# بهبود پاسخ آشکارسازهای CR-39 در میدان های نوترون سریع جهت بکارگیری در دزیمتری فردی

سمانه برادران[۱]-فلامرز ترک زاده[۲]-مهران طاهری[۱]-منصور جعفری زاده[۳و۱]-مجید رضا صادقخانی[۱]

۱- امور حفاظت در برابر اشعه-سازمان انرژی اتمی
۲- پژوهشکده علوم هسته ای -پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای
۳- پژوهشکده علوم هسته ای -پژوهشکده تحقیقات کشاورزی ، پزشکی و صنعتی

**چکیده:**

آشکارسازهای خورش رد پای هسته ای حالت جامد،کاربرد وسیعی در دزیمتری نوترون دارند. این آشکارسازها که از مواد آلی تشکیل شده اندبا نام های تجاری از قبیل LR115, CR-39 وPC (پلی کربنات) می باشند. هدف از این تحقیق بهینه سازی شرایط آشکارسازی فیلم CR-39 از شرکت (Gamma Sonics) و مقایسه پاسخ آن با فیلم پلی کربنات می باشد. با توجه به آزمایشات انجام شده شرایط بهینه آشکارسازی شامل: خورش شیمیایی برای CR-39 (نرمالیته محلول خورش:N NaOH ۹، دمای حمام: $^{o}$ ۸۰ زمان خورش: ۵ ساعت) و الکتروشیمیایی (نرمالیته محلول خورش:N NaOH ۹ ، شدت میدان: kV/cm ۳۲، زمان خورش: ۵ ساعت) حاصل شده است. نتایج حاصل از شمارش فیلم های CR-39 و PC (پلی کربنات) پرتو دیده پس از انجام عملیات خورش نشان می دهند که بعد از پرتودهی در مقابل چشمه Am-Be حساسیت و پاسخ فیلم های CR-39 حدود ۴۰ برابر نسبت به فیلم های پلی کربنات خورش شده با شرایط(خورش الکترو شیمیایی با محلول PEW با درصدهای وزنی ٪۴۵آب، ٪۴۰ اتانول(الکل)و ٪۱۵پتاس،) و ۱۴ برابر نسبت به فیلم های پلی کربنات خورش شده با شرایط (خورش الکتروشیمیایی با محلول PMW با اتیلن دیامین، ٪ ۴۰ متانول،٪ ۲۵ آب،٪ ۲۰ اتیلن دیامین و٪ ۱۵ پتاس) بالاتر است که این امر در بهبود حساسیت دزیمترهای نوترون در میدان های نوترون سریع حائز اهمیت می باشد.

کلیدواژه: آشکارساز های خورش ردپای هسته ای-خورش الکترو شیمیایی وخورش شیمیایی – حساسیت و پاسخ فیلم CR-39- نوترون ها ی سریع-شرایط خورش.

**مقدمه:**

خدمات مونیتورینگ فردی نوترون برای آن عده از افراد که با چشمه های نوترون کار می کنند انجام می شود. مهمترین منابع تولید نوترون، چشمه های رادیوایزوتوپی نوترون ، رآکتورهای هسته ای و شتابدهنده ها به عنوان ژنراتورهای نوترونی می باشند. نوترون ها همچنین در جو کره زمین به عنوان ذرات ثانوی نیز تولید می شوند.

این نوترون ها در اثر برخورد پرتو های پر انرژی کیهانی (عمدتا پرتون ها) با جو زمین تولید می شوند. آشکارسازهای رد پای هسته ای حالت جامد ،آشکار ساز های مناسبی برای دزیمتری نوترون شناخته شده اند. از آنجایی که نوترون ها بدون بار هستند، ردپاهای ناشی از واکنش های هسته ای پس از ایجاد ذرات ثانوی باردار مانند پروتون های برگشتی و ذارت بار دار دیگر با انرژی های مشخص، توسط آشکارسازهای ردپای هسته ای حالت جامد SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector) ظاهر می شود. بنابراین در دزیمتری نوترون با استفاده از SSNTD ها دو دسته از ذرات باردار نقش اساسی در
ایجاد رد پاهای هسته ای دارند: ۱- اجزای شکافت یا ذرات باردار تولید شده در نتیجه واکنش های هسته ای۲- ثبت مستقیم ذرات برگشتی که عمدتا شامل پروتون های برگشتی در خود آشکارساز که ناشی از برخورد نوترون ها با هسته های تشکیل دهنده آشکارساز می باشد.

