

دزیمتری فیلم بچ با فیلمهای آگفا

سیامک برهان آزاد
امور حفاظت در برابر اشعه
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

بمنظور جایگزینی فیلم آگفا بجای کداک در بچ های AERE/RPS مورد استفاده در دزیمتری فردی با فیلم بچ، حساسیت فیلمهای آگفا در زیرفیلترهای این بچ در برابر پرتوهای ایکس و گاما بررسی گردید. همانطور که انتظار میرفت تغییرات محسوسی در محدوده دز قابل اندازه گیری، ارتباط حساسیت با انرژی، شیب منحنی کالیبراسیون و غیره مشاهده شد. بر اساس اطلاعات بدست آمده یک رابطه تجربی برای محاسبه دز فوتونها با تقریب ۲۰٪ تهیه و ارائه گردیده است. در انرژی های حدود ۱۵۰ keV، بعلت تاثیر معکوس فیلتر قلع و سرب، خطای رابطه تجربی تا میزان ۵۰٪ افزایش نشان میدهد. لذا با توجه به متغیر بودن شرایط کاری استفاده کننده گان فیلم بچ در ایران کاربرد رابطه تجربی فوق توصیه نمی گردد. همچنین مطالعه حساسیت فیلمهای آگفا درون بچ نشان میدهد که کماکان یک رابطه منطقی بین نسبت حساسیت نواحی مختلف فیلم و انرژی فوتونها وجود دارد. چون تغییرات ضریب تصحیح در نواحی مختلف فیلم نیز در یک محدوده مشخص از انرژی با تقریب ۲۰٪ $\pm$ ثابت است، با روش ترسیمی به سهولت میتوان انرژی موثر و ناحیه مناسب برای دزیمتری فوتونها را بدست آورد. از اینرو روابط و جزئیات لازم در روش ترسیمی تعیین گردیدند. همچنین روی فیلمهای آگفا کیفیت تصاویر فیلترهای بچ در شرایط مختلف پرتوگیری بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان میدهد که در اکثر موارد انرژی و نوع پرتوگیری با مشاهده تصاویر قابل حدس زدن بوده و میتوان با استفاده از روش ترسیمی، حتی دزیمتری برخی از فیلمهای غیر عادی را امکان پذیر نمود.

مقدمه

بمنظور کنترل و تعیین پرتوگیری کارکنانی که بنحوی در معرض تابش پرتوهای یونساز قرار دارند، در سال ۱۳۴۱ش، یک سرویس خدماتی دزیمتری فیلم بچ در مرکز تحقیقات اتمی دانشگاه تهران با همکاری آقای یداله واجد سمیعی و جمعی دیگر از اساتید دانشگاه تهران تاسیس گردید (۱). این سرویس از بدو تشکیل سازمان انرژی اتمی ایران به واحد حفاظت در برابر اشعه این سازمان انتقال یافت.

هم اکنون بیش از هشت هزار نفر از کارکنان مراکز مختلف نظیر رادیولوژی، رادیوترابی، پزشکی هسته ای، صنایع، مراکز آموزشی و پژوهشی، کشاورزی، آزمایشگاهها و... تحت پوشش خدمات آن قرار دارند.

فیلم بچ های مورد استفاده این سرویس که از نوع AERE/RPS میباشد، اولین بار در سال ۱۹۵۷ م با همکاری سرویس حفاظت رادیولوژیکی مرکز تحقیقات اتمی انگلستان طراحی شده اند (۲). بجهای

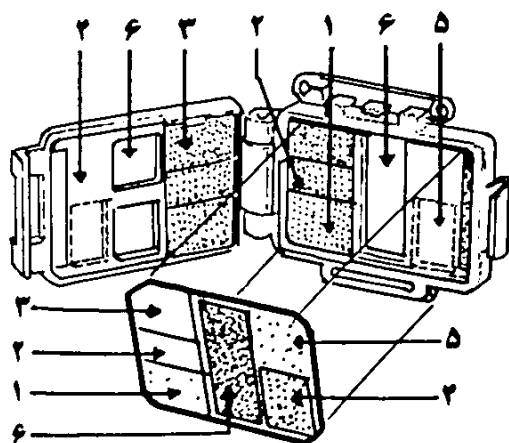
در سال ۱۳۵۷ش، بعد از انقلا ب شکوه‌مند اسلامی ایران، کلیه دفاتر نمایندگی کداک در ایران تعطیل گردید و سرویس دزیمتری فیلم بچ "تدریجا" فیلمهای آگفا را بجای کداک مورد استفاده قرارداد. در سال ۱۳۶۳ش، با جمع آوری امکانات موجود در امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران، بیمارستان امام خمینی و بخش فیزیکی پزشکی بیمارستان جرجانی، ضمن مقایسه فیلمهای آگفا با کداک، اطلاعات کاملی در رابطه با کیفیت فیلمهای آگفا و چگونگی تاثیر فیلترهای بچ بر روی آن جمع-آوری گردید. در این مقاله با استفاده از تجربیات و اطلاعات کسب شده روش مناسبی برای دزیمتری فیلمهای آگفا درون بچهای AERE/RPS تشریح میشود.

روشها و وسایل

الف- فیلم:

فیلمهای دزیمتری فردی آگفا از دو عدد فیلم D10

AERE/RPS دارای یک دریچه باز و پنج فیلتر مجزا هستند. تعداد، جنس، وضاحت این فیلترها بر اساس حساسیت فیلمهای کداک انگلیسی KODAK RM FILM طوری انتخاب گردیده که تعیین پرتوگیری خارجی اغلب پرتوهای یونساز، توسط آن امکان پذیر باشد (۳ و ۴ و ۵). بنابراین گزارش برت (Burt) و همکاران (۶)، در سال ۱۹۷۰م شرکت کداک پاته، پلیمریشتیبان فیلمهای خود را از تری استات سلولز به پلی استر تغییر داد. این تغییر سبب گردید که فرمول موجود برای محاسبه دز فوتونها در بعضی از انرژیها صدق نکند. در سال ۱۹۸۰م، تولید فیلمهای کداک انگلیسی متوقف شد. در نتیجه در NRPB و RNL به منظور جایگزین ساختن فیلمهای ایستمان کداک (Eastman Kodak) بجای فیلمهای کداک انگلیسی تحقیقات همزمانی شروع شد (۷) و معلوم گردید که در صورت استفاده از روابط جدیدی برای محاسبه دز، میتوان از فیلمهای ایستمان کداک دریچههای AERE/RPS با کیفیت بهتری استفاده کرد.



- ۱- نا حیه اول، قلع و سرب
- ۲- نا حیه دوم، کا دمیم و سرب
- ۳- نا حیه سوم، آلومینیم
- ۴- نا حیه چهارم، پلاستیک ضخیم
- ۵- نا حیه پنجم، پلاستیک نازک
- ۶- نا حیه ششم، دریچه باز

شکل ۱. بچ AERE/RPS و تصویر نواحی شش گانه آن در روی فیلم.

و D2 تشکیل شده‌اند. این دو فیلم برای محافظت از نور و رطوبت در لایه‌ای چند ورق کاغذ سیاه رنگ داخل یک پوشش پلاستیکی قرار دارند. فیلم D10 ۶۴ مرتبه از فیلم D2 حساس‌تر است (۸). هر دو طرف این فیلمها لایه امولسیون (Emulsion) حساس داشته و ضخامت این لایه در فیلم D10 ۲۱ میکرون و در فیلم D2 ۱۶ میکرون است (۹). پس از مراحل ظهور لایه امولسیون هر طرف از فیلمهای فوق رامیتوان بطور دلخواه تراشید و دانسیته آنها را به نصف تقلیل داد.

