) دز دریافتی ۱۰۰ برابر یا بیش‌تر یعنی  $6 \mu\text{Sv/h}$  و در ارتفاع ۶۰۰۰۰ft از سطح دریا (ارتفاع پرواز هواپیمای مافوق صوت کنکورد) پرتوگیری حتی بیش از این است که بیان‌گر این واقعیت است که شدت ذرات و پرتوگیری با افزایش ارتفاع از سطح دریا افزایش می‌یابد.

### ۲.۱ عرض جغرافیایی

میدان گرانشی زمین حفاظ دیگری است و ذرات باردار برخوردکننده به حوالی خط استوا تمایل به انحراف در طول خطوط میدان مغناطیسی نسبت به قطب‌ها را دارند. در نتیجه برای هر ارتفاع مشخص، پرتوگیری هنگام دور شدن از خط استوا افزایش یافته و به طور کلی در قطب‌ها به دو برابر خط استوا می‌رسد.

### ۳.۱ فعالیت خورشیدی

شدت ذرات و میزان پرتوگیری از آن‌ها به فعالیت‌های خورشیدی وابسته است که به طور دوره‌ی هر ۱۱ سال تغییر می‌کند. در طول انفجار خورشیدی، پرتو کیهانی رها شده به سوی زمین می‌تواند به پرتوگیری  $10 \mu\text{Sv/h}$  بیانجامد. به همین دلیل

هواپیماهای کنکورده به سیستم هشداردهنده مجهز شده‌اند تا خلبان در ارتفاع ایمن قرار گیرد.

عوامل بالا سبب شده که حدود ۸ درصد از پرتوگیری طبیعی ناشی از پرتو کیهانی باشد که سهم آن در پرتوگیری کارکنان پرواز ۹۵٪ است [۱ تا ۵].

همان‌طور که ذکر شد با نزدیک شدن به سطح زمین از شدت ذرات کاسته شده و میزان پرتوگیری از آن‌ها کاهش می‌یابد. علت این امر وجود جو زمین است که به مانند یک حفاظ سبب کاهش میزان پرتوگیری می‌گردد. با پیشرفت گسترده در فن‌آوری هوایی، هواپیماها می‌توانند ساعات بیش‌تری و در ارتفاعات بالاتری پرواز کنند.

در ارتفاع ۱۵ کیلومتری از سطح زمین شدت ذرات و میزان پرتوگیری بیشینه است. هواپیماهای تجاری اغلب در ارتفاع پایین‌تر یعنی در ۹ تا ۱۲ کیلومتری پرواز می‌کنند. موهر آهنگ دز در هواپیماهای تجاری مسیر هوایی اتاوا به میامی را برابر  $2.59 \mu\text{Sv/h}$  و در مسیر هوایی هالیفاکس به تورنتو را برابر  $3.91 \mu\text{Sv/h}$  ثبت کرد [۶].

هواپیماهای جت می‌توانند در ارتفاعات بسیار بالاتر پرواز کنند. شاو و همکارانش آهنگ دز معادل ناشی از پرتو کیهانی در هواپیمای جت کنکورده را که در ارتفاع ۲۰ کیلومتری پرواز می‌کرد برابر  $20 \mu\text{Sv/h}$  ثبت کردند و برای کاهش دز، پرواز در ارتفاعات پایین‌تر و کاهش مدت زمان پرواز را توصیه نمودند [۷].

هدف اصلی این مقاله اندازه‌گیری و ارزیابی میزان پرتوگیری از پرتو کیهانی (پرتوهای گاما) در محدوده‌ی انرژی  $50 \text{keV}$  تا  $1.5 \text{MeV}$  در پروازهای داخلی خطوط هوایی ایران است. برای تعیین آهنگ دز، میزان پرتوگیری به وسیله‌ی دزیومتر فردی در ارتفاعات متفاوت در هر پرواز و در مسیر هوایی تهران- بندرعباس و بالعکس ثبت شده است.

## ۲. روش اندازه‌گیری

با توجه به این که هدف این مقاله ارزیابی میزان پرتوگیری مسافری و خدمه‌ی پرواز است، لذا موارد ذیل در کلیه‌ی پایش‌ها لحاظ گردیده است. در این اندازه‌گیری‌ها که توسط دو دزیومتر فردی گاما با مشخصات مندرج در جدول ۱ صورت گرفته‌اند،



