

ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار خورش الکتروشیمی شده در آشکارسازهای پلی مری برای دزیلمتری پرتوها و بررسی ساختاری ردپاها

مهدی سهرابی و شهره مهدی
امور حفاظت در برابر اشعه
سازمان انرژی اتمی ایران

اخیراً روش تجربی کارآئی بنام "دای ست" یا (DYECET: dyed electrochemically etched tracks) برای رنگ کردن ردپاهای خورش الکتروشیمی شده ذرات باردار مثل ذرات آلفا و هسته‌های باردار برگشتی نوترونهای سریع در آشکارسازهای پلی مری مثل پلی کربنات برای اولین بار در جهان در امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران ابداع گردیده است. در این روش که شامل دو مرحله مجزای "حساس نمودن ردپاها بوسیله اسید" و "رنگ کردن" آنها بعد از خورش الکتروشیمی ردپاها در آشکارساز پلی مری است، ردپاها بطور یکنواخت و زیبا، بدون اثر روی سطح محاور ردپاها رنگ می‌شوند. بررسی این ردپاها در زیر میکروسکوپ با نور انعکاسی نه تنها شمارش آنها را راحت و دقیق و دلچسب می‌نماید، بلکه کمک موثری در شناخت ساختار ردپاها در علم "ردپا شناسی" می‌نماید. علیرغم مزایای روش فوق‌الذکر، تولید این "دای ست‌ها" با این روش وقت‌گیر و نسبتاً پرهزینه است.

روش دیگری بنام "دای ست سریع" در جهت سرعت بخشیدن به تولید دای ست‌ها در دامنه گسترده‌ای از انواع رنگها در امور حفاظت در برابر اشعه ابداع گردیده است. در این روش ردپاهای خورش الکتروشیمی شده ناشی از آلفا و یا هسته‌های برگشتی را در ظرف چند دقیقه می‌توان بطور کامل و یکنواخت رنگ نمود. با استفاده از رنگهای مختلف در حال حاضر امکان تولید دای ست‌ها به هر رنگ دلخواه اصلی و یا ترکیبی بوجود آمده است. این روش جدید مزایای متعددی منجمله سادگی، سرعت و امکان تولید دای ست در درجه حرارت اتاق را دارا می‌باشد. تفکیک دای ست‌ها در زیر میکروسکوپ با نور انعکاسی بویژه در دانسیته بالای ردپاها می‌تواند با قدرت بالا انجام پذیرفته و ساختار ردپاها با سادگی بیشتری قابل بررسی می‌گردد. در این مقاله نتایج حاصله از ابداع روشهای "دای ست" و "دای ست سریع" در امور حفاظت در برابر اشعه ارائه شده و مورد بحث قرار خواهد گرفت.

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

مقدمه

با گسترش روزافزون کاربرد ثبت ردپای ذرات باردار مثل ذرات آلفا و هسته‌های برگشتی ناشی از برخورد نوترون در آشکارسازهای پلیمری در دزیمتری گاز رادن، نوترون، ذرات آلفا و غیره، تلاشهای زیادی توسط دانشمندان و پژوهشگران بین‌المللی از جمله ایران برای بالا بردن تضاد رنگی بین ردپاهای تولید شده و زمینه آسیب ندیده پلی‌مر انجام یافته است تا شمارش و اندازه‌گیری شمارش ردپاها در واحد سطح با استفاده از چشم یا سیستمهای خودکار ساده‌تر گردد. برای مثال استفاده از نیترات سلولز قرمز رنگ (LR-115-Kodak Pathe) بر روی یک صفحه بی‌رنگ که در آن ردپای ذرات پس از خورش شیمیائی زیر میکروسکوپ بصورت لکه‌های بی‌رنگی بر روی زمینه قرمز رنگ دیده می‌شوند (۲-۱)، باز-تاب یا انعکاس نور از سطوح نقره‌اندود خورش شیمیائی شده (۳)، خورش الکتروشیمیائی ردپای پاره‌های شکافت (۴) و خورش الکتروشیمی ردپای هسته‌های برگشتی ناشی از برخورد نوترونهای سریع بر روی پلی‌مر که حتی با چشم غیر مسلح نیز قابل رویت‌اند را می‌توان نام برد (۵ و ۶).

