



## اندازه‌گیری دز پرتوهای کیهانی در ارتفاع‌های مختلف جو ایران

رضا فقیهی<sup>۱\*</sup>، سیمین مهدی‌زاده<sup>۱</sup>، منصور جعفری‌زاده<sup>۲</sup>، صدیقه سینا<sup>۳</sup>، مهدی زهتابان<sup>۴</sup>، مهران طاهری<sup>۲</sup>

۱. مرکز تحقیقات تابش، دانشگاه شیراز، کدپستی: ۷۱۹۳۶۱۶۵۴۸، شیراز-ایران

۲. بخش مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شیراز، کدپستی: ۷۱۹۳۶۱۶۵۴۸، شیراز-ایران

۳. نظام ایمنی هسته‌ای کشور، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران-ایران

۴. پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج-ایران

**چکیده:** میزان پرتوهای کیهانی بسته به عوامل مختلف از جمله ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی محل اندازه‌گیری تغییر می‌کند. در این پژوهش، میزان پرتوگیری کارکنان پرواز در چند پرواز داخلی ایران در دو مرحله اندازه‌گیری شده است. در مرحله اول از دزیمتر گاما برای ثبت آهنگ دز گاما و دزیمتر نوترون برای ثبت آهنگ دز نوترون در ۶ پرواز رفت و برگشت در مسیرهای رشت-عسلویه، شیراز-عسلویه و شیراز-مشهد استفاده شد. دز گاما و نوترون در مسیر عسلویه-شیراز با کم‌ترین ارتفاع دالان پرواز (۱۹۰۰۰ پا)، به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۰۴ میکروسیورت اندازه‌گیری شد در حالی که این مقادیر در مسیر رشت-عسلویه با ارتفاع دالان پرواز ۳۵۰۰۰ پا به ترتیب برابر با ۲/۵۲ و ۱/۰۹ میکروسیورت تعیین گردید. در مرحله دوم، تعدادی از کارکنان پرواز به مدت یک سال به دزیمترهای ترمولومینسانس و دزیمترهای پلی‌کربنات برای اندازه‌گیری دز سالانه‌ی به ترتیب، گاما و نوترون مجهز گردیدند. از این طریق، گستره‌ی دز سالانه‌ی گامای کارکنان پرواز بین ۰/۵ تا ۱/۱۶ با میانگین ۰/۸ میلی‌سیورت در سال و گستره‌ی دز سالانه‌ی نوترون این افراد بین ۰/۳۷ تا ۰/۷۷ با میانگین ۰/۶۱ میلی‌سیورت در سال اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین انجام شده در دیگر کشورها قابل مقایسه می‌باشد، به عنوان مثال، دز سالانه‌ی کارکنان پرواز در کشور انگلستان در حدود ۲ میلی‌سیورت گزارش شده است و در کشور کانادا بسته به شرایط پرواز (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی مبدأ و مقصد پرواز و ...) پرتوگیری سالانه بین ۱ تا ۵ میلی‌سیورت تخمین زده شده است.

**کلید واژه‌ها:** پرتوهای کیهانی، دزیمتر گاما، دزیمتر نوترون، دزیمتر ترمولومینسانس، دزیمتر پلی‌کربنات، کارکنان پرواز

## Measurements of the Cosmic Rays Dose at Different Altitudes of Iran

R. Faghihi<sup>1,2\*</sup>, S. Mehdizadeh<sup>1</sup>, M. Jafarizadeh<sup>3,4</sup>, S. Sina<sup>2</sup>, M. Zehtabian<sup>2</sup>, M. Taheri<sup>3</sup>

1. Radiation Research Center, Shiraz University, P.O.Box: 7193616548, Shiraz – Iran

2. Nuclear Engineering Department, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, P.O.Box: 7193616548, Shiraz – Iran

3. Iran Nuclear Regulatory Authority, AEOL, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran

4. Agriculture Medicine and Industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 31485-498, Karaj – Iran

**Abstract:** The amount of cosmic rays varies widely with the altitude, latitude and longitude in each region. In this study, the radiation doses due to the cosmic rays were estimated in two steps: in the first step, the neutron and gamma components of the radiation dose were measured for a roundtrip flight on 3 flight routes (Shiraz-Asaluyeh, Asaluyeh-Rasht and Shiraz-Mashhad) using a gamma-tracer photon detector and a Thyac 190N, neutron detector. The minimum values of the measured gamma and neutron doses of 0.15 and 0.04 $\mu$ Sv were measured on the Asaluyeh-Shiraz route at the lowest altitude of 19000 ft, while for Rasht-Asaluyeh route at an altitude of 35000ft those values were found to be 2.52 and 1.09mSv, respectively. In the second step, a number of aircrew members were equipped with thermoluminescence dosimeters (TLD cards) for evaluating the gamma dose and polycarbonate dosimeters (SSNTD) for assessing the neutron dose for one year. The measured value of the annual effective dose received by the crew ranged between 0.5mSv/y and 1.16mSv/y, with an average of 0.9mSv/y for the gamma component and between 0.37mSv/y and 0.77mSv/y with an average of 0.61mSv/y for the neutron component. The results of this investigation are comparable with the investigations that have been conducted in other countries. For instance in UK, the reported annual effective dose of aircrew is about 2mSv, and in Canada, it is estimated to be between 1 to 5mSv, depending on the flight situations (such as the latitude and longitude of the cities, the flight altitude, etc).