ب - بچ

بچ‌های AERE/RPS پلاستیکی و از جنس پلی-پروپیلن هستند (۵). نمای ظاهری آن در شکل ۱ نشان داده شده است. ضخامت فیلترهای کادمیم و قلع برابر 0.7 mm ، فیلتر آلومینیم 1 mm و فیلتر سرب 0.3 mm است. در این بررسی چون روش دزیمتری فوتونها مورد نظر بوده، از ناحیه دوم که مخصوص دزیمتری نوترونهای حرارتی میباشد و همچنین از ناحیه پنجم و ششم که بیشتر برای دزیمتری بتا کاربرد می‌یابند، استفاده نشده است.

ج - مولدهای فوتون و وسایل اندازه‌گیری

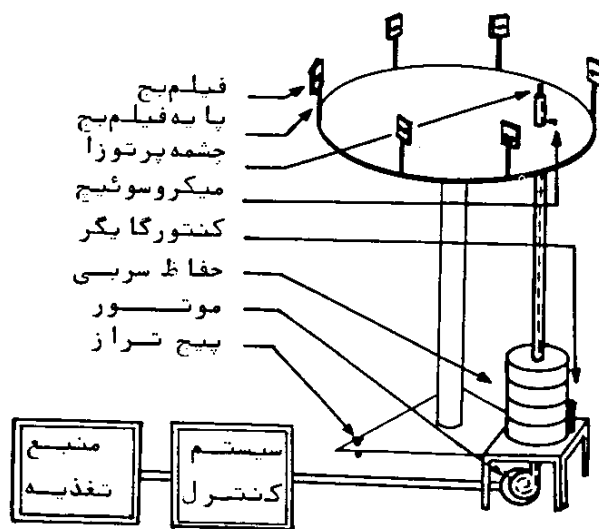
برای پرتو دهی فیلمها از تجهیزات زیر استفاده شده است:

- ۱- دستگاه رادیوترایی سطحی فیلیپس با حداکثر ولتاژ 100 kV و حداکثر جریان 12 mA .
 - ۲- دستگاه رادیوترایی عمقی زیمنس با حداکثر ولتاژ 300 kV و حداکثر جریان 20 mA .
 - ۳- چشمه کبالت 60 با پرتوزائی 1.85×10^9 بکرل (۵۰ میلی کوری).
 - ۴- چشمه سزیم 137 با پرتوزائی 11×10^9 بکرل (۳۰۰ میلی کوری).
- همچنین شدت پرتو دهی مولدهای فوق بوسیله دزیمترهای زیر اندازه‌گیری شده است:

- ۱- دزیمتر فارمر (Farmer) با اتاقک با حجم 0.6 cc بعنوان شاهد (monitor chamber).
- ۲- دزیمتر ایونکس (Ionex) با اتاقک با حجم 0.6 cc .
- ۳- دزیمتر ان پی ال (NPL) از نوع بالنی برای دزیمترهای پرتوهای کم انرژی.
- ۴- دزیمتر پی تی دبلو (PTW) با حجم اتاقک 1000 cc برای اندازه‌گیری دزهای کم.

د - پرتو دهی فیلم بچ با فوتونهای گاما

چشمه پرتوزا به کمک یک موتور کوچک از حفاظ سربی خود خارج و توسط یک سیستم کنترل کننده در فاصله 20 cm بالای یک میز گرد به شعاع 65 cm قرار می‌گیرد. در چنین وضعیتی فاصله چشمه تا دور میز بین 30 cm تا 100 cm میباشد. تعداد ۳۰ عدد پایه 20 سانتیمتری از پلکسی گلاس برای نگهداری فیلم بچ‌ها در اطراف میز تعبیه و در هر نوبت پرتو دهی، نسبت به بیشترین پرتوگیری فیلم بچها $11/1$ برابر کمترین پرتوگیری آنها خواهد بود. شکل ۲ سیستم پرتو دهی گاما را نشان میدهد.



شکل ۲. سیستم کالیبره کردن با پرتو گاما.

هـ- پرتو دهی فیلم بچ با فوتونهای ایکس:

انرژی موثر پرتوهای ایکس هردستگاه باروش تعیین ضخامت لایه نیم جذب یا HVL برای کیلو ولتاژ و فیلترهای مختلف اندازه گیری گردید (۱۰). برای هر شرایط که انرژی موثر بدست آمده بود، تعداد ۲۰ عدد فیلم با زمانهای مختلف در معرض تابش دزهای بین چند صدم میلی گری تا چند صدم گری قرار داده شدند. قبل از پرتو دهی فیلم ها، شدت پرتو دهی دستگاه در محل فیلم بچ بوسیله یک دزیمتر استاندارد تعیین و در هنگام پرتو دهی آن، شدت میدان توسط یک دزیمتر شاهد کنترل می گردید. چنانچه تغییریاتی بیش از ۱٪ در دزیمتر شاهد ملاحظه می شد، از آن نمونه فیلم بچ صرف نظر کرده و آزمایش تکرار می گردید. کیفیت پرتوهای ایکس مورد آزمایش در جدول یک درج شده است.

و- ظهور فیلم:

برای یکنواخت ساختن اثرات محوشدن تصویر پنهان (fading) و تیرگی زمینه (fogging) روی فیلم، کلیه فیلمها حداکثر ۴۸ ساعت بعد از پرتو گیری به همراه تعدادی فیلم کالیبراسیون (فیلمهای یکسه در معرض تابش دز معینی از پرتوهای گامای چشمه کبالت ۶۰ قرار میگیرند) و تعدادی فیلم کنترل (فیلمهای یکسه در شرایط مشابه ولی دور از تابش پرتوها قرار داشته)، در شرایط مشابه وثابت زیر ظاهر شدند:

— ظهور در محلول G-230 آگفا به مدت ۵ دقیقه.

— شستشو در محلول ۲٪ اسید استیک به مدت ۳۰ دقیقه.

— ثبوت در محلول G-334 آگفا به مدت ۵ دقیقه.

جدول ۱- کیفیت پرتوهای ایکس

لایه نیم جذب mm Al	انرژی موثر keV	فیلتر اضافی mm	فیلتر ذاتی mm	ولتاژ ژنراتور kV	ردیف
۲۰	۱۷۰	۳/۴۴ Cu	۲ Al	۳۰۰	۱
۱۹	۱۵۵	۳/۸۹ Cu	۳ Al	۳۰۰	۲
۱۸	۱۳۵	۰/۹۵ Cu	۲ Al	۳۰۰	۳
۱۷	۱۱۰	۱/۰۰ Cu	۲ Al	۲۵۰	۴
۱۴/۵	۸۴	۰/۶۶ Cu	۲ Al	۲۰۰	۵
۱۳/۵	۷۸	۰/۵۱ Cu	۲ Al	۲۰۰	۶
۱۱	۶۲	۰/۲۱ Cu	۲ Al	۱۸۰	۷
۷/۹	۵۰	۶/۳ Al	۲ Al	۱۲۰	۸
۵/۴	۴۰	۴/۳ Al	۲ Al	۱۲۰	۹
۴/۴	۳۶	۵/۲ Al	۱ Be	۱۰۰	۱۰
۳/۳	۳۱	۳/۳ Al	۱ Be	۱۰۰	۱۱
۲/۱	۲۷	۱/۷ Al	۱ Be	۱۰۰	۱۲
۰/۷۵	۱۹	۰/۸۵ Al	۱ Be	۵۵	۱۳
۰/۴۵	۱۷	۰/۶۰ Al	۱ Be	۴۵	۱۴
۰/۲۰	۱۳	۰/۶۰ Al	۱ Be	۲۰	۱۵

دانشجوی در آب جاری بمدت ۳۰ دقیقه. پس از مراحل ظهور، فیلمها را در یک کابینت با جریان هوای ۳۰ درجه سانتیگراد خشک کرده و دانسیته نواحی شش گانه آنها را در محدوده بین ۰/۰۰ تا ۴/۰۰ توسط دانسیتومتر با نور عبوری (TRANSMISSION D.T. 1105) اندازه گیری نموده و سپس میانگین دانسیته فیلمهای کنترل را کسر و دانسیته خالص بدست آمد.