اخیراً روشی نوینی بنام "دای ست" یا DYECET (dyed electrochemically etched track) (۷-۱۰) و متعاقب آن روش "دای ست سریع" (Quick-DYECET) (۱۱) در امور حفاظت برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران ابداع گردیده که یک نوآوری در سطح بین‌المللی است و توانسته است بعد ویژه‌ای برای کاربردهای مختلف دزیمتری پرتوها، بررسی ساختار ردپاها، ساختار شکست‌های پلی‌مری، ساختار فراکتال‌ها و غیره بوجود آورد. بطور خلاصه در این روش می‌توان ردپای ذرات باردار یا هسته‌های برگشتی ناشی از نوترون در آشکارسازهای پلی‌مری را بعد از اعمال خورش الکتروشیمی آنقدر

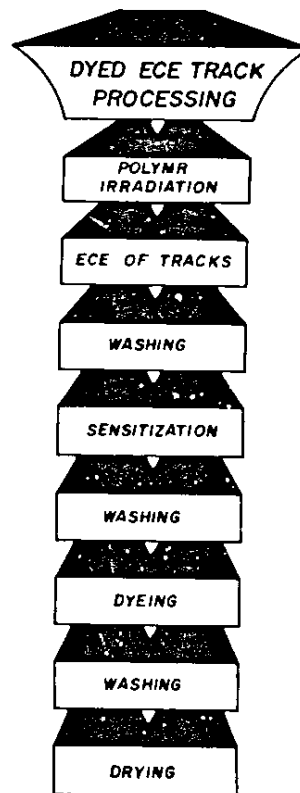
بزرگ نمود که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده شوند (۵ و ۶). این ردپاها در زیر میکروسکوپ با نور انعکاسی و عبوری به ترتیب به صورت لکه‌های سفید و سیاه بر روی زمینه بی‌رنگ پلی‌مر ظاهر می‌گردند (۵ و ۶). با اعمال روش‌های "دای ست" و یا "دای ست سریع" می‌توان این ردپاها را به نحوی به رنگ دلخواه درآورد که زمینه پلی‌مر کماکان بی‌رنگ باقی بماند. در این مقاله نتایج بدست آمده برای رنگ کردن پلی‌مرها با روش‌های فوق‌الذکر و مقادیر بهینه پارامترهای مربوط به هر روش را بویژه در دزیمتری نوترون با استفاده از اسپکتروفتومتری ماورا بنفش آشکارسازهای رنگ شده و یا آنالیزهای ساختاری با میکروسکوپ را که در چند سال گذشته در امور حفاظت در برابر اشعه انجام شده ارائه می‌گردد (۱۱-۷).

وسایل و روشها

الف- روش "دای ست" (DYECET)

برای تهیه دای ست‌ها یا ردپاهای خورش الکترو-شیمی و رنگ شده مراحل مختلفی لازمست به دنبال یکدیگر صورت پذیرد که به ترتیب در شکل ۱ نشان داده شده است. این مراحل به شرح زیر عبارتند از:

- ۱- تابش آشکارسازهای پلی‌مری مثل پلی‌کربنات با ضخامت ۲۳۰ میکرومتر و یا CR-39 با ضخامت ۵۰۰ میکرومتر به وسیله نوترون‌های یک چشمه آمرسیم - برلیم یا ذرات آلفای با انرژی مختلف.
- ۲- خورش الکتروشیمی ردپاها در آشکارسازهای پلی‌کربنات یا CR-39 درون سیستم خورش الکتروشیمی چند سلولی (۱۲) و یا روش نوین TECE (Triplet ECE) (۱۴ و ۱۳) که هر دو در امور حفاظت در برابر اشعه ابداع گردیده‌اند. خورش الکتروشیمی با استفاده از



شکل ۱- فرآیندهای مختلف در تولید ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده در روش "دای ست".

۴- مقطر شسته شده و در هوای اتاق خشک می‌شوند. حساس نمودن اسیدی ردپاهای خورش الکترو- شیمی شده. آشکارسازهای پلی‌کربنات خورش شده درون یک فلاسک که در دهانه آن کندانسور مناسبی که درون آن آب سرد جریان دارد قرار می‌گیرند. درون فلاسک محلولی از اسید که نوع، غلظت، درجه حرارت و مدت زمان آن بهینه شده قرار دارد. آشکارسازها در این مرحله در اسید تحت شرایط بهینه حساس می‌گردند.

۵- شستشوی آشکارسازهای حساس شده. پس از انجام حساس شدن اسیدی ردپاها، آشکار- سازها با آب معمولی و ترجیحاً "آب مقطر شسته شده و در هوای اتاق خشک می‌شوند.