در سال های اخیر، موادآلی، مواد مناسبی برای ساخت آشکارساز های SSNTD شناخته شده اند. معروف ترین آشکارساز های حالت جامد رد پای هسته ای CR-39، LR115 و پلی کربنات (PC) می باشند. مهمترین تفاوت ها در پاسخ دزیمتر های رد پای هسته ای، ناشی از تفاوت در حساسیت ذاتی به ذرات باردار، روش آشکار سازی ردپاها و پیش خورش ها است. CR-39 ، یکی از پر کاربردترین آشکارساز SSNTD می باشد. نام شیمیایی آن Polyallyl Diglycol Carbonate (PADC) و فرمول شیمیایی آن $C_{12}H_{18}O_7$ است. CR-39 با انجام یک مرحله پیش خورش شیمیایی نسبت به پروتون ها حساس ترمی شود[۲]، آستانه آشکار سازی آن به زیر انرژیMeV ۰/۱ کاهش می یابد. پلی کربنات و CR-39 بدون انجام پیش خورش ، در انرژی های بالای MeV ۳ حساسیت کمتری نشان می دهند. با توجه به پاسخ های متفاوت این نوع دزیمترها نسبت به شرایط ذکر شده در بالا، با تغییر شرایط خورش می توان امکان هایی را برای بدست آوردن نتایج بهتر در دزیمتری فراهم آورد. CR-39 در بازه وسیعی از انرژی به پروتون ها حساس است و این بهترین دلیل برای انتخاب این پلیمر در آشکار سازی نوترون بر طبق موارد زیر است:

۱) منحنی سطح مقطع پراکندگی آن برای واکنش (n,p) وسیع و تغییراتش نسبت به انرژی کند است
۲) بیشترین انرژی از نوترون به پرتون انتقال می یابد ۳)برد پروتون های برگشتی خیلی بیشتر از دیگر ذرات برگشتی سنگین تر و ذرات آلفا می باشد همچنین پاسخ CR-39 در مقایسه باسایر پلیمر ها رضایت بخش تر است و فرآیند خورش شیمیایی برای این آشکار ساز دشواری چندانی ندارد. مجموعه این ویژگی ها بیانگر قابلیت بالای آشکار سازی نوترون های سریع می باشد و این برای اندازه گیری دز معادل بسیار مناسب است. با توجه به تحقیقات انجام شده، شرایط بهینه خورش را نمی توان پیش بینی کرد و برای هر نوع آشکارساز به صورت تجربی حاصل می شود. در عمل، مهمترین پارامترها برای کنترل سرعت خورش آشکارساز ها، دما،

غلظت و نوع ماده خورش، می باشد و شدت میدان خورش الکترو شیمیایی و فرکانس آن نیز عوامل موثر بر شکل گیری ردپاها هستند.

**روش ها و مواد مورد استفاده :**

برای بدست آوردن نرمالیته مناسب محلول خورش شمیایی برای آشکار سازی ذرات آلفا، ابتدا تعدادی فیلم پلی کربنات (PC) با چشمه $^{241}Am$ ، درفاصله ۱۰ mm هوا ( معادل انرژی ۴/۷۷MeV)پرتودهی گردید. برای انجام خورش شیمیایی از محلول NaOH با نرمالیته های ۶،۷،۸،۹و۱۰ استفاده شده است.