**Keywords:** Cosmic Rays, Gamma Detector, Neutron Detector, Thermoluminescence Dosimeters, Polycarbonate Dosimeters, Aircrew

\*email: Faghihi@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۱۰/۱۷





## ۱. مقدمه

پرتوهای کیهانی، عموماً از فعالیت‌های خورشیدی، انفجارات ابر نواخترها، شتاب گرفتن پالسارها (ستاره‌ی نوترونی که با سرعت زیاد می‌چرخد و امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کند) به وجود می‌آیند. این پرتوها به دو مؤلفه‌ی خورشیدی و کهکشانی تقسیم می‌شوند. فعالیت‌های خورشیدی عمدتاً پروتون‌های پراثری تولید می‌کند.

پرتوهای کیهانی کهکشانی اولیه، پروتون، ذرات آلفا و ذرات سنگین (از کربن تا آهن) را شامل می‌شوند [۱ و ۲]. پرتوهای کیهانی اولیه پس از ورود به جو زمین با مولکول‌های اتمسفر وارد برهم‌کنش‌های هسته‌ای می‌شوند. در نتیجه‌ی این برهم‌کنش‌ها ذرات و پرتوهای ثانویه (از جمله نوترون و گاما) تولید می‌شود. مقدار این پرتوهای ثانویه در ارتفاع‌های مختلف متفاوت است و با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد. خلبانان و سایر کارکنان پرواز به واسطه‌ی شغل‌شان بیش‌تر از افراد عادی و مسافران در معرض این پرتوها قرار دارند. کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی (ICRP) در نشریه‌ی شماره‌ی ۶۰ و ۱۰۳ خود توصیه نموده است که پرتوگیری کارکنان پرواز از پرتوهای کیهانی، هر جا که لازم باشد، از طریق کنترل زمان و مسیر پرواز آن‌ها کنترل شود [۳ و ۴].

تاکنون پژوهش‌های زیادی برای اندازه‌گیری پرتوگیری خلبانان و کارکنان پرواز با استفاده از آشکارسازهای پرتوی مختلف و تخمین دز با استفاده از نرم‌افزارهای محاسباتی در کشورهای گوناگون انجام شده است [۵ تا ۱۲].

مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده‌ی دز مؤثر کارکنان پرواز در مسیرها و تاریخ‌های مختلف توسط کارگروه دزیمتری اروپا<sup>(۱)</sup> در سال ۲۰۰۴ به چاپ رسیده است [۱۳]. مقایسه‌ی نتایج پژوهش‌های مختلف که طی ۱۰ سال گذشته انجام شده و به چاپ رسیده‌اند، تفاوتی تا ۱۳٪ بین مقادیر محاسبه و اندازه‌گیری شده به روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. این مقدار نایقینی به علت خطاها و محدودیت‌های اندازه‌گیری ابزارهای آشکارسازی، روش‌های مختلف اندازه‌گیری، محاسبه و تقریب‌های به کار رفته، موقعیت جغرافیایی و میزان فعالیت‌های خورشیدی است [۱۳].

در این پژوهش، پرتوگیری کارکنان پرواز در مسیرهای مختلف پروازهای داخلی ایران با استفاده از دزیمترهای مختلف در دو مرحله اندازه‌گیری و اثر ارتفاع، مدت زمان پرواز، عرض جغرافیایی بر میزان پرتوگیری این افراد بررسی شده است.

## ۲. بخش تجربی

این پژوهش در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله‌ی اول، دز گاما و نوترون پرتوهای کیهانی در ۶ پرواز داخلی به ترتیب توسط آشکارساز گاما-تریسر و آشکارساز نوترون Thyac 190N اندازه‌گیری شد. در مرحله‌ی دوم چندین نفر از کارکنان پرواز به مدت یک سال به دزیمترهای فردی ترمولومینسانس و پلی‌کربنات برای اندازه‌گیری دز، به ترتیب گاما و نوترون مجهز شدند.