۶- رنگ کردن ردپاهای حساس شده در آشکارسازها. آشکارسازهای پلی‌مری حساس شده در اسید درون یک فلاسک که این بار حاوی محلول رنگی با غلظت، درجه حرارت و مدت زمان بهینه شده است، قرار می‌گیرند. در این مرحله ردپاهای ثبت شده روی آشکارساز بطور کامل به رنگ مورد نظر در می‌آیند.

۷- شستشوی آشکارساز رنگ شده. پس از طی فرآیند رنگ شدن، آشکارساز با آب معمولی و ترجیحاً "آب مقطر شسته می‌گردند.

۸- مرحله خشک کردن. آشکارساز در هوای اتاق خشک می‌گردد.

ب- روش "دای ست سریع" (Quick-DYECET) مراحل رنگ آمیزی به روش "دای ست سریع" ساده تر و سریع تر از روش بالا است که این مراحل در شکل ۲ به شرح زیر نشان داده شده است:

۱- تابش آشکارسازهای پلی‌مری. آشکارسازهای پلی‌کربنات با ضخامتهای ۲۳۰ و ۵۰۰ میکرو- متر تحت تابش دزهای مختلف نوترون یک

محلول استاندارد شده هیدروکسید پتاسیم (۱۵ گرم)، الکل اتیلیک (۴۰ گرم) و آب مقطر (۴۵ گرم) در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود (۱۶). مدت زمان پیش‌خورش ۳۰ دقیقه و زمان ۲/۵ ساعت خورش الکتروشیمی در میدان ۳۲ کیلوولت در سانتی‌متر و فرکانس دو کیلو هرتز بهینه شده است (۱۶).

۳- شستشوی آشکارساز خورش الکتروشیمی شده پس از انجام خورش الکتروشیمی، آشکارساز پلی‌کربنات با آب معمولی و یا ترجیحاً "آب

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

چشمه 252Cf قرار گرفتند.

۲- خورش الکتروشیمی آشکارسازهای پلی مری پرتو دیده. آشکارسازهای پلی کربنات درون سیستم خورش الکتروشیمی چند سلولی (۱۲) و یا با روش نوین TECE (۱۴ و ۱۳) با استفاده از محلولی مرکب از هیدروکسید پتاسیم (۱۵ گرم)، الکل اتیلیک (۴۰ گرم) و آب مقطر (۴۵ گرم) در یک طرف سلول و اسید کلریدریک به غلظت ۳٪ در طرف دیگر سلول برای مدت ۴ ساعت و در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد با شدت میدان الکتریکی

اعمال شده ۳۲ کیلوولت با سانتی متر در فرکانس ۲ کیلوهرتز برای پلی کربنات ۲۳۰ میکرومتری انجام شده است (۱۵).
۳- شستشوی آشکارساز خورش الکتروشیمی شده. پس از انجام خورش الکتروشیمی، آشکارسازها با آب معمولی شسته شده و در هوای اتاق خشک می شوند.
۴- رنگ کردن آشکارسازهای خورش الکتروشیمی شده. فرآیند رنگ کردن در روش "دای ست سریع" می تواند به یکی از دو روش دلخواه زیر روی آشکارسازهای خورش الکتروشیمی شده صورت پذیرد:

۳-۱- روش "دای ست سریع سرد"

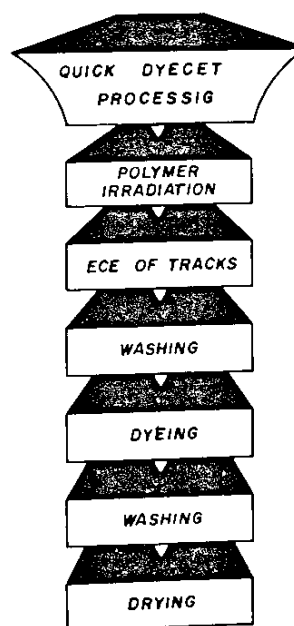
آشکارسازهای خورش الکتروشیمی شده درون ظرفی حاوی محلولی متشکل از الکل متیلیک و رنگ قابل حل در الکل در درجه حرارت اتاق، برای مدت کوتاهی (چند دقیقه) قرار می گیرند. ردپاهای موجود روی آشکارساز پلی کربنات بطور کامل و یکنواخت رنگ شده و اثری بر روی سطح تابش ندیده آشکارساز از نظر رنگ شدن باقی نمی گذارد.