ز- حساسیت نسبی:

برای کسب اطلاعاتی که از طریق آنها بتوان با استفاده از یک چشمه مولد گاما (مانند کالت ۶۰) در هر نوع پرتو را بوسیله فیلم بچ محاسبه کرد، حساسیت فیلمهای آزمایشی نسبت به حساسیت فیلمهای کالیبراسیون کالت ۶۰ مقایسه شده است. بنا بر تعریف حساسیت ناحیه i - ام هر فیلم در انرژی E برابر است با:

$$S_i(E) = \frac{1}{X_i(E)} \quad (1)$$

در این رابطه $X_i(E)$ پرتوگیری لازم از پرتوهای با انرژی E میباشد که دانسیته ای معادل d در ناحیه i - ام فیلم بوجود آورد. همچنین $R_i(E)$ حساسیت نسبی ناحیه i - ام فیلم در انرژی E ، برابر است با:

$$R_i(E) = \frac{S_i(E)}{S_i(E = 1.25 \text{ MeV})} \quad (2)$$

از روابط ۱ و ۲ خواهیم داشت:

$$R_i(E) = \frac{X_i(E = 1.25 \text{ MeV})}{X_i(E)} \quad (3)$$

منحنی مشخصه (منحنی تغییرات دانسیته به پرتوگیری) فیلمهای کالیبراسیون و فیلمهای یکسره با انرژیهای مختلف پرتوگیری کرده اند، رسم و از روی این منحنیها حساسیت نسبی هر ناحیه در برابر انرژیهای مختلف بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد. علیرغم تشابه شکل منحنیهای مشخصه فیلم در

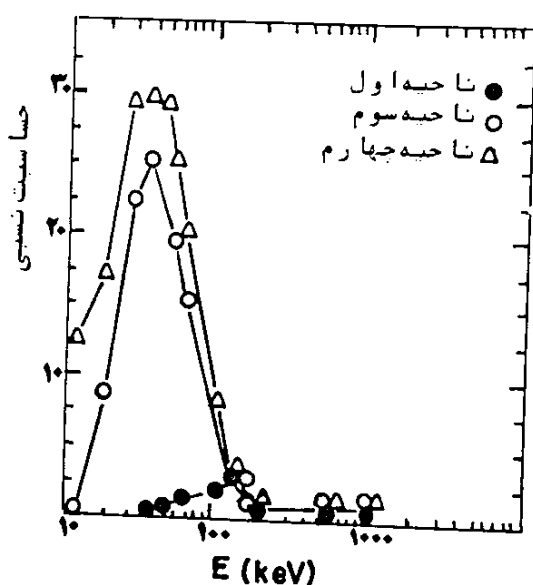
انرژیهای مختلف، حساسیت نسبی بسازاء دانسیتههای مختلف تغییراتی جزئی نشان میدهند. برای همین منظور حساسیت نسبی در $d=1$ ، $d=2$ ، $d=3$ و $d=4$ محاسبه و میانگین آنها ملاک عمل قرار گرفت. منحنی تغییرات حساسیت نسبی هر ناحیه در انرژیهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. فرض کنید دانسیته یک ناحیه از فیلمی برابر d باشد. اگر D_i دز ظاهری مربوط به دانسیته d از منحنی کالیبراسیون ناحیه اول تعیین شود، کمیت مزبور در حقیقت $X_i(E = 1.25 \text{ MeV})$ خواهد بود. لذا

بنا به رابطه ۳ خواهیم داشت:

$$X_i(E) = \frac{D_i}{R_i(E)} \quad (4)$$

در نتیجه با درست داشتن $R_i(E)$ پرتوگیری فیلم را سهولت میتوان بدست آورد.

کمیت $F_i(E) = 1/R_i(E)$ را اصطلاحاً "فاکتور تصحیح برای دز ظاهری ناحیه i - ام در انرژی E نامیده میشود.



شکل ۳. تغییرات حساسیت نسبی فیلم نسبت به انرژی فوتونها.

یافته‌ها و بررسی آنها

در این جدول فیلم‌های $D2$ و $D10$ همان فیلم‌های $D10$ و $D2$ آگفا است که پس از تراشیدن لایه امولسیون یکطرف آنها بدست آمده است.

همچنین منظور از فیلم کدک ۲ همان فیلم کدک ۱ پس از تراشیدن لایه حساس تر آن است.

مقدار گاما یا شیب منحنی مشخصه یعنی در حقیقت تمایز سایه و روشن دو ناحیه مجاور برای فیلم آگفا برابر $4/5$ و برای فیلم کدک برابر $3/5$ بدست آمد. در نتیجه اگر در یک دژ مشخص سایه فیلترها روی فیلم کدک ملاحظه نشود، ممکن است همان دژ مشخص تصویر سایه را روی فیلم آگفا معلوم سازد.

تعیین انرژی موثر فوتون‌های عمده "انرژی نشان" بیشتر از 200 keV می باشد توسط دژ متری فیلم بیج یا فیلم‌های آگفا امکان پذیر نیست. اما در انرژی‌های کمتر بعلاوه تفاوت‌هایی در حساسیت نسبی نواحی مختلف فیلم، می‌توان انرژی موثر فوتون‌ها را تعیین کرد. برای این منظور منحنی تغییرات $R_3(E)/R_1(E)$ و $R_4(E)/R_3(E)$ برای انرژی‌های مختلف رسم شده است. بطوریکه در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، برای $200 \text{ keV} < E < 70 \text{ keV}$ از منحنی الف و برای $70 \text{ keV} < E < 20 \text{ keV}$ از منحنی ب این شکل می‌توان انرژی فوتون‌ها را بدست آورد.

با توجه به تعاریفی که برای حساسیت نسبی و دژ ظاهری بعمل آمده است، نسبت حساسیت نسبی دو ناحیه برابر نسبت دژ ظاهری آن دو ناحیه است. بنابر این جهت سهولت در عمل کافی است که نسبت دژ ظاهری نواحی اول به سوم و یا چهارم به سوم بدست آورده شود و سپس از منحنی‌های شکل ۴ انرژی موثر فوتون تعیین گردد.