دزیمتر فردی مورد استفاده حاوی یک کارت دزیمتر TLD با ۳ تراشه از نوع LiF:Mg,Ti (TLD-۷۰۰) یک تراشه از نوع LiF:Mg,Ti(TLD-۶۰۰) به ضخامت ۰٫۳۸mm، با آرایش (۷۷۶) و یک قطعه فیلم پلی‌کربنات از نوع لگزان به فرمول  $C_{16}H_{14}O_3$  بود. دیگر مشخصات تراشه‌ها به شرح زیر است: تراشه‌ی اول، صافی پلاستیکی  $ABS 242 mg/cm^2$  و مس  $91 mg/cm^2$

تراشه‌ی دوم، صافی

$PTFE/ABS 1000 mg/cm^2$  PTFE/ABS+۸۹۳mg/cm<sup>۲</sup> ABS+۱۰۷mg/cm<sup>۲</sup>

تراشه‌ی سوم، صافی (۰٫۰۶mm) aluminized mylar

تراشه‌ی چهارم، صافی پلاستیکی  $ABS 300 mg/cm^2$

در مرحله‌ی اول طرح، اندازه‌گیری دز گاما در طی ۶ پرواز در مسیرهای رفت و برگشت رشت-عسلویه، شیراز-عسلویه و شیراز-مشهد انجام شد. برای این منظور دستگاه گاما-تریسر برای اندازه‌گیری دز گاما در مکان مناسبی در کابین خلبان ثابت گردید و آهنگ دز نوترون به وسیله‌ی دستگاه Thyac-190N در هر دقیقه یادداشت گردید. تغییرات ارتفاع پرواز نیز در این فواصل زمانی ثبت شد.

گاما-تریسر دارای یک سوند حاوی دو آشکارساز گایگر-مولر برای اندازه‌گیری پیوسته‌ی آهنگ دز گاما است که قادر به آشکارسازی گاما با نرخ دز ۲۰ نانو سیورت تا ۱۰ سیورت در ساعت می‌باشد. اطلاعات مربوط به آهنگ دز گامای اندازه‌گیری و ثبت شده توسط این ابزار را می‌توان در هر زمان به کامپیوتر انتقال داد. به این ترتیب که با وارد کردن بازه‌ی زمانی موردنظر می‌توان در این بازه نمودار تغییرات دز را مشاهده نمود. این آشکارساز، سبک و قابل حمل است که می‌توان آن را در مکان‌های مختلف به کار برد. آشکارساز Thyac 190-N یک آشکارساز قابل حمل نوترون با شمارگر تناسبی BF<sub>۳</sub> است و



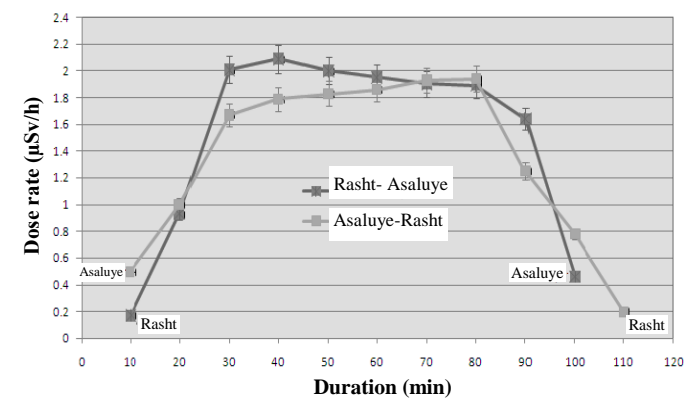
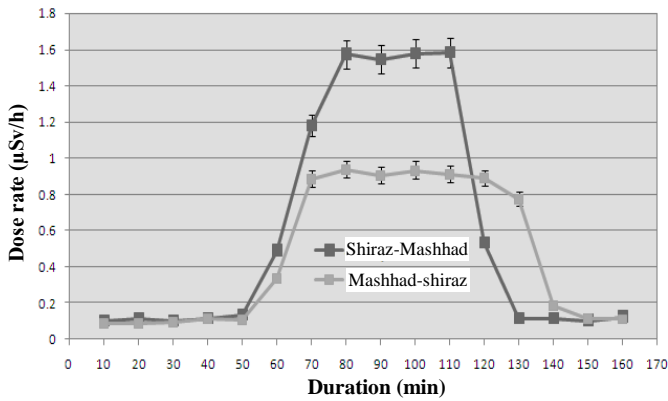
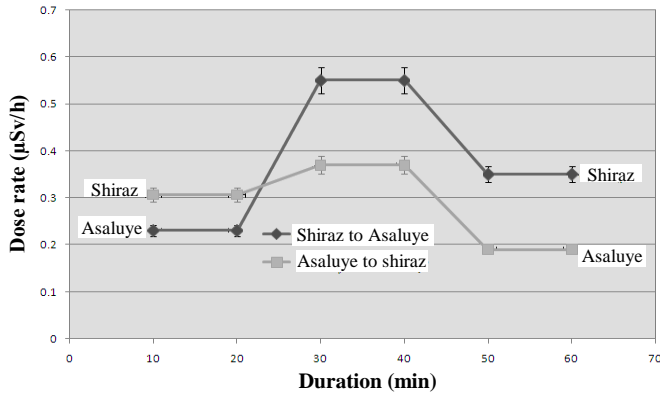
بدنه‌ی آن شامل کندساز نوترون می‌باشد. این آشکارساز قادر به اندازه‌گیری آهنگ دز و دز کل نوترون می‌باشد. گستره‌ی انرژی و آهنگ دز قابل اندازه‌گیری توسط این آشکارساز به ترتیب برابر با (۰٫۰۲۵eV تا ۱۵MeV) و (۰ μSv/h تا ۷۵Sv/h) می‌باشد. در مرحله‌ی دوم طرح، تعدادی از کارکنان پرواز به مدت یک سال به دزیمترهای فردی TLD و پلی‌کربنات مجهز شدند. با استفاده از نتایج به دست آمده از خوانش تراشه‌های TLD به وسیله‌ی دستگاه TLDخوان از نوع هارشا مدل ۴۵۰۰، دز گاما و از خوانش دزیمترهای پلی‌کربنات دز نوترون تعیین شدند.