۳-۲- روش "دای ست داغ"

آشکارسازهای خورش الکتروشیمی شده درون ظرفی حاوی مخلوطی از آب مقطر و رنگ قابل حل در آب، در درجه حرارت جوش، برای مدت کوتاهی (چند دقیقه) قرار می گیرند. ردپاهای موجود روی آشکارساز بطور کامل و یکنواخت بدون اثر گذاشتن بر روی زمینه آشکارساز رنگ می گردند.

۴- شستشوی آشکارساز رنگ شده. پس از انجام عمل رنگ، آشکارساز با آب معمولی یا ترجیحاً آب مقطر شسته می شود.

۵- خشک کردن آشکارساز رنگ و شسته شده. پس از شستن آشکارساز رنگ شده با آب، قطرات آب موجود روی آشکارساز به آرامی خشک می گردند.



شکل ۲- فرآیندهای مختلف در تولید ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده در روش "دای ست سریع"

دایست‌های تولید شده یا به عبارت دیگر رد - پاهای رنگ شده چه به روش اول و چه به روش دوم بوسیله میکروسکوپ لایتر - و تسلیر مدل ارتولوکس II در زیر مسیرهای نوری انعکاسی و یا عبوری، اسپکتروفوتومتر ماوراء بنفش پرکین المر مدل ۵۷۵، استریو میکروسکوپ دارای زوم الیمپوس و دانسیتومتر - های نوری معمولی مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی یافته‌ها

در عبور ذرات باردار از آشکارسازهای پلی مری، زنجیره‌های شکسته رادیولیتیک فعالی در مسیر ذره تشکیل می‌گردند که نسبت به خورش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی حساسند. با اعمال روش خورش الکتروشیمی روی ردپاها، این مسیرها که تحت شدت میدان الکتریکی قوی با فرکانس مشخصی قرار می‌گیرند، بر اثر پدیده‌های پیچیده فیزیکی - شیمیایی متعددی ردپاها آنقدر تقویت و بزرگ می‌شوند که حتی با چشم غیر مسلح نیز قابل مشاهده و حتی شمارشاند (۵ و ۶). این پدیده‌های فیزیکی - شیمیایی همچنین مولد زنجیره‌های شکسته فعال بسیار زیادی هستند که به سادگی در فرآیند رنگ شدن بوسیله یک رنگ مناسب شرکت می‌نمایند. از آنجا که فرآیندهای تابش ذرات و ظاهر ساختن رد - پای ذرات باردار با اعمال روش خورش الکتروشیمی قبلاً گزارش گردیده است (۱۶ و ۵)، در این بخش فقط به بررسی‌ها و اعلام نتایج مربوط به مراحل مختلف رنگ کردن به روش‌های "دایست" و "دایست سریع" همراه با کاربردهای اولیه آن در دزیمتری نوترون طبق مقالات قبلی گزارش شده در این پژوهش پرداخته می‌شود (۱۱ - ۷).

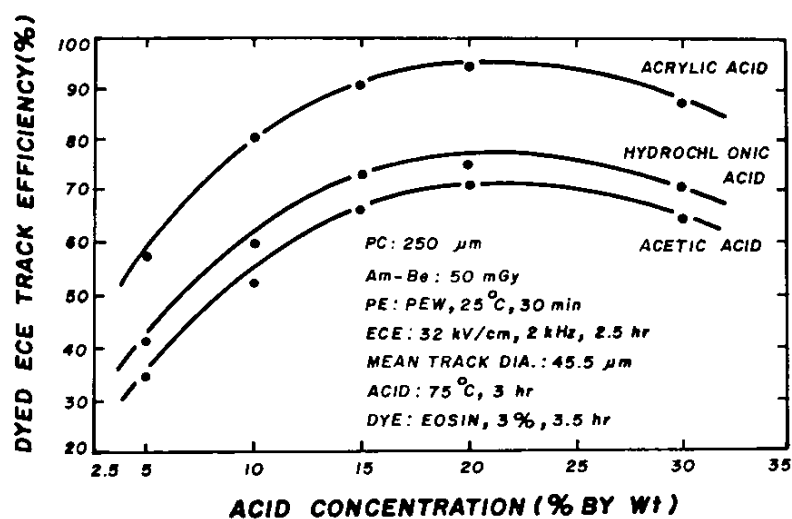
بررسی یافته‌های "دایست"