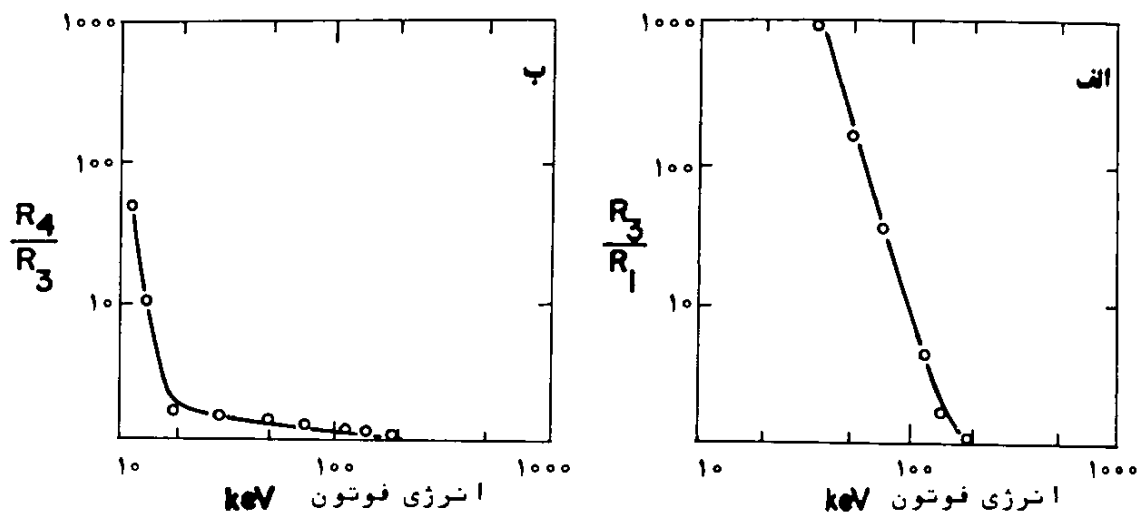
تغییرات فاکتور تصحیح برای نسبت‌های $R_3(E)/R_1(E)$ و $R_4(E)/R_3(E)$ که بترتیب معادل D_3/D_1 و D_4/D_3 هستند جهت تعیین پرتوگیری در منحنی‌های شکل ۵ نیز داده شده است.

بارسم منحنی تغییرات حساسیت نسبی در انرژی‌های مختلف ملاحظه گردید که حساسیت نسبی ناحیه چهارم فیلم‌های آگفا در انرژی بین 40 تا 50 keV برابر $3/2$ است. این مقدار در مقایسه با فیلم‌های کدک $1/3$ برابر افزایش نشان می‌دهد. در انرژی‌های بیشتر از 70 keV حساسیت نسبی ناحیه اول تقریباً برابر یک و تقریباً مشابه فیلم‌های کدک می‌باشد. به همین علت سایه فیلترهای بیج روی فیلم‌های آگفا بهتر از فیلم‌های کدک مشخص می‌شود.

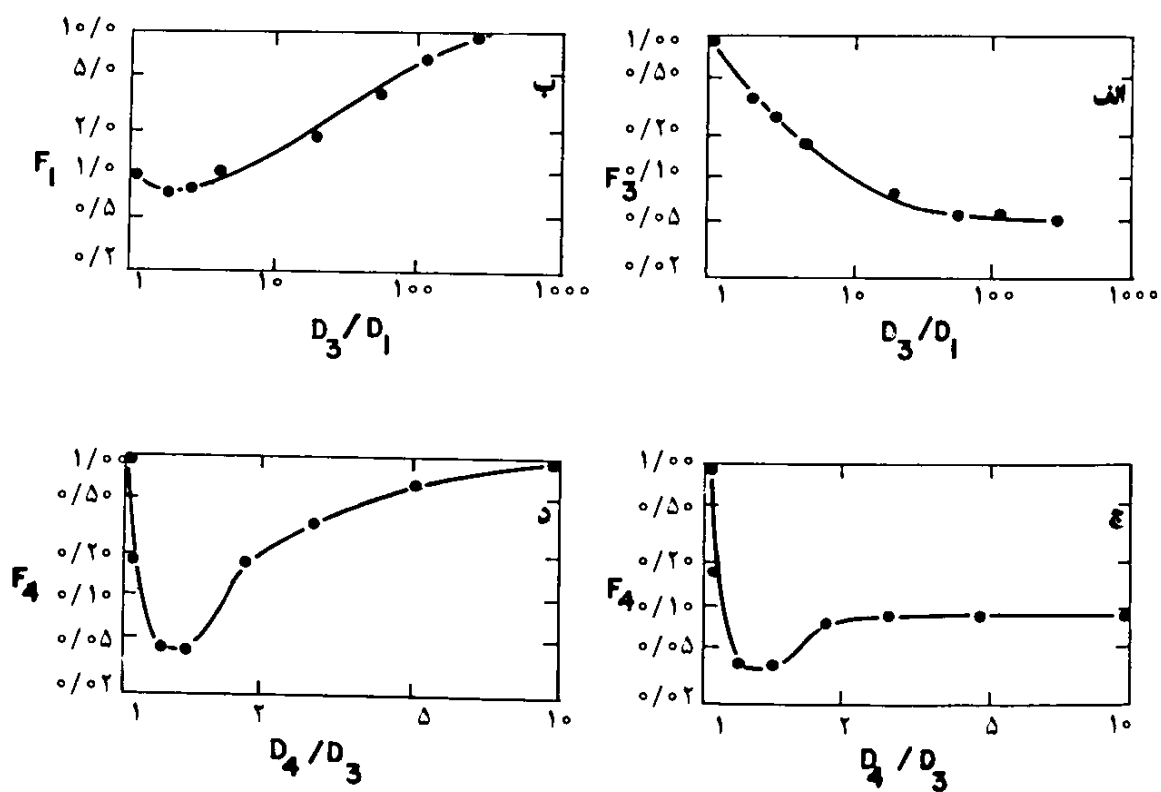
بالا بودن حساسیت نسبی در انرژی بین 40 تا 50 keV موجب کاهش محدوده دژ قابل اندازه‌گیری در انرژی‌های مزبور خواهد شد. نتایج مربوط به دژ قابل اندازه‌گیری توسط فیلم‌های کدک و آگفا در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- محدوده دژ قابل اندازه‌گیری

نوع فیلم	انرژی فوتون keV	محدوده دژ (میلی گری)
D10	40	1/5 - 0/02
D'10	40	4 - 0/04
D2	40	1 - 40
D'2	40	2 - 100
D10	بیشتر از 200	0/3 - 25
D2	" "	11 - 700
D'10	" "	0/60 - 100
D'2	" "	22 - 1400
کدک ۱	" "	0/30 - 35
کدک ۲	" "	5 - 250



شکل ۴. نسبت حساسیت نواحی مختلف فیلم برحسب انرژی.



شکل ۵. منحنی تغییرات ضرایب تصحیح برای نواحی مختلف فیلم.

الف- رابطه تجربی

اگر ترکیبی از حساسیت نسبی نواحی اول و سوم و چهارم طوری وجود داشته باشد که برای انرژی‌های مختلف فوتون، جمع جبری آنها برابر یک شود، در این صورت با جایگزین کردن دز ظاهره‌ی بجای حساسیت نسبی میتوان پرتوگیری حقیقی فیلم بجای بدست آورد.