### ۳. یافته‌ها و بحث

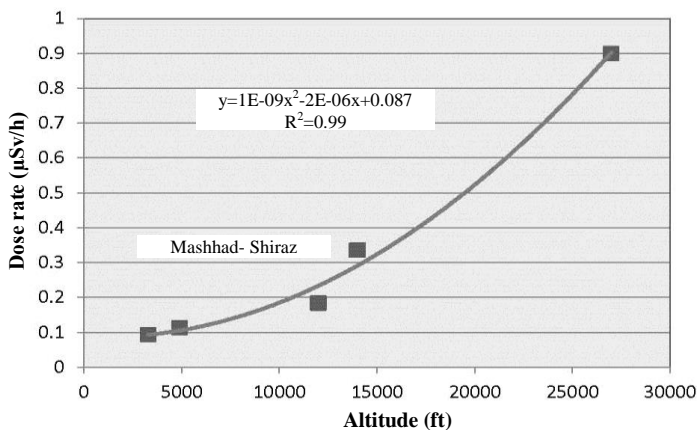
نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های آهنگ دز گاما به وسیله‌ی دستگاه گاما-تریسر و مقایسه‌ی تغییرات آن در ۶ مسیر رفت و برگشت رشت-عسلویه، شیراز-عسلویه و شیراز-مشهد در شکل ۱ نشان داده شده است.

براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، پرتوگیری کارکنان پرواز با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد. شکل ۲ اثر افزایش ارتفاع بر آهنگ دز در مسیر رفت و برگشت شیراز-مشهد را نشان می‌دهد. ارتفاع شهر شیراز و مشهد از سطح دریا به ترتیب ۴۹۰۰ و ۳۳۰۰ پا می‌باشد. چنانچه از شکل ۲ پیدا است، رابطه‌ی درجه‌ی ۲ نسبتاً خوبی بین افزایش دز و ارتفاع وجود دارد ( $R^2=0.99$ ).

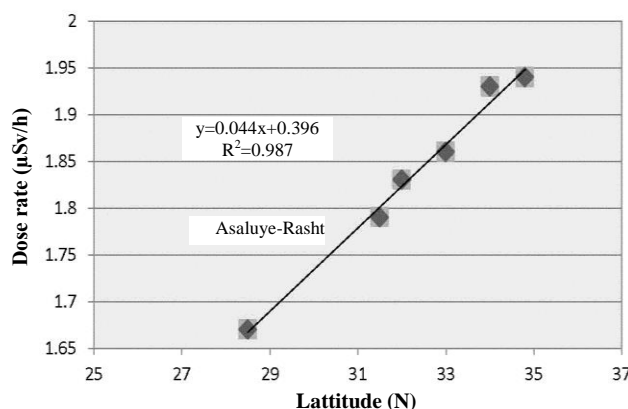
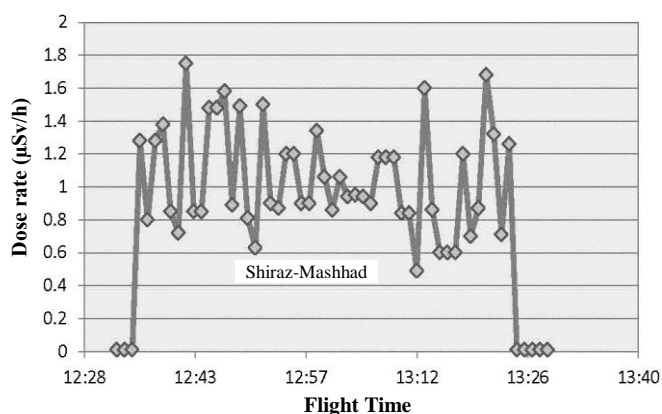
رابطه‌ی آهنگ دز گاما اندازه‌گیری شده در مسیر عسلویه-رشت، در مدت زمانی که هواپیما در ارتفاع بیشینه در حال پرواز است، با تغییرات عرض جغرافیایی را می‌توان در شکل ۳ مشاهده نمود. به علت کاهش ضخامت اتمسفر ضمن دور شدن از استوا و حرکت به سمت قطب‌ها، انتظار می‌رود که در نواحی با عرض جغرافیایی بزرگ‌تر میزان دز بیش‌تری نسبت به نواحی نزدیک‌تر به خط استوا به وسیله‌ی کارکنان پرواز دریافت شود. شهرستان عسلویه در موقعیت جغرافیایی  $27^{\circ}$  و  $36'$  شرقی و  $30'$  شمالی یکی از شهرهای جنوبی و شهرستان رشت با موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ}$  و  $35'$  شرقی و  $17'$  شمالی از شهرهای شمالی ایران می‌باشند. همان‌طور که از شکل ۳ پیدا است، در دالان پرواز و در حالی که هواپیما در یک ارتفاع ثابت پرواز می‌کند، با حرکت به سمت شمال و دور شدن از خط استوا آهنگ دز به طور خطی افزایش یافته است.