الف - ۱ - مرحله حساس کردن ردپاها بوسیله

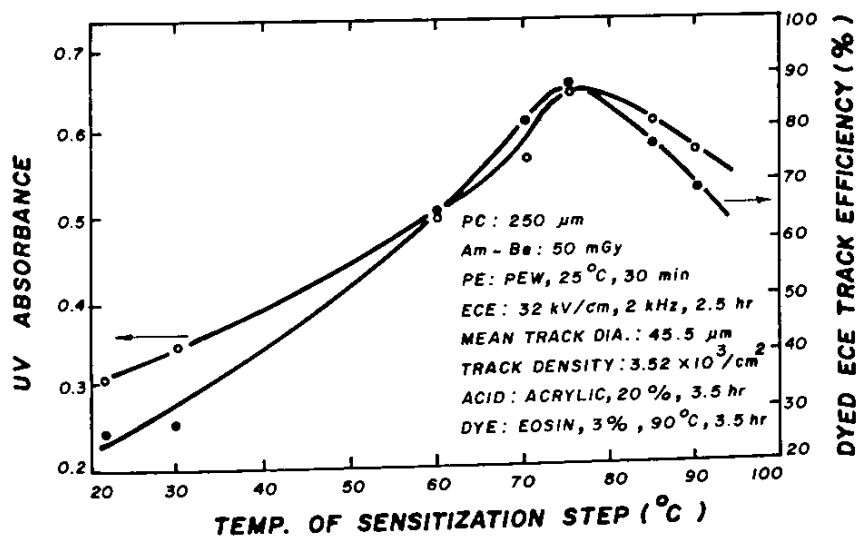
اسید. حساس شدن ردپاها به نوع اسید، غلظت، حرارت و مدت اعمال اسید بر روی آشکارساز بستگی دارد. غلظت اسیدهای حساس‌کننده مختلف منجمله اسید آکریلیک، کلریدریک و استیک بر روی راندمان رنگ‌شدگی ردپاهای ظاهر شده تاثیر قابل توجهی دارد. شکل ۳ نشان می‌دهد که سه منحنی مربوط به سه اسید فوق‌الذکر دارای پاسخ‌های مشابهی می‌باشند که هر سه از یک ماکزیمم وسیع در حدود غلظت ۲۰٪ برخوردارند. همانطور که دیده می‌شود، راندمانها بترتیب برای سه اسید نامبرده کاهش می‌یابند. ضریب Pka مربوط به دو اسید آخر بترتیب معادل ۴/۲۶ و ۴/۲۶ می‌باشد، در حالیکه اسید سوم ۱۰۰٪ یونیزه می‌شود. لذا چنین می‌توان نتیجه گرفت که هر چه ضریب Pka مولکولهای اسید حساس کننده کمتر باشند، اثر حساس نمودن افزایش خواهد داشت. این نتیجه توسط پژوهشگران دیگر در رابطه با روش حساس کردن ردپاهای خورش شیمیایی نشده نیز بدست آمده است (۱۷). بنابراین اسید آکریلیک با دارا بودن Pka کمتر، بهترین راندمان را برای آشکارساز پلی‌کربنات در تمام غلظت‌ها نشان می‌دهد. لذا غلظت ۲۰٪ بعنوان غلظت بهینه‌این اسید تعیین گردید. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که هم اسیدهای اشباع شده و هم اسیدهای اشباع نشده می‌توانند بعنوان حساس‌کننده‌های موثر بکار روند.

حرارت اسید حساس‌کننده تاثیر بسیار زیادی بر روی راندمان رنگ شدن ردپاها دارد. زیرا با بالاتر رفتن حرارت، سرعت نفوذ یا دیفیوژن بیشتر شده و فعالیت واکنش افزایش می‌یابد. شکل ۴ راندمان ظاهر شدن و جذب ماوراء بنفش در طول موج ۲۸۵ نانومتر را بر حسب تابعی از حرارت اسید در شرائط ذکر شده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود راندمان بالاترین مقدار خود را در درجه حرارت ۷۰

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.



شکل ۳- اثر غلظت اسیدهای آکریلیک، کلریدریک و استیک بر روی راندمان رنگ‌شدگی ردپاهای خورش الکتروشمی شده در پلی‌کربنات تحت شرایط درج شده در فوق.