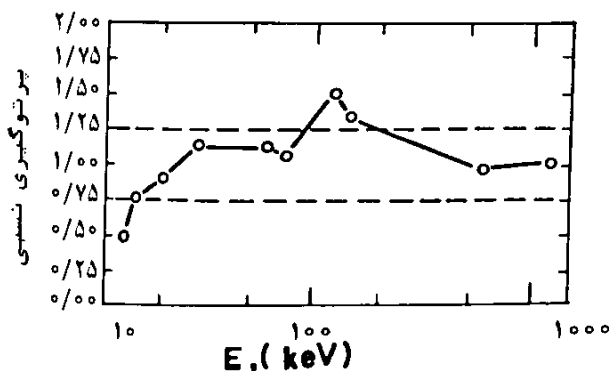
برای این منظور رابطه زیر در نظر گرفته شد:

$$R_1(E) + a R_3(E) + b R_4(E) = 1 \quad (5)$$

بازاء هریک از انرژی‌های مندرج در جدول ۱ مقادیر $R_1(E)$ و $R_3(E)$ و $R_4(E)$ از منحنی‌های شکل ۴ تعیین و در رابطه ۵ قرار داده شد. بدین ترتیب معادلات زیادی با دو مجهول a و b بدست آمد. میانگین جوابهای a برابر $0.04-$ و میانگین جوابهای b برابر $0.07+$ بود. در نتیجه فرمول محاسبه دز فوتونها بصورت زیر پیشنهاد میشود:

$$D = D_1 - 0.04 D_3 + 0.07 D_4 \quad (6)$$

در اثر تولید پرتوهای ثانویه در زیر فیلتر قلع و سرب، حساسیت نسبی ناحیه اول در انرژی بین 85 keV تا 200 keV از یک تجاوز می نماید. منحنی حساسیت



شکل ۶. تغییرات نسبی نتایج پرتوگیری نسبت به انرژی فوتونها با استفاده از رابطه ۶.

با بررسی منحنی‌های شکل ۴ و ۵ ملاحظه میشود که در انرژی‌های بیشتر از 40 keV نسبت D_3/D_1 کمتر از 0.5 بوده و تغییرات فاکتور تصحیح برای ناحیه اول نسبتاً "جزئی" میباشد در نتیجه مناسب ترین ناحیه برای دزیمتری فوتونهای مزبور ناحیه اول فیلم بج است.

در انرژی‌های بین 20 keV تا 40 keV نسبت D_3/D_1 زیاد شده و با افزایش D_3/D_1 شیب منحنی تغییرات فاکتور تصحیح ناحیه اول تند شده و تعیین دقیق فاکتور تصحیح برای این ناحیه مشکل خواهد بود. در نتیجه در چنین مواردی توصیه میشود که از فاکتور تصحیح نواحی سوم یا چهارم که تغییرات آنها جزئی است استفاده شود. در انرژی‌های کمتر از 20 keV فقط میتوان از ناحیه چهارم برای دزیمتری استفاده نمود.

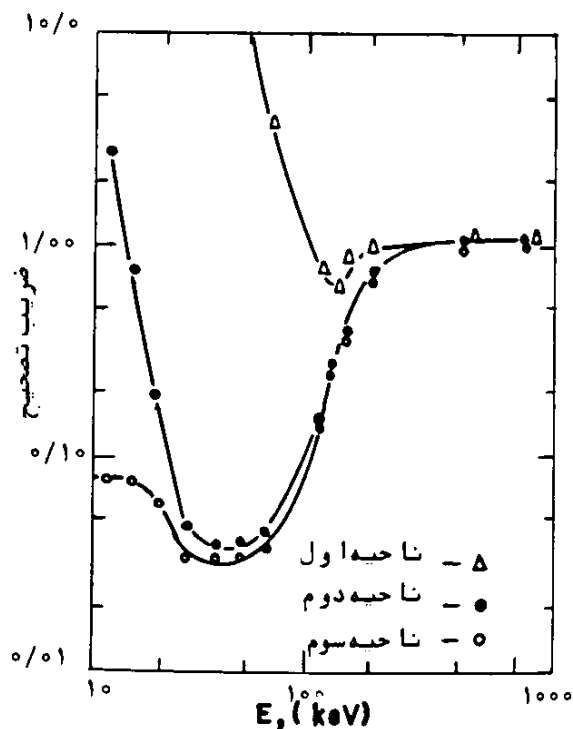
بنابراین دزیمتری فوتونها در یک طیف محدود با دقت کافی توسط فیلمهای آگفا امکان پذیر است. در شرایط عادی کار افرادی که از فیلم بج استفاده می نمایند معمولاً "انواع پرتوها با انرژی‌های مختلف وجود دارند. تاثیر متفاوت این پرتوها روی نواحی مختلف فیلم (اعم از کدک یا آگفا)، همچنین عدم توانائی کافی در تفکیک سهم هریک از آنها موجب شده که اجباراً "در روشهای دزیمتری فیلم بج، از یک سری تقریب‌ها و تجارب کاری استفاده گردد. اگر صرفاً یک نوع پرتو ولی با انرژی‌های مختلف روی فیلم اثر نماید، سیستم‌های نسبتاً ساده‌ای میتوان برای دزیمتری آنها پیدانمود. ولی اگر در معرض پرتوهای ایکس و گاما و بتا تواما "قرار گرفته باشد کسب نتیجه قابل قبول وقتی میسر است که از روشهای پیچیده و تجربه کافی کمک گرفته شود.

در اینجا چون حساسیت فیلمهای آگفا در مقابل فوتونها تعیین شده است، دو سیستم زیر برای دزیمتری مخلوط فوتونها با فیلمهای آگفا توصیه میشود و همواره فرض بر اینست که فیلم بج در معرض تابش پرتوهای بتا و نوترون قرار نداشته است.

نسبی فیلمهای آگفا نشان میدهد که این مقدار در انرژی ۱۳۵ keV بیشترین مقدار خود را دارد. بهمین علت خطای محاسبه دز فوتونها توسط رابطه (۶)، در محدوده انرژی فوق تا ۵۰٪ افزایش می یابد. شکل ۶ خطای نتایج دزیمتری فیلم بیج را توسط رابطه مزبور در انرژی های مختلف فوتون نشان میدهد.

ب - روابط شرطی

منحنی تغییرات فاکتور تصحیح نواحی اول، سوم و چهارم در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به منحنی های این شکل و همچنین با توجه به اینک حساسیت نسبی ناحیه اول در انرژی های کمتر از ۳۰ keV برابر صفر میباشد. حدود انرژی فوتونها را به سه گروه تقسیم بندی کرده و روابط مناسب برای تعیین پرتوگیری، در هر گروه براساس نسبت های D_3/D_1 و D_4/D_3 تعیین گردید (جدول ۳).



شکل ۷. منحنی تغییرات فاکتور تصحیح در نواحی اول، سوم و چهارم فیلم بیج.

اگر D_4/D_3 بزرگتر از ۱/۳ باشد، پرتوگیری فیلم عمدتاً "مربوط به گروه اول خواهد بود و هیچ اثری در ناحیه اول فیلم (زیرفیلتر قلع سرب) ندارد. در نتیجه دز ظاهری ناحیه اول صرفاً "ناشی از پرتوهای اقلیت در گروه دوم و سوم بوده که به مقدار جزئی روی فیلم تاثیر گذاشته اند.

جدول ۳- تعیین دز فوتونها در محدوده انرژی گروه های اول تا سوم.

مشخصات	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم
انرژی فوتونها	۱۰-۳۰ keV	۳۰-۷۰ keV	۷۰-۱۵۰۰ keV
D_3/D_1	۵۵۰-∞	۵۰-۵۵۰	۱-۵۰
D_4/D_3	۱/۳-∞	۱/۲-۱/۳	۱-۱/۲
دز فوتونها	$F_4 \cdot D_4$	$F_4 \cdot D_4$	$F_1 \cdot D_1$

در سه گروه مزبور ملاحظه میشود که دامنه تغییرات D_3/D_1 خیلی زیاد است. در نتیجه حتی اگر عمده ترین پرتوگیری فیلم ناشی از پرتوهای گروه اول باشد هر پرتوگیری جزئی، از انرژی های بالا، باعث کاهش قابل ملاحظه ای در نسبت مزبور میگردد. در صورتیکه تغییرات D_4/D_3 در سه گروه مزبور نسبتاً کم بوده و مشخص کننده انرژی اکثریت فوتونها ی رسیده به فیلم میباشد. بنابراین میتوان از نسبت D_4/D_3 برای گروه اکثریت و از نسبت D_3/D_1 برای تعیین گروه اقلیت استفاده نمود.