جدول ۱. مشخصات فنی دزیمترهای استفاده شده

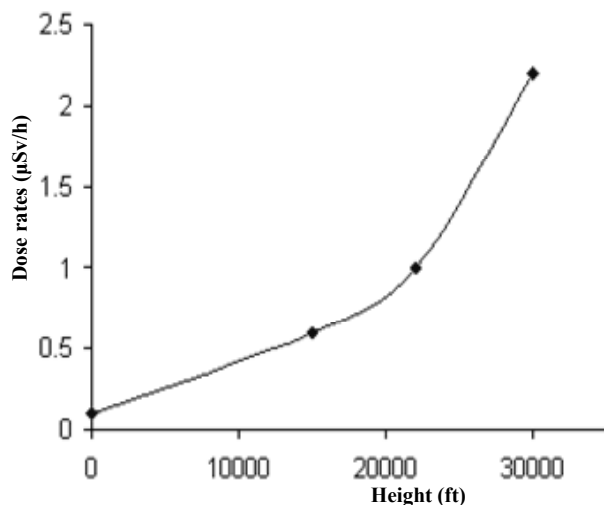
PM-1203	FJ-2000	آشکارساز
GM tube	GM tube	نوع آشکارساز
LCD 4	LCD 4	نمایشگر
دز تجمعی: ۹۹۹۹mSv-۰٫۰۱μSv	دز تجمعی: ۹۹۹۹mSv تا ۰٫۰۱μSv	گستره‌ی اندازه‌گیری
آهنگ دز معادل: ۰٫۱mSv/h تا ۵۰۰μSv/h	آهنگ دز معادل: ۹۹۹۹mSv/h تا ۰٫۱μSv/h	
۱ تا ۳۶ ثانیه	۳٫۶ ثانیه تا ۳۶ ثانیه	زمان پاسخ‌دهی
۱٫۵۴MeV تا ۶۰keV	۱٫۳ MeV تا ۵۰keV	انرژی پاسخ‌دهی

جدول ۲. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های تجربی

حداکثر آهنگ دز (μSv/h)		دز تجمعی (μSv)		حداکثر ارتفاع** (ft)	مدت پرواز	ساعت پرواز	مسیر*
FJ-2000	PM-1203	FJ-2000	PM-1203				
۲	-	۲٫۱	-	۳۰۰۰	۱:۴۵'	۲۰:۳۲'	T-B
۱٫۹	-	۱٫۸	-	۳۰۰۰	۱:۴۵'	۲۲:۲۰'	B-T
۱٫۷	-	۱٫۳	-	۳۳۰۰	۱:۴۰'	۲۰:۲۲'	T-B
۲٫۲	-	۱٫۶	-	۳۲۰۰	۱:۴۰'	۲۱:۴۰'	B-T
۲٫۲	-	۱٫۵	۲	۲۶۰۰	۱:۴۳'	۱۸:۲۰'	T-B
۱٫۷	-	۱٫۸	-	۳۰۰۰	۱:۵۰'	۱۶:۳۵'	T-B
۱٫۸	-	۱٫۸	-	۲۹۰۰	۱:۵۰'	۲۱:۴۰'	B-T
۱٫۷	-	۱٫۷	۱٫۴	۳۰۰۰	۱:۴۰'	۲۰:۲۰'	T-B
۱٫۶	-	۱٫۲	۱٫۴	۳۰۰۰	۱:۵۰'	۱۹:۱۰'	B-T
۱٫۷	-	۱٫۵	۱٫۴	۲۷۰۰	۱:۵۰'	۱۳	T-B
۲٫۱	-	۲	۱٫۷	۳۱۰۰	۱:۴۵'	۲۳:۰۵'	B-T
					۱۹:۱۷'		مجموع
۱٫۸۷	-	۱٫۶	۱٫۴	۳۰۰۰	۱:۳۵'		میانگین

۱km~۳۲۸۰ ft\*\*

B-T\* (بندرعباس - تهران)، T-B (تهران - بندرعباس)



شکل ۱. آهنگ دز اندازه‌گیری شده بر حسب ارتفاع.

برای مطابقت با حالت قرارگیری، دزیمترها همواره در میز مقابل مسافری قرار گرفته‌اند. هم‌چنین در تمام موارد شرایط محیطی داخل هواپیما در گستره‌ی شرایط کاری دزیمترها بوده است. به منظور لحاظ کردن و هم‌چنین مقایسه با مقدار آهنگ دز در سطح زمین در تمام موارد آهنگ دز در سطح زمین، قبل از ورود به هواپیما اندازه‌گیری و به عنوان تابش زمینه ثبت گردیده است که برای هر دو دستگاه بین ۰٫۱ تا ۰٫۲μSv/h بوده است. پروازها در مسیر تهران-بندرعباس و بالعکس صورت گرفته‌اند. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، تهران در ۳۴'-۳۵' تا ۵۰'-۳۵' عرض شمالی و ۰۸'-۵۱' تا ۳۷'-۵۱' طول شرقی و بندرعباس در ۲۴'-۲۵' تا ۵۷'-۲۸' عرض شمالی و ۴۱'-۵۳' تا ۱۵'-۵۹' طول شرقی قرار گرفته است. هم‌چنین قابل ذکر است که پروازها در دمای ۱۵- تا +۵۰، رطوبت نسبی کم‌تر از ۸۰٪ (در دمای ۳۵ درجه‌ی سلسیوس) و فشار ۸۴ تا ۱۰۶kPa انجام شده‌اند.