شکل ۴- اثر حرارت اسید حساس‌کننده بر روی جذب ماوراء بنفش و راندمان رنگ‌شدگی ردپاهای خورش الکتروشمی شده در پلی‌کربنات تحت شرایط نشان داده شده.

واکنش با آشکارساز تمایل بیشتری برای انجام ترکیب با زنجیره‌های شکسته پلی‌مری که در حین عبور ذره یا در طول خورش الکتروشیمی تولید شده‌اند، داشته باشد. رنگهای فنل فتالئین، متیل اورانژ (نوع بازی آن)، رد امین - ب، رایت اتوزین بلو و اتوزین بلو مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۶ (الف، ب، ج، د، ه، و) تصویرهایی از ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده که تحت شرایط مختلف:

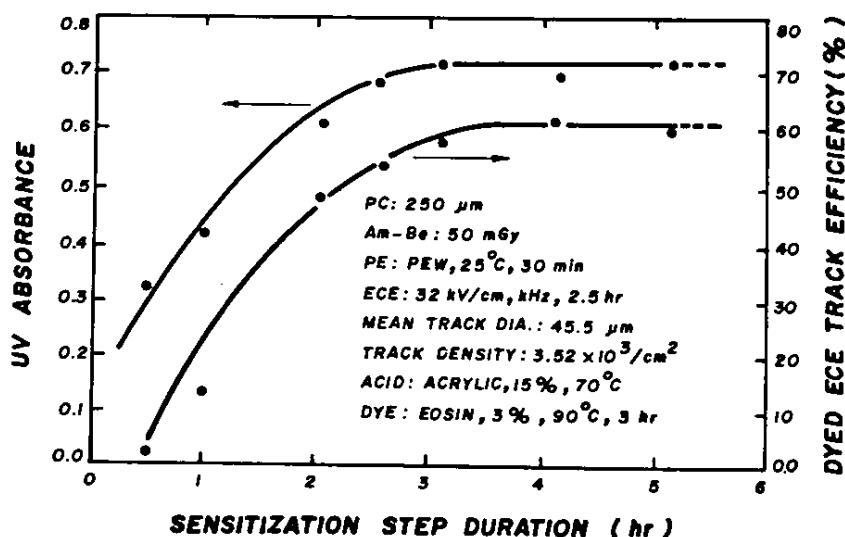
(الف) - پلی‌کربنات با رنگ رد امین - ب، (ب) - پلی‌کربنات با رنگ رایت اتوزین بلو (ج، د و ه) - پلی‌کربنات با رنگ اتوزین بلو و بالاخره و - CR-39 با رنگ اتوزین بلو را تحت شرایط مختلف نشان می‌دهد.

در آزمایشهای اولیه مشخص شده در فنل فتالئین و بویژه متیل اورانژ، رنگ آمیزی ردپای هسته‌های برگشتی ناشی از نوترون را با راندمان کم و بطور موقت انجام می‌دهند که پس از گذشت مدت کوتاهی

درجه سانتی‌گراد احراز می‌کند. لذا غلظت و درجه حرارت بهینه اسید بترتیب ۲۰٪ وزنی و ۷۵ درجه سانتی‌گراد انتخاب گردید. حساس شدن اسیدی یک فرآیند نفوذی یا دیفیوژنی است که سرعت دیفیوژن مقدار بهینه خود را بعد از ۳ ساعت بدست می‌آورد (۱۷). این سرعت نفوذ تا نقطه اشباع ادامه می‌یابد. شکل ۵ اثر طول مدت حساس نمودن اسید آکرلیک را بر روی راندمان ظاهر شدن ردپا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ۳/۵ ساعت حساس نمودن در شرایط ذکر شده بعنوان مدت زمان بهینه انتخاب گردید که در بررسیهای بعدی از آن استفاده شده است.