اگر D_4/D_3 بزرگتر از ۱/۳ باشد اکثریت پرتوگیری در گروه اول خواهد بود. در این حالت چنانچه دز ظاهری ناحیه اول محسوس باشد، احتمال اقلیت پرتوگیری ناشی از انرژی های گروه های دوم و سوم وجود دارد و رابطه مناسب برای محاسبه دز بصورت زیر پیشنهاد میشود.

$$D = F_4 \cdot D_4 + D_1 \quad (۷)$$

در اینجا فاکتور تصحیح ناحیه اول برابر یک فرض شده

ج - روش عملی

اگر دانسیته نواحی مختلف فیلم فردی برابر دانسیته فیلم کنترل باشد وسایه هیچ یک از فیلترها دیده نشود، این فیلم پرتوگیری قابل ملاحظه ندارد و پرتوگیری آن کمتر از حداقل حساسیت فیلم آگفا خواهد بود. عبارت دیگر حداکثر پرتوگیری آن از پرتوهای انرژی پرتوهای انرژی بالا $0/3$ میلی گری و از پرتوهای انرژی متوسط و پائین $0/05$ میلی گری است.

اگر پرتوگیری فیلم از مقدار یرو فوق بیشتر باشد سایه فیلترها روی فیلم دیده میشود. گاهی اوقات بعلم نامناسب بودن محل نگهداری فیلم کنترل، ممکن است دانسیته فیلم پرسنلی حتی کمتر از فیلم کنترل شود. در اینگونه مواقع اگر سایه فیلترها روی فیلم پرسنلی دیده شود باید دانسیته تقریبی جدیدی برای فیلم کنترل د نظر گرفت و پرتوگیری آن را محاسبه کرد. بالا بودن قدرت تمایز سایه روی فیلم آگفا (نسبت به فیلمهای کداک) کمک موثری در تفکیک فیلمهای پرتو دیده می کند. اگر دانسیته نواحی ۵ و ۶ بطور محسوس از سایر نواحی بیشتر باشد فیلم احتمالا "در معرض تابش پرتوهای بتا قرار داشته است. تاثیر پرتوهای بتا روی نواحی مختلف تقریبا " مشابه با فوتونهای کم انرژی ($E = 22 \text{ keV}$) بوده و عملا " تفکیک آنها از یکدیگر مشکل است. نظریه اینکه روش محاسبه دز برای این دونوع پرتو تفاوت دارد، باید قبل از هر اقدامی تکلیف چگونگی روش محاسبه دز را تعیین کرد. گاهی اوقات از کیفیت کار در مرکز استفاده کننده فیلم بچ و یا اطلاعات جانبی موجود، میتوان روش مورد نظر را انتخاب کرد. اما همیشه مقدور نخواهد بود. قبلا " اشاره شد که تمایز سایه ها روی فیلم آگفا بهتر صورت می گیرد. از این خاصیت میتوان برای تشخیص پرتوگیری بتا استفاده کرد. همانطور که میدانید ناحیه دوم فیلم در زیر فیلترهای کادمیم، سرب و پلاستیک قاب بچ، و ناحیه سوم در زیر فیلتر آلومینیم و پلاستیک قاب بچ قرار دارد. پرتوهای کم انرژی فوتون و پرتوهای بتا قادر به نفوذ در این نواحی

است. زیرا اگر انرژی فوتونهای اقلیت از 200 keV بیشتر باشد این فاکتور خود بخود برابریک خواهد بود. ولی اگر انرژی بین 30 keV تا 200 keV باشد این فاکتور بیشتر از یک میشود که در نتیجه دز ظاهری ناحیه اول کمتر از مقدار واقعی تخمین زده خواهد شد. اما در عوض دز ظاهری ناحیه چهارم بیشتر از حد واقعی تخمین زده میشود و نهایتا " یکدیگر را خنثی می نمایند.

اگر D_4/D_3 بین $1/3$ و $1/2$ باشد، اکثریت پرتوگیری مربوط به گروه دوم است. در این حالت دز ظاهری ناحیه اول قابل ملاحظه است. لذا باید سهم پرتوگیری اقلیت مربوط به گروه سوم تشخیص داده شود. برای این منظور از نسبت D_3/D_1 استفاده میشود. اگر D_3/D_1 بیشتر از 50 باشد پرتوگیری اقلیت وجود نداشته و دز فوتونها از رابطه زیر باید محاسبه شود:

$$D = F_4 \cdot D_4 \quad (8)$$

ولی اگر D_3/D_1 کمتر از 50 باشد احتمال پرتوگیری از گروه اقلیت وجود دارد که در این حالت رابطه ۷ برای محاسبه دز فوتونها صادق خواهد بود.

اگر D_4/D_3 کمتر از $1/2$ باشد، اکثریت پرتوگیری مربوط به گروه سوم بوده و برای محاسبه دز فوتونها رابطه زیر پیشنهاد میشود:

$$D = F_1 \cdot D_1 \quad (9)$$

در جدول ۴ خلاصه روابط شرطی برای محاسبه دز مخلوط فوتونها توسط فیلم بچ نوشته شده است.

جدول ۴- روابط شرطی برای محاسبه دز مخلوط فوتونها

D_3/D_1 D_4/D_3	بزرگتر از 50	کوچکتر از 50
کوچکتر از $1/2$	$D = D_1 \cdot F_1$	$D = D_1 \cdot F_1$
$1/2 - 1/3$	$D = D_4 \cdot F_4$	$D = D_4 \cdot F_4 + D_1$
بزرگتر از $1/3$	$D = D_4 \cdot F_4 + D_1$	$D = D_4 \cdot F_4 + D_1$

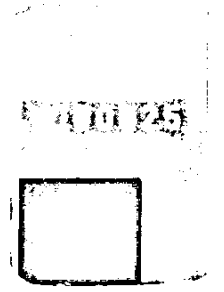
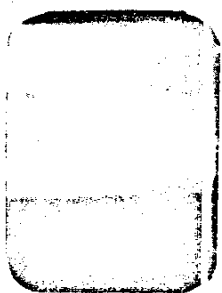
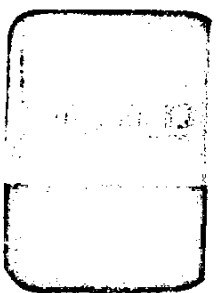
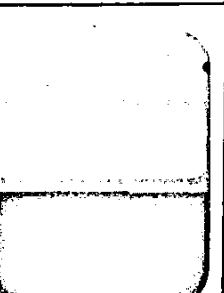
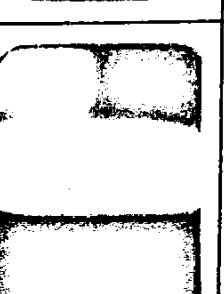
نیستند. درمرزبین این دوناحیه فیلترهای فلزی از یکدیگر جدا بوده و نتیجتاً فقط پلاستیک قاب بچ مانع نفوذ پرتوهای در این مرز خواهد بود. چون برد بتا در مقایسه با فوتون به بعدداتی ماده جذب کننده کمتر بستگی دارد (۱۲)، در همان فیلتر پلاستیکی کاملاً جذب میشود. درمورتیکه سهمی قابل ملاحظه از فوتونیا نفوذ کرده و به فیلم می رسند. به همین مناسبت چنانچه فیلم در معرض فوتونهای کم انرژی قرار گرفته باشد، تصویر برزبین نواحی دوم و سوم روی فیلم باید دیده شود. در فیلمهای کدک اغلب این تصویر غیر قابل رویت و یا خیلی ضعیف است. امسا تصویر آن روی فیلمهای آگفا به وضوح مشاهده میشود. بدین ترتیب به سهولت در اکثر مواقع میتوان پرتوگیری بتا را از فوتونهای کم انرژی تشخیص داد.