### ۳. نتایج

اندازه‌یابی میزان پرتوگیری از پرتو کیهانی (تابش گاما) توسط دزیمترها در ارتفاعات متفاوت به انجام رسیده است. نتایج حاصل و سایر شرایط پرواز در جدول ۲ داده شده است. از مشاهدات مشخص گردید که تغییرات آهنگ دز در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ft برابر ۰٫۳ تا ۰٫۴μSv/h و در ارتفاع ۱۴۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ft برابر ۰٫۶ تا ۰٫۷μSv/h می‌باشد. مقدار این کمیت در ارتفاع ۱۹۰۰۰ تا ۲۱۰۰۰ft حدود ۵۰٪ یعنی تا ۱٫۲ الی ۱٫۴μSv/h افزایش می‌یابد و در ارتفاع ۲۹۰۰۰ تا ۳۳۰۰۰ft به ۲ تا ۲٫۲μSv/h می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود از لحظه پرواز تا قبل از عبور از ابرها آهنگ دز در هواپیما از حد زمینه تا ۰٫۶μSv/h افزایش یافته و به محض عبور از ابرها به صورت نمایی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بنابراین ابرها در ارتفاع تقریباً ۱۰۰۰۰ft حفاظ بسیار مناسبی برای کاهش میزان آهنگ دز می‌باشند. در مسیر هوایی تهران-بندرعباس میانگین آهنگ دز ناشی از تابش گاما در ارتفاعات متفاوت حدود ۱٫۸۷μSv/h و میانگین دز تجمعی ۱٫۶۶μSv/h می‌باشد که برای ۵۰۰ ساعت پرواز در طول سال میزان پرتوگیری بر حدود ۹۳۵μSv/h بالغ می‌گردد.

**References:**

1. G. Reitz, "Radiation environment in the stratosphere," *Radiat. Protect. Dos.* 48(1), 5-20 (1993).
2. O. Brien, K. Friedberg, W. Duke, F.E. Snyder, L. Darden Jr, E.B. Sauer, H.H., "The exposure of aircraft crews to radiations of extraterrestrial origin," *Radiat. Protec. Dos.* 45(1-4), 145-162 (1992).
3. P. Lantos, "The sun and its effects on the terrestrial environment," *Radiat. Protec. Dos.* 48(1), 27-32 (1993).
4. M.K. Lim, "Cosmic rays: are air crew at risk?," *Occup. Environ. Med.* 59, 428-433 (2002).
5. F. Spurny, T.S. Dachev, "Long-term monitoring of the onboard aircraft exposure level with a Si-diode based spectrometer," *Adv. Space. Res.* 32(1), 53-58 (2003).
6. S. Mohler, "Galactic radiation exposure during commercial flights: Is there a risk?," *Canadian. Med. Associat. J.* 168, 1157-1158 (2003).
7. K.B. Shaw, "Radiation exposure and high-altitude flight," *J. Radiol. Prot.* 16(2), 987-991 (1996).

**۴. نتیجه گیری**

کارکنان پرواز پرتوکار تلقی می‌شوند و دز مجاز سالانه‌ی آن‌ها بنابر گزارش ICRP برابر  $20\text{ mSv/year}$  می‌باشد. این کمیت برای عموم مردم برابر  $1\text{ mSv/year}$  است. براساس نتایج حاصل، آهنگ دز متوسط ناشی از پرتوگاما در گستره‌ی  $50\text{ keV}$  تا  $1.5\text{ MeV}$  برای هر سفر در مسیر هوایی تهران- بندرعباس و بالعکس برابر  $1.87\text{ }\mu\text{Sv/h}$  و برای  $500$  ساعت پرواز در سال بر  $935\text{ }\mu\text{Sv/h}$  بالغ می‌شود که از مقدار  $1\text{ mSv/year}$  تجاوز نمی‌کند [۴]. با این وجود با توجه به پرتوگیری از نوترون‌ها و افزایش دز جذبی، برای کاهش دز جذبی، پرواز در ارتفاع پایین‌تر توصیه می‌شود. این نکته قابل توجه است که حفاظ‌گذاری در صنعت هوایی تقریباً ناممکن است (زیرا مقدار جرم در محاسبات آیرودینامیکی بسیار حایز اهمیت است). کاهش مدت زمان سفرهای هوایی نیز می‌تواند در کاهش دز جذبی مؤثر باشد.