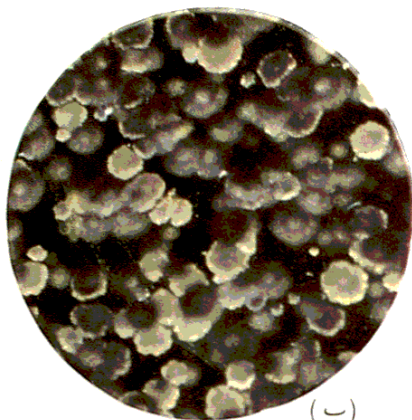
الف - ۲ - رنگ کردن ردپاهای حساس شده:

رنگ کردن مناسب ردپاهای خورش الکتروشیمی شده بنحویکه زمینه آشکارساز رنگ نشود، مهمترین جنبه این مرحله است. لذا به رنگی نیاز است که در

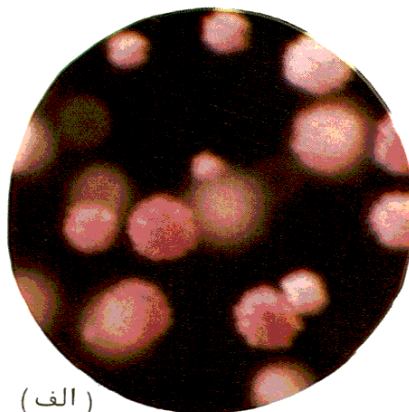


شکل ۵- منحنی تغییرات جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی و حساس شده بر حسب طول مدت حساس نمودن بوسیله اسید.

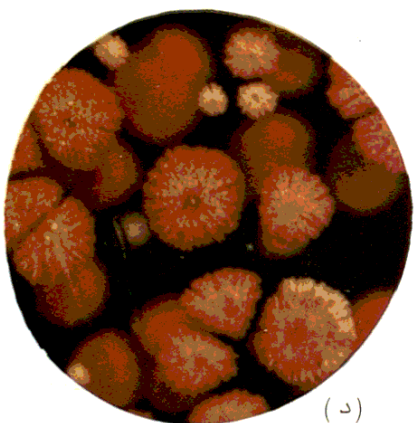
م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.



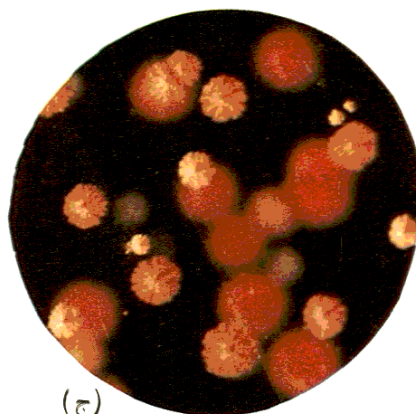
(ب)



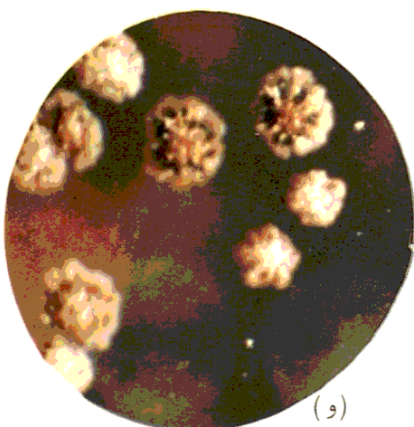
(الف)



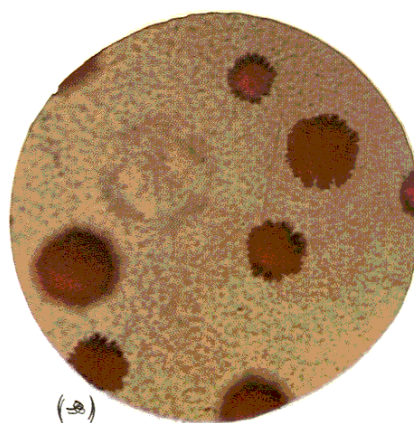
(د)



(ج)



(و)

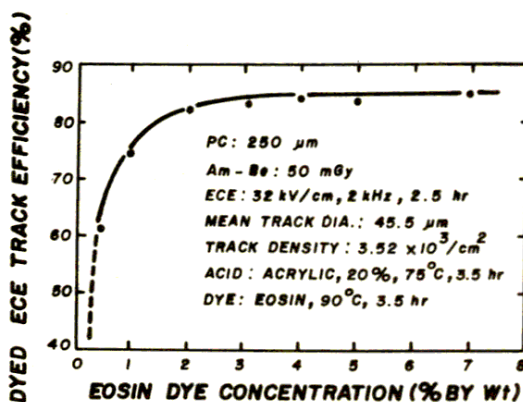


(هـ)

شکل ۶- ردپاهای خورش الکترونی و رنگ شده با روش دای ست به وسیله:
الف- پلی کربنات با رنگ رد امین ، ب- پلی کربنات با رنگ رایت اتوزین بلو،
ج و د- پلی کربنات با رنگ اتوزین بلو و نور انعکاسی میکروسکوپ، ه- پلی کربنات
با رنگ اتوزین بلو و نور مخلوط انعکاسی و عبوری، و- CR-39 با رنگ اتوزین بلو.