گاهی اوقات روی فیلم سایه های غیر عادی وجود دارد. این سایه ها الزاماً در اثر عدم استفاده صحیح از دزیمتر بوجود نمی آیند، بلکه ممکن است موانع طبیعی موجود در محیط کار (نظیر میز کار، پاراوان، دیواره سربی و غیره...) عامل تشکیل تصاویر غیر عادی روی فیلم باشند.

بهرحال این سایه ها باعث تغییر نسبت حساسیت در زیر فیلترها شده و تعیین محدوده انرژی فوتونیا و روش محاسبه، با اشکال روبرو میشود. لذا در صورت مشاهده سایه های غیر عادی روی فیلم باید بطور تجربی محدوده انرژی را حدس زد. دیدیم که حساسیت فیلم در انرژی های بیشتر از ۲۰۰ keV برای تمام نواحی یکسان است. بنابراین قاعدتاً "باید روی فیلمی که درون بچ تحت تابش چنین پرتوهائی قرار گرفته، سایه هیچ فیلتری دیده نشود بعبارت دیگر تصویر آن فیلم باید با تصویر فیلمی که بدون بچ پرتوگیری کرده، مشابه باشد (تصویر ۱، شکل ۸). اما در عمل سایه فیلترهای هر فیلمی که درون بچ پرتوگیری نماید به وضوح دیده میشود. زیرا در انرژی های بالا، در اثر برخورد فوتون با مواد موجود در محیط انتشار خود، پرتوهای ثانویه با انرژی کم تولید میشود. این پرتوهای کم انرژی باعث

تمایز سایه ها در نواحی مختلف فیلم میشوند. گاهی چشمه های رادیواکتیو نظیر کبالت ۶۰ با سزیم ۱۳۷ کد مولد پرتوهای بتا و گامای پرتوهای هستند، به منظور پیشگیری از آلوده سازی محیط درون ظرف کپسول مانندی قرار دارند. این ظروف باعث جذب پرتوهای بتا شده و نتیجتاً "فوتونهای ایکس کم انرژی (پرتو ترمزی) تولید می کنند. این فوتونهای نیز باعث تمایز سایه نواحی مختلف میگردند. در تصویر ردیف ۲ شکل ۸ ملاحظه میشود که در اثر حضور دیواره سربی حفاظ، در پشت چشمه کبالت ۶۰ و همچنین پرتوهای ایکس ترمزی نواحی ۵ و ۶ روشن تر از سایر نواحی شده است. اگر بنحوی از تابش کلیه پرتوهای ثانویه به فیلم بچ مانع شود، نقصان آنها یک اثر معکوس روی فیلم بوجود می آورد (تصویر ردیف ۳ شکل ۸)، یعنی نواحی ۵ و ۶ تاریک تر از سایر نواحی میشود. این حالت ظاهراً عجیب است زیرا آن نواحی که توسط فیلترهای قوی تر پوشیده شده پرتوگیری بیشتری نشان میدهد.

در شرایط عادی آن پرتوهای ثانویه که در اثر برخورد با ملکولهای هوا ایجاد میشوند، بعلت کم انرژی بودن، بیشترین اثر را روی ناحیه ۶ (پنجره) خواهند داشت. در عوض درصدی از پرتوهای اولیه که مستقیماً به دزیمتر می رسند نیز در برخورد با فیلترها تبدیل به پرتوهای ثانویه شده و این پرتوهای ثانویه فقط در زیر همین فیلترها روی فیلم اثر می گذارند. در نتیجه تمام نواحی فیلم تقریباً بطور یکسان در معرض پرتوهای اولیه و ثانویه قرار میگیرد. حال چنانچه به وسیله دیافراگمهای مختلف از رسیدن پرتوهای ثانویه محیطی به فیلم جلوگیری شود، پرتوهای ثانویه ناشی از فیلترهای فلزی همچنان در نواحی مربوطه تاثیر گذارده و موجب افزایش حساسیت، در آن نواحی میگردند. اگر موانع یا مواد اضافی در نزدیکی چشمه و یا دزیمتر قرار داشته باشد پرتوهای ثانویه محیطی افزایش یافته و باز تعادل را بهم میزند و ناحیه بدون فیلتر یا ناحیه هایی که توسط فیلترهای پلاستیکی پوشانده شده اند حساسیت بیشتری نشان میدهند. ردیف ۴ شکل ۸ عکس فیلمی

ردیف	تصویر فیلم	شرایط پرتوگیری	ردیف	تصویر فیلم	شرایط پرتوگیری
۱		- فیلم بدون بچ - به نوع پرتو بستگی ندارد	۵		- عادی - فیلم درون بچ - دستگاه مولد ایکس - انرژی فوتونها ۱۵۰ keV
۲		- عادی - فیلم درون بچ - پرتوهای ثانویه زیاد - چشمه کبالت ۶۰ - انرژی فوتونها ۱۲۵۲ keV	۶		- عادی - فیلم درون بچ - دستگاه مولد ایکس - انرژی فوتونها ۳۰ keV
۳		- خاص - فیلم درون بچ - پرتوهای ثانویه کم - چشمه کبالت ۶۰ - انرژی فوتونها ۱۲۵۲ keV	۷		- عادی - فیلم درون بچ - دستگاه مولد ایکس - انرژی فوتونها ۱۵ keV
۴		- کالیبره کردن - فیلم درون بچ - پرتوهای ثانویه متعادل - چشمه سزیم ۱۳۷ - انرژی فوتونها ۶۶۰ keV	۸		- عادی - فیلم درون بچ - چشمه استرانسیم ۹۰ - انرژی بتا ۱۱۲۰ keV

شکل ۸. تصاویر فیلمهای آگفا در شرایط پرتوگیری مختلف .

است که در معرض تابش پرتوهای گامای ^{137}Cs قرار گرفته است. هنگام پرتو دهی این فیلم هیچ وسیله اضافی در اطراف چشمه و یا فیلم وجود نداشته و حتی از مواردی سبک نظیر پلکسی گلاس یا چوب برای نگهداشتن چشمه و دزیمر استفاده شده است (به سیستم کالیبراسیون گاما در شکل ۲ مراجعه شود). بطوریکه ملاحظه میشود، تقریباً "شدت تصویر در تمام نواحی یکسان است. در محدوده انرژی بین ۴۰ keV تا ۲۰۰ keV نواحی ۱ و ۲ بوضوح بیشتر از سایر نواحی متاثر میگردند (تصویر ردیف ۵ شکل ۹). در محدوده انرژی بین ۲۰ keV تا ۵۰ keV، تدریجاً "اختلاف ناحیه سوم با ناحیه چهارم مشخص میگردد.