**پیش خورش شیمیایی:** در این پروسه، نیاز به محلول با نرمالیته خاص، حمام، پیاله های مخصوص با گیره های فلزی می باشد. فیلم های پرتو دیده به گیره های فلزی متصل شده و درون ظرف شامل محلول خورش قرار گرفته و سپس داخل حمام با درجه حرارت انتخاب شده قرارداده می شود.

**خورش الکترو شیمیایی:** خورش الکترو شیمیایی این امکان را فراهم می سازد که تخریب های ناشی از ترک ها بزرگ شده و بنابر این شمارش چشمی و یا اتوماتیک آنها آسان تر صورت پذیرد. در خورش الکترو شیمیایی ردپاها روی آشکارساز ها با اعمال میدان الکتریکی و با بکارگیری NaOH بعنوان محلول خورش رشد می کنند.

برای مقایسه بین پاسخ های فیلم های پلی کربنات و CR-39، تعدادی فیلم از هر نوع آشکارساز با ذرات آلفا با انرژی های مختلف به ترتیبMeV ۴/۷۷، MeV ۳/۸۸، MeV ۲/۸۰، ۴۹MeV / ۱ ( نمودار ۱) توسط چشمه آلفای $^{241}Am$ پرتودهی گردید. سپس، فیلم های پلی کربنات را با روش (Electro Chemical Etching) ECE (خورش الکترو شیمیایی ) با محلول خورش PEW با درصدهای وزنی (٪۱۵پتاس، ٪۴۰ اتانول(الکل)، ٪۴۵آب) به مدت ۳ ساعت (E=۳۲ kV/cm, f = ۲ kHz) [4] و فیلم های CR-39 با روش CE(Chemical Etching) (خورش شیمیایی) با محلول ۹ N NaOH به مدت ۵ ساعت در حمام با دمای $۸۰^{o}$ سانتی گراد، آشکار سازی گردیدند. پس از عملیات خورش، ابتدا تصاویر دیجیتالی فیلمها توسط سیستم اپتیکی (OLYMPUSE) و دوربین ( JVC,TK-1085E,color video camera) ، در کامپیوتر ذخیره گردیده و سپس با استفاده ازنرم افزار شمارش ردپا NTCS، ردپاهای آشکار سازی شده از فیلم زمینه تمایز داده شده و شمارش گردیدند[۳]. برای پرتودهی فیلم ها در میدان های نوترون سریع، از چشمه Am-Be استفاده گردیده وآشکارسازها بروی فانتوم استاندارد ISO با ابعاد $۳۰\times۳۰\times۱۵cm^{3}$، در فاصله یک متری از چشمه به قدرت $۱/۲\times۱۰^{۸}$ n/sec پرتودهی گردیدند.

**نتایج:**

با توجه به آزمایشات متعدد روی سه پارامتر دما، زمان وغلظت شرایط بهینه برای آشکارسازی CR-39 به ترتیب نرمالیته محلول خورشNaOH :N ۹ ، دمای حمام: $^{o}C$ ۸۰، زمان خورش: ۵ ساعت، نتیجه گردیدند. آزمایشها در دماهای مختلف ۶۰،۷۰،۷۵ ، ۸۰ و ۹۰ نشان می دهد که با افزایش دما پاسخ آشکارساز نیز افزایش می یابد اما از دمای بالای $^{o}C$ ۸۰ به علت تبخیر محلول خورش غلظت آن نیز تغییر می کند و بنابراین دمای $^{o}C$ ۸۰ به عنوان دمای بهینه انتخاب می گردد. مطالعه بروی غلظت های ۵،۶،۷،۸ ۹و ۱۰ نرمال نشان می دهد[2] که از نرمالیته ۸ به بالا پاسخ افزایش می یابد ولی در نرمالیته ۱۰ اشباع صورت می گیرد. در نتیجه، نرمالیته ۹N به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته می شود. با افزایش زمان خورش ، پاسخ نیز افزایش می یابد، ولی از طرفی کدر شدن سطح فیلم نیز با افزایش زمان خورش بیشتر می گردید. با توجه به این مساله ونتایج حاصل شده زمان ۵ ساعت به عنوان زمان بهینه انتخاب می گردد.