د و ه) ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده روی پلی‌کربنات، بوسیله ائوزین بلو را بترتیب با نور انعکاسی، نور انعکاسی و ترکیب نور انعکاسی و نور عبوری میکروسکوپ را نشان می‌دهند. ردپاهای خورش الکتروشیمی شده روی آشکارساز CR-39 نیز با استفاده از رنگ ائوزین بلو رنگ شدند. شکل ۶ (و) این ردپاها را زیر نور انعکاسی میکروسکوپ نشان می‌دهند. شکل‌های ۶ (ج، د و ه) تصاویر میکروسکوپی از ردپاهائی را که با اسید آکریلیک ۲۰٪، در درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد و مدت ۳/۵ ساعت حساس شده و سپس بوسیله رنگ ائوزین بلو با غلظت ۳٪، در درجه حرارت ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴ ساعت رنگ شده‌اند را نشان می‌دهند. تصویر نشان داده شده در شکل ۶ (د) نیز تحت شرایط حساس شدن آشکارساز CR-39 بوسیله اسید آکریلیک به غلظت ۱۵٪، درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۳ ساعت و رنگ شدن آن بوسیله رنگ ائوزین بلو به غلظت ۳٪ در درجه حرارت ۹۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۳ ساعت بدست آمده است. غلظت بهینه رنگ ائوزین بلو نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۷ تاثیر غلظت ائوزین بلو بر روی راندمان رنگ شدن ردپاهای خورش و رنگ شده را نشان می‌دهد. شرایط حساس نمودن با اسید و رنگ کردن با ائوزین مطابق با شرایط بهینه شده بوده است (۱۰-۷). در غلظتهای کم، راندمان پائین بوده و کسر کوچکی از ردپاها رنگ می‌شوند. با افزایش غلظت رنگ راندمان رو به افزایش رفته تا ۲٪ غلظت که به پلاتوی وسیعی می‌رسد که راندمان با افزایش غلظت رنگ ثابت مانده است. لذا، غلظت بهینه رنگ ۳٪ وزنی انتخاب گردیده است (۷-۱۰).

طول مدت رنگ شدن نیز تاثیر شدیدی بر روی راندمان رنگ شدن ردپاها دارد. شکل ۸ جذب



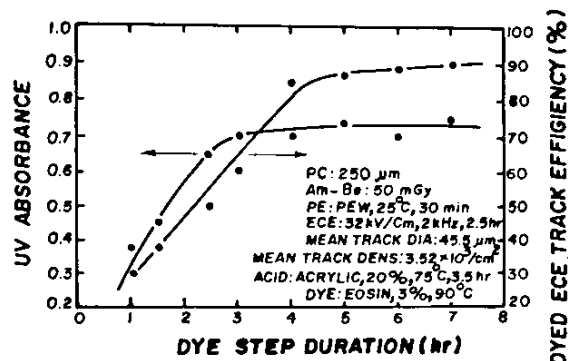
شکل ۷ - تاثیر غلظت رنگ ائوزین بلو بر روی راندمان ردپاهای خورش الکتروشیمی شده تحت شرایط درج شده در فوق.

بویژه در حرارتهای بالا، ردپاها رنگ می‌بازند. از طرف دیگر با ردامین - ب حتی در غلظتهای پائین (۳/۵٪ وزنی) و مدت کوتاه نیم ساعت درصد بالائی از ردپاها رنگ می‌شوند که زیر نور انعکاسی میکروسکوپ همانطور که در شکل ۶ (الف) نشان داده شده بنفش دیده می‌شوند. در حالیکه بدست آوردن ردپاهائی با تضاد رنگی شدید به غلظتهای بالاتر و زمان طولانی محتاج است. در صورت استفاده از این شرایط سطح تابش ندیده آشکارساز نیز رنگ شده و در نتیجه منجر به جذب ناخواسته ماوراء بنفش و یا تضاد رنگی بسیار کم بین ردپا و زمینه خواهد شد. همچنین استفاده از رنگ رایت ائوزین بلو منجر به رنگ شدگی تمام ردپاها نشده و همانطور که در شکل ۶ (ب) مشاهده می‌شود مقداری از ردپاها رنگ نشده باقی