در انرژیهای کمتر از ۲۰ keV، فقط نواحی ۵ و ۶ پرتوگیری قابل ملاحظه‌ای نشان میدهند. برای تشخیص بهتر محدوده پرتوگیری میتوان از خطوط ایجاد شده در حدفاصل نواحی ۱ و ۲ و همچنین در حدفاصل نواحی ۲ و ۳ نیز استفاده کرد. نواحی ۱ و ۲ هر دو در زیر یک قطعه فیلتر سربی و پلاستیک قاب بچ قرار دارند. روی ناحیه ۱ علاوه بر دوفیلتر مزبور یک فیلتر قلع و روی ناحیه ۲ یک فیلتر کادمیم قرار گرفته است. در نتیجه در حدفاصل این دو ناحیه فقط فیلترهای مشترک آنها وجود دارد. اگر انرژی پرتوها بیشتر از ۲۰ keV باشد، تقریباً "بدون کاهش محسوس از این نواحی عبور کرده و تفاوتی در این دو ناحیه مشاهده نمیشود. در انرژی بین ۴۰ keV تا ۲۰۰ keV کاهش پرتوها در این دو ناحیه محسوس بوده ولی در حدفاصل آنها نفوذ پرتو بیشتر است. در نتیجه در این محدوده یک خط تیره روی فیلم بین نواحی ۱ و ۲ دیده خواهد شد.

در محدوده انرژی ۴۰ keV تا ۲۰ keV، انرژی فوتونها بقدری کم است که قادر به نفوذ از فیلتر سربی مشترک این دو ناحیه نبوده و در نتیجه این خط محسو میگردد. در انرژیهای کمتر از ۲۰ keV نیز همانطور که قبلاً گفته شد یک خط تیره در شیار بین نواحی ۲ و ۳ دیده میشود. لذا چنانچه روی برخی از نواحی فیلم

سایه‌های غیر عادی ملاحظه شود، بطوریکه نتوان نسبت حقیقی حساسیت نسبی نواحی مختلف را بدست آورد. باید محدوده انرژی بطریق یاد شده تخمین زده شود و بر اساس جدول ۲ روش مناسب دزیمتری پیدا شود.

نتیجه‌گیری

این بررسی موید اینست که بخوبی میتوان از فیلم آگفا بجای کدک در بچ AERE/RPS استفاده کرد. کلیه اطلاعات لازم در مورد فیلمهای آگفا تهیه و روشهای مناسبی برای دزیمتری آنها بدست آمده است.

اگر این دزیمر در معرض یک نوع پرتو قرار گیرد خطای محاسبات کمتر از $\pm 10\%$ و اگر در معرض پرتوهای مختلف قرار داشته باشد، این خطا حداکثر برابر $\pm 20\%$ است. بعلت مجزا بودن فیلمهای حساسیت کم و زیاد آگفا تعیین پرتوگیریهای زیاد با سهولت بیشتری انجام میشود. برجسته‌ترین مزیت فیلم آگفا زیاد بودن شیب منحنی کالیبراسیون آن است زیرا این خاصیت بسیاری از اشتباهات احتمالی را از بین میبرد.

بعنوان مثال اگر فیلم کنترل در شرایط جوی مشابه با فیلم پرسنلی نگهداری نشود، پس از مراحل ظهور اختلاف دانسیته بین دو فیلم مشاهده میشود. در نتیجه علیرغم عدم پرتوگیری نتیجه‌ای در حدود ۵/۰ تا ۱۰ میلی‌گری برای فیلم فردی بدست می‌آید. اگر این نتیجه برای کسی که اصلاً "در معرض پرتوها نبوده ارسال شود، شدیداً "اذهان عمومی را نسبت به دقت دزیمر مزبور مخدوش می‌سازد.

متأسفانه بعلت عدم توجه برخی از استفاده‌کنندگان فیلم بچ به شرایط نگهداری فیلم، چنین مواردی در عمل زیاد مشاهده میشود.

افزایش شیب منحنی مشخصه فیلمهای آگفا و نتیجه "تشخیص بهتر سایه‌ها تا حدودی از بروز خطاهای احتمالی جلوگیری می‌نماید.

حداکثر دز قابل اندازه‌گیری توسط فیلمهای آگفا کمتر از فیلمهای کدک است. ولی در شرایط فعلی کار،

برای استفاده کنندگان فیلم بیج در ایران، که اکثر آنها در مراکز غیر اتمی هستند، مشکلی بوجود نخواهد آورد. نتیجه حجم کار لازم جهت ظهور آنها دو برابر فیلمهای کدک است. این مسئله تنها ایراد بزرگ فیلم آگفا نسبت به فیلم کدک میباشد.

References

- ۱- مدارک موجود در سرویس دزیمتری فردی فیلم بیج امور حفاظت در برابر اشعه، سازمان انرژی اتمی ایران.
- 2- N. Adams, M.J. Heard and P.D. Holt, Film Dosimetry Practice With The AERE/PRS Film Holder, AERE-R-4669 (1965).
- 3- M.J. Heard, Photographic Radiation Dosimetry And The Development of The AERE/RPS Film Dosimeter, J. Phot. Sci. 13,32 (1965).
- 4- B.E. Jones and T.O. Marshall, The Dosimetry of Mixed Radiations Involving More Than One Energy or Type of Radiation With The AERE/RPS Film Dosimeter, J. Phot. Sci. 12, 319 (1964).
- 5- M.J. Heard and B.E. Jones, A New Film Holder For Personnel Dosimetry, ENEA, OECD, P.89 (1963).
- 6- A.K. Burt and J.W. Smith, Film Dosimetry With AERE/RPS Film Holder, AERE-R-6156 (1972).
- 7- M.J. Hill, Dose Assessment For CEGB Users of the kodak Type 2 Film Used in the NRPB/AERE Holder, CEGB-RD/B/N4870 (1980).
- 8- Agfa-Gevaert Personal Monitoring 2/10 Film Set For Dosemeter, Technical Information, B-2510, Mortsel/Belgium, 21, 7178 (1984).
- 9- R.A. Dudley, Dosimetry With Photographic Emulsions, Radiation Dosimetry, Edited by F.H. Attix, W.C. Roesch and E. Tochilin, Vol.2, P. 379 (1966).
- 10- International Atomic Energy Agency, Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Tech, Report Series No. 133, IAEA Vienna (1971).
- 11- H.E. Johns and J.E. Cunningham, The Physics of Radiology, third Edition, Chap. XVI, P. 606 (1971).

FILM BADGE DOSIMETRY USING AGFA FILMS

S. Borhan Azad
Radiation Protection Department
Atomic Energy Organization of Iran
P. O. Box 14155-4494, Tehran
Islamic Republic of Iran

ABSTRACT

In this paper, the use of Agfa - Gevaert personal monitoring films instead of Kodak personal monitoring films type 2, in the AERE/RPS badge was investigated. As expected, differences were found between the two types of films based on the dose range, photon energy dependence and film contrast. An empirical formula was deduced to give a reasonably accurate ($\pm 20\%$) estimate of the total dose, in the region of 10-2000 keV excluding 85-200 keV region, which belongs to a maximum error for 135 keV ($\pm 50\%$), caused by reverse effect of tin/lead filter. However considering the different user's working conditions in Iran, the application of the empirical formula is not recommended. Also response studies of Agfa films inside the badge showed that there is a rational relation between different regions on film response ratio, and photon energy and as the fluctuations of correction factors on those regions remain almost constant ($\pm 20\%$) in different energy ranges, the suitable graphical methods can be easily applicable for determining effective energy and proper film region for dosimetry. Also all correction factors and details of dose evaluation which are necessary in graphical method were determined. Another part of this work was investigation of the image quality of badge filters at different exposure conditions on Agfa films. This investigation shows that almost always can be estimated by precise observation of images, and it makes it possible to evaluate the dose in some irregular films.