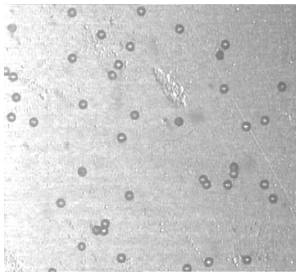
با اعمال شرایط بهینه خورش شیمیایی روی فیلم CR-39 مشاهده می شود که ردپا های روی فیلم به صورت دایره های توخالی (حبابی شکل) ظاهر می گردند. درپرتودهی فیلم های CR-39 و پلی کربنات با پرتو آلفا با توجه به شمارش فیلم ها بالاترین راندمان مربوط به انرژی ۱/۵MeV بوده است.همچنین مشاهده می شود که پاسخ CR-39 در پرتودهی با آلفا نسبت به پلی کربنات حدود۲۰٪ بیشتر است.

جدول شماره ۱ راندمان فیلم های پلی کربنات و CR-39 در پرتودهی با نوترون را نشان می دهد. همانطو رکه در این جدول ملاحظه می شود، پاسخ فیلم های CR-39 با استفاده از خورش شیمیایی با شرایط ذکر شده در بالا نسبت به پاسخ پلی کربنات با استفاده از خورش شیمیایی با محلول PEW در پرتو دهی با نوترون حدود ۴۰ برابر بیشتر است. این نتیجه با نتایج بدست آمده در مرجع شماره ۲ نیز هم خوانی دارد. استفاده از اتیلن دیامین باعث افزایش پاسخ فیلم پلی کربنات در پرتودهی با نوترون ها می شود که این افزایش به حرارت محیط بستگی دارد و در بهترین حالت در $^{o}$ ۲۵ سانتی گراد به سه برابر پاسخ PC با محلول PEW افزایش می یابد.

| آشکار ساز | محلول خورش | مبدل بور $^{10}B$ | حساسیت (Tracks/cm$^2$ mSv) |
|---|---|---|---|
| CR-39 | NaOH | ندارد | ۸۰۰ |
| PC | PEW | دارد | ۱۱۰۰ |
| PC | PEW | ندارد | ۲۰ |
| PC | PEdMW | ندارد | ۶۰ |

**جدول ۱- راندمان فیلم های پلی کربنات و CR-39 نسبت به پرتودهی با نوترون با دز ۵ mSv**

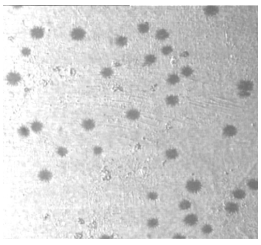
شکل های ۱و۲ رد پا در فیلم های CR-39 و پلی کربنات در پرتو دهی با $^{241}Am$ می باشد.



**۱- شکل ردپاهای ظاهر شده در فیلم CR-39**

**در اثر پرتودهی با آلفا با انرژی ۱/۴۹MeV**

(شرایط خورش: محلول خورش NaOH ۹نرمالیته، زمان: ۵ ساعت، دما: $80\ ^{o}C$)

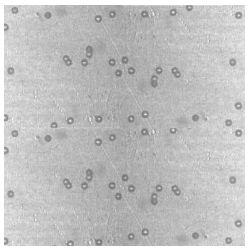


**۲- شکل رد پاهای ظاهر شده در فیلم پلی کربنات**

**دراثر پرتو دهی با آلفا با انرژی ۱/۴۹MeV**

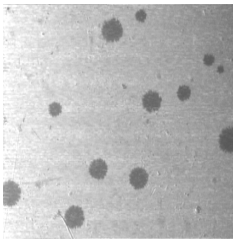
(شرایط خورش:t=۳hr,محلول خورش =PEW, f=۲KH, E=۲۴Kv/Cm)

برای بررسی نتایج حاصل از پرتودهی با نوترون ، تعدادی فیلم CR-39 را با چشمه نوترون Am-Be به میزان یکسان 7mSv پرتودهی کرده و برای آشکار سازی آنها از روش پیش خورش شیمیایی و سپس خورش الکتروشیمیایی استفاده نمودیم. شکل های ۳ و ۴ ردپاهای ظاهر شده در فیلم های پلی کربنات و CR-39 ناشی از نوترون می باشند.