شکل ۱. تغییرات آهنگ دز گاما در ۶ مسیر رفت و برگشت هوایی رشت-عسلویه، شیراز-عسلویه و شیراز-مشهد.



شکل ۲. تغییرات آهنگ دز گاما با ارتفاع از سطح دریا در مسیر مشهد-شیراز.



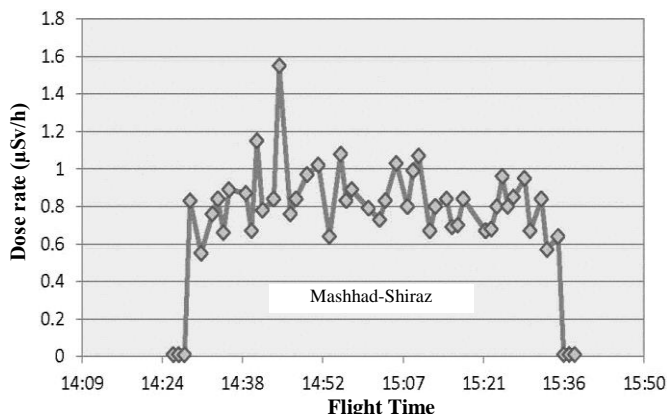
شکل ۳. تغییرات آهنگ دز گاما با تغییر عرض جغرافیایی در ارتفاع دالان پرواز (۲۴۰۰۰ پا) در مسیر عسلویه-رشت.

نتیجه‌ی اندازه‌گیری دز نوترون با استفاده از دستگاه Thyac 190-N در مسیرهای رفت و برگشت شیراز- مشهد در شکل ۴ نشان داده شده است. چنانچه از این شکل پیدا است، آهنگ دز نوترون در این دو مسیر با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد ولی نسبت به آهنگ دز گاما دارای نوسان بیش‌تری است. در پرواز شیراز- مشهد در ارتفاع پرواز ۳۳۰۰۰ پا، آهنگ دز نوترون به طور متوسط بیش‌تر از آهنگ دز نوترون در پرواز مشهد به شیراز در ارتفاع کم‌تر از ۲۷۰۰۰ پا می‌باشد. بنابراین آهنگ دز نوترون نیز همانند آهنگ دز گاما با ارتفاع از سطح زمین افزایش می‌یابد.

جدول ۱، نتایج اندازه‌گیری دز کارکنان پرواز در ۶ مسیر ذکر شده را نشان می‌دهد. با تحلیل اطلاعات گاما-تریسرها می‌توان دز کل کارکنان پرواز از پرتوهای گامای کیهانی را برآورد کرد. دستگاه Thyac 190N نیز دز کل نوترون را در هر پرواز ارائه می‌دهد و به این ترتیب می‌توان مجموع دز نوترون و گاما در هر پرواز را به دست آورد.

جدول ۲، دز نوترون و گامای سالانه‌ی دریافتی کارکنان پرواز را که به ترتیب با دزیمترهای پلی‌کربنات (برای نوترون) و دزیمترهای TLD (برای گاما) اندازه‌گیری شده‌اند ارائه می‌دهد.

جدول ۳ آهنگ دز متوسط این ۶ پرواز را که از تقسیم دز کل اندازه‌گیری شده بر مدت زمان کل پرواز<sup>(۲)</sup> از ابتدای حرکت هواپیما بر روی باند برای رفتن به موقعیت پرواز تا هنگام خاموش شدن موتور هواپیما بعد از فرود به دست می‌آید.



شکل ۴. تغییرات آهنگ دز نوترون با زمان پرواز در مسیرهای شیراز- مشهد و برعکس.

جدول ۱. دز اندازه‌گیری شده‌ی گاما و نوترون در پروازهای مختلف

مسیر پرواز	مدت زمان پرواز (دقیقه)	پیشینه ارتفاع پرواز (پا)	دز گاما (میکروسیورت)	دز نوترون (میکروسیورت)	دز کل (میکروسیورت)
رشت-عسلویه	۱۰۰	۳۵۰۰۰	۲،۵۲	۱،۰۹±۰،۰۹	۳،۶۱
عسلویه-رشت	۱۰۵	۳۴۰۰۰	۲،۲۰	۰،۹۹±۰،۰۹	۳،۱۹
عسلویه-شیراز	۳۵	۱۹۰۰۰	۰،۱۵	۰،۰۴±۰،۰۱	۰،۱۹
شیراز-عسلویه	۳۵	۲۱۰۰۰	۰،۲۱	۰،۰۵±۰،۰۱	۰،۲۶
شیراز-مشهد	۸۸	۳۳۰۰۰	۱،۷۳	۰،۸۵±۰،۰۹	۲،۵۸
مشهد-شیراز	۹۰	۲۷۰۰۰	۱،۱۵	۰،۵۸±۰،۰۶	۱،۷۳