**۳-شکل ردپاهای ناشی از پرتودهی با نوترون در فیلم CR-39**

( ۵ ساعت با محلول 9 N NaOH در دمای $80^{\circ}$ سانتی گراد خورش شیمیایی
و سپس خورش الکترو شیمیایی به مدت ۵ ساعت در ولتاژ E=۳۲ kV/cm )



**۴- شکل ردپاهای ناشی از پرتودهی با نوترون در فیلم پلی کربنات**

(خورش الکترو شیمیایی با محلول PEW با درصدهای وزنی ٪۱۵پتاس، ٪۴۰
اتانول(الکل)، ٪۴۵آب، مدت ۳ ساعت ، E=۳۲ kV/cm )

نکته دیگر حائز اهمیت در این تحقیق نقش الکل در حساسیت CR-39 می باشد، بطوریکه با افزایش الکل به محلول خورش NaOH با نرمالیته 9N ملاحظه می شود که حساسیت آشکار ساز به طرز چشمگیری کاهش می یابد که این امر ناشی از افزایش در سرعت خورش سطحی (Bulk) و در نتیجه کاهش در پاسخ آشکارساز می باشد. Griffith & Tommasino این اثر را در آشکارسازی CR-39 با KOH مشاهده نمودند.

**نتیجه گیری:**

با توجه به آزمایشهای انجام شده و مقایسه پاسخ آشکارسازهای رد پای هسته ای CR-39 و پلی کربنات این نتیجه به دست آمد که پاسخ فیلم های CR-39 با استفاده از خورش شیمیایی با شرایط ذکر شده در این تحقیق نسبت به پاسخ پلی کربنات با استفاده از خورش شیمیایی با محلول PEW حدود ۴۰ برابر بیشتر است که این موجب پایین آوردن خطای پاسخ CR-39 در مقایسه با پلی کربنات می باشد. همچنین در این روش از قرائت نیمه اتوماتیک توسط نرم افزار NTCS و سیستم اپتیکی (OLYMPUSE) و دوربین (JVC,TK-1085E,color video camera ) استفاده شده است که سرعت کار را بالا می برد.

**منابع:**

1- R. V. Griffith, J. H Thorangate, D. W. Rueppel and J. C Fisher, " Monoenergitic Neutron Response of Selected Etch Plastics For Personnel Neutron Dosimetry", Radiation Protection Dosimetry, NuclearTechnology Publishing, Vol. 1, No. 1, P. 61-71, 1981.

2- O. P. Massand, H. K. Kundu, P. K. Marathe and S. J. Supe "Development of Neutron Personnel Monitoring System Based On CR-39 Solid State Neclear Track Detector", Division of Radiological Protection. 1990.

3-"Automatic image analysis system for nuclear track evaluation and counting applied to radiation dosimetry ", Taheri, M. In: Procceding of the twenty-second Intertional Conference on Nuclear Track in Solids, Barcelona, Spain, 22-27 August (2004).

4- Taheri. M. , S. Hosseini Toudeshki, "Characteristic Studies for Fast Detection of a Wide Energy Range of Alpha Particles in Polycabonate Detectors ".Radiation Measurements 40, 307-310, 23/08/2005.

5-R.V. Griffith and L. Tommasino, in "Dosimetry for radiological protection at high energy particle accelerators", Chapter 1 in The dosimetry of ionizing radiation, Volume IV (K. R. Kase, B. E. Bjarngard, and F.H. Attix, editors, Academic Press, 1990).