جدول ۲. دز سالانه‌ی گاما و نوترون دریافتی کارکنان پرواز

پرسنل	دز سالانه‌ی گاما (میلی‌سیورت)	دز سالانه‌ی نوترون (میلی‌سیورت)	دز سالانه‌ی کل (میلی‌سیورت)
۱	۱،۱۰±۰،۰۲	۰،۷۷	۱،۸۷
۲	۰،۵۰±۰،۰۱	۰،۲۷	۰،۸۷
۳	۱،۱۶±۰،۰۲	۰،۷۴	۱،۹۰
۴	۱،۰۸±۰،۰۲	۰،۶۰	۱،۶۸
۵	۰،۷۲±۰،۰۱	۰،۵۶	۱،۲۸
۶	۰،۸۶±۰،۰۲	۰،۶۴	۱،۵۰
میانگین	۰،۹۰±۰،۰۲	۰،۶۱	۱،۵۱



براساس پژوهش‌های انجام شده در کشور کانادا، پرتوگیری سالانه‌ی متوسط خدمه‌ی پروازهای هوایی در این کشور تقریباً بین ۱ تا ۵ میلی‌سیورت می‌باشد [۱۴ و ۱۵]. پرتوگیری سالانه‌ی کارکنان پرواز در کشور بریتانیا در حدود ۲ میلی‌سیورت می‌باشد که قابل قیاس با نتایج این مقاله می‌باشد [۱۶].

در مورد پرتوگیری از تایش‌های کیهانی در هواپیماها، برای مدت زمان پرواز ۲۰۰ ساعت در سال در ارتفاع ۱۲ کیلومتری، دز مؤثر سالانه حدود ۱ میلی‌سیورت می‌باشد [۱۷]. اقدام اصلی که می‌تواند صورت گیرد، ارزیابی و ثبت پرتوگیری‌های شغلی کارکنان پرواز و کسانی است که پرتوگیری آن‌ها از حدود تعیین شده توسط واحد قانونی تجاوز می‌نماید. هم‌چنین ممکن است لازم باشد پرتوگیری کارکنان زن که خودشان اظهار به حاملگی کرده‌اند مدیریت شود [۱۸]. اطلاعات بیشتر در خصوص پرتوگیری کارکنان پرواز توسط گروه دزیمتری اروپا، در مدرک شماره ۸۵ سال ۱۹۹۶ «حفاظت در برابر اشعه» انتشار یافته است [۱۹].

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، آهنگ دز در ارتفاع‌های بالاتر پرواز به عوامل متعددی بستگی دارد. از جمله‌ی این عوامل می‌توان به ارتفاع و عرض جغرافیایی اشاره کرد. بنابراین در مقایسه‌ی نتایج به دست آمده در پژوهش‌های پیشین با نتایج این پژوهش باید به ارتفاع و عرض جغرافیایی مقصد و مبدا پرواز نیز توجه داشت.

جدول ۴، مقادیر آهنگ دز اندازه‌گیری شده در پروازهای مختلف در این پژوهش را با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های پیشین در مسیرهای مختلف و کشورهای مختلف مقایسه می‌کند. تفاوت‌های مشاهده شده در مقادیر آهنگ دز در جدول ۴ ناشی از یکسان نبودن دیگر شرایط پرواز مثل مدت زمان پرواز در ارتفاع اوج، سرعت هواپیما، و عرض‌های جغرافیایی مبدا و مقصد می‌باشد. با این حال، موضوعی که در همه‌ی پژوهش‌های پیشین به آن اشاره شده افزایش نرخ دز با افزایش ارتفاع و دور شدن از خط استوا است.

**جدول ۳.** آهنگ دز متوسط برای ۶ پرواز مختلف و تغییرات آن برحسب ارتفاع دالان پرواز

مسیر	دز کل (میکروسیورت)	ارتفاع پیشینه (پا)	مدت زمان کل پرواز (دقیقه)	آهنگ دز (میکروسیورت بر ساعت)
رشت - عسلویه	۳,۶۱	۳۵,۰۰۰	۱۰۰	۲,۱۷
عسلویه - رشت	۳,۱۹	۳۴,۰۰۰	۱۰۵	۱,۸۲
عسلویه - شیراز	۰,۱۹	۱۹,۰۰۰	۳۵	۰,۳۳
شیراز - عسلویه	۰,۲۶	۲۱,۰۰۰	۳۵	۰,۴۵
شیراز - مشهد	۲,۵۸	۳۳,۰۰۰	۸۸	۱,۷۶
مشهد - شیراز	۱,۷۳	۲۷,۰۰۰	۹۰	۱,۱۵

با توجه به نتایج به دست آمده دز کل سالانه‌ی دریافتی کارکنان پرواز در مسیرهای ذکر شده عمدتاً بیش از ۱mSv در سال اندازه‌گیری شده است.

با متوسط‌گیری از نتایج جدول ۱، می‌توان گفت که کارکنان پرواز که پروازهایی در ارتفاع‌های بین ۱۹,۰۰۰ تا ۳۵,۰۰۰ پا انجام می‌دهند، در معرض آهنگ دز متوسط ۱,۳۱ میکروسیورت بر ساعت قرار دارند. با فرض زمان پرواز متوسط ۱,۰۰۰ ساعت در سال، متوسط دز دریافتی سالانه‌ی کارکنان پرواز، ۱,۳۱ میلی‌سیورت در سال تخمین زده می‌شود. این یک تخمین سرانگشتی از دز سالانه‌ی دریافتی کارکنان پرواز است که از متوسط‌گیری از آهنگ دز در چند پرواز داخلی به دست آمده است. چنانچه از جدول ۱ پیدا است، آهنگ دز در پروازهای رفت و برگشت شیراز - عسلویه به علت ارتفاع‌های کم (۱۹,۰۰۰ و ۲۱,۰۰۰ پا)، بسیار پایین است؛ این عامل، آهنگ دز متوسط محاسبه شده را کاهش می‌دهد. اگر خلبان یا کارکنان پرواز، کل پرواز سالانه‌ی خود را در ارتفاع‌های بیش‌تر از ۲۷,۰۰۰ تا ۳۵,۰۰۰ پا انجام دهند، به طور متوسط در معرض آهنگ دز ۱,۶۵ میکروسیورت بر ساعت قرار می‌گیرند و در طول ۱,۰۰۰ ساعت پرواز سالانه‌ی خود، پرتوگیری نزدیک به ۱,۶۵ میلی‌سیورت خواهند داشت. در قسمت دوم طرح، با استفاده از دزیمترهای TLD و پلی‌کربنات، دز سالانه‌ی دریافتی کارکنان پرواز با پرواز سالانه‌ی به طور متوسط ۱,۰۰۰ ساعت در مسیرهای داخلی، اندازه‌گیری شد. با متوسط‌گیری از دز سالانه‌ی متوسط این افراد، دز سالانه‌ی متوسط کارکنان پرواز ۱,۵ میلی‌سیورت بر سال تخمین زده می‌شود.



### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بدین وسیله از همکاری پرسنل محترم شرکت هواپیمایی آسمان به ویژه ریاست محترم آن شرکت جناب آقای کاپیتان نصر فرد و هم‌چنین پرسنل محترم مرکز تحقیقات تابش خصوصاً سرکار خانم شهرزاد درخشان سپاسگزاری می‌نمایند.

### پی‌نوشت‌ها:

۱. Eurados
۲. Block Hours

### References:

1. T.K. Gaisser, "Cosmic rays and particle physics (Cambridge: Cambridge University Press)," (1990).
2. W. Heinrich, S. Roesler, H. Schraube, "Physics of cosmic radiation fields," Radiat. Prot. Dosim. 86(4), 253±258 (1999).
3. "International commission on radiological protection," Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3). Pergamon, Oxford (1991).
4. "International commission on radiological protection," General Principles for the Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 75 (Oxford: Pergamon Press) (1997).
5. P. Beck, P. Ambrosi, U. Schrewe, K. O'Brien, "ACREM, aircrew radiation exposure monitoring," OEFZS Report OEFZS-G-0008 (ARC Seibersdorf research: Seibersdorf, Austria) (1999-a).
6. P. Beck, D. Bartlett, K. O'Brien, U.J. Schrewe, "In-flight investigation and routine measurements," Radiat. Prot. Dosim. 86, 303-308 (1999-b).
7. L. Tommasino, "In-flight measurements of radiation fields and doses," Radiat. Prot. Dosim. 86, 297-301 (1999).

### جدول ۴. آهنگ دز دریافتی پرسنل پرواز در پروازهای با ارتفاع‌های متفاوت

مسیر پرواز	ارتفاع اوج	آهنگ دز (میکروسیورت بر ساعت)	مرجع
Houston TX-Austin TX	۲۰۰۰	۰٫۲	[۲۰]
Houston (KIAH)-Austin (KAUS)	۲۰۰۰	۰٫۲۵	[۲۱]
Asaluye-Shiraz	۱۹۰۰۰	۰٫۳۳	پژوهش حاضر
Seattle WA-Portland OR	۲۱۰۰۰	۰٫۲	[۲۰]
Seattle (KSEA)-Portland (KPDX)	۲۱۰۰۰	۰٫۲۵	[۲۱]
Shiraz-Asaluye	۲۱۰۰۰	۰٫۴۵	پژوهش حاضر
Mashhad-Shiraz	۲۷۰۰۰	۱٫۱۵	پژوهش حاضر
Tampa FL-St.Louis MO	۳۱۰۰۰	۲٫۰	[۲۰]
Denver CO-Minneapolis MN	۳۳۰۰۰	۲٫۴	[۲۰]
40° N-60° N	۳۳۰۰۰	۴٫۶	[۲۲]
Shiraz-Mashhad	۳۳۰۰۰	۲٫۵	پژوهش حاضر
Asaluye-Rasht	۳۴۰۰۰	۳٫۰	پژوهش حاضر
Rasht-Asaluye	۳۵۰۰۰	۳٫۴	پژوهش حاضر

### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج دزیمتری به دست آمده در این پژوهش، نشان می‌دهد که میزان پرتوگیری سالانه‌ی کارکنانی که ارتفاع پروازهای آن‌ها بیش از ۲۶۰۰۰ پا (۸ کیلومتر) است، با فرض ۱۰۰۰ ساعت پرواز در سال به طور متوسط، بیش از یک میلی‌سیورت ارزیابی می‌شود. با توجه به توصیه‌های کار گروه شماره ۱۱ گروه دزیمتری اروپا و سری استانداردهای ایمنی شماره RS-G-1.1 آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، لازم است پرتوگیری‌های کارکنان پرواز برای مقایسه با حدود مجاز پرتوگیری شغلی ارزیابی و در صورت لزوم کنترل شوند. برطبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، ارتفاع پرواز و هم‌چنین طول و عرض جغرافیایی مبدا و مقصد پرواز عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر میزان دز دریافتی کارکنان پرواز می‌باشند. کاهش مدت زمان پرواز سالانه‌ی هر یک از کارکنان عامل مؤثری در کاهش پرتوگیری این افراد است. به طوری که پرتوگیری آن دسته از کارکنان پرواز که در پروازهای با ارتفاع بیش از ارتفاع‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش (۳۵۰۰۰ پا) پرواز می‌کنند، یا مدت زمان پرواز لانه‌ی آن‌ها بیش‌تر می‌باشد، می‌تواند از مقادیر اندازه‌گیری و گزارش شده در این پژوهش فراتر رود.



8. U.J. Schrewe, "ACREM air crew radiation exposure monitoring results from the in-flight measurement program of the PTB: summary of the radiation monitoring data," PTB Laboratorbericht PTB-6. 31-99-1, Braunschweig (1999).
9. D. Regulla and J. David, "Measurements of cosmic radiation on board Lufthansa aircraft on the major intercontinental flight routes," Radiat. Prot. Dosim. 48(1), 65-72 (1993).
10. B.J. Lewis, M.J. McCall, A.R. Green, L.G.I. Bennett, M. Pierre, U.J. Schrewe, K. O'Brien, E. Felsberger, "Aircrew exposure from cosmic radiation on commercial airline routes," Radiat. Prot. Dosim. 93, 293-314 (2001).
11. J.E. Kyllonen, L. Lindborg, G. Samuelsson, "Cosmic radiation measurements on-board aircraft with the variance method," Radiat. Prot. Dosim. 93, 197-205 (2001).
12. A.M. Romero, J.C. Saez-Vergara, R. Rodriguez, R. Dominguez-Mompell, "Study of the ratio of ionising to neutron dose components of cosmic radiation at typical commercial flight altitudes," Radiat. Prot. Dosim. 110: 357-362 (2004).
13. EURADOS, In: Lindborg, L. Bartlett, D. Beck, P. McAulay, I.R. Schnuer, K. Schraube, H. Spurny, F. (Eds.), Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew—Compilation of Measured and Calculated Data. European Commission, Radiation Protection Issue No. 140. ISBN 92-894-8448-9n (2004).
14. B.J. Lewis, P. Tume, L.G.I. Bennett, M. Pierre, A.R. Green, T. Cousins, B.E. Hoffarth, T.A. Jones, J.R. Brisson, "Cosmic radiation exposure on canadian-based commercial airline routes," Radiat. Prot. Dosim. 86(1), 7-24 (1999).
15. W.N. Sont and J.P. Ashmore, "Report on occupational radiation exposures in Canada," Environmental Health Directorate, 99-EHD-239 (1999).
16. D.T. Bartlett, Radiation Protection Aspects of the Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew Radiation Protection Dosimetry, Vol. 109, No. 4, 349-355 (2004).
17. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York (1993).
18. Safety Standards Series No. RS-G-1.1, Occupational Radiation Protection, International Atomic Energy Agency Vienna, (1999).
19. EURADOS, Exposure of Air Crew to Cosmic Radiation: A Report of EURADOS Working Group 11, Radiation Protection No. 85, European Commission, Luxembourg (1996).
20. W. Friedberg, K. Copeland, F.E. Duke, K. O'Brien, E.B. Darden Jr, "Guidelines and technical information provided by the US federal aviation administration to promote radiation safety for air carrier crew members," Radiat. Prot. Dosim. 86, 323-327 (1999).
21. K. O'Brien, W. Friedberg, H.H. Sauer, D.F. Smart, "Atmospheric cosmic rays and solar energetic particles at aircraft altitudes," Environ. Int. 22 (Suppl), S9-S44 (1996).
22. D.T. Bartlett, "Radiation protection aspects of the cosmic radiation exposure on aircraft crew," Radiat. Prot. Dosim. 109(4), 349-355 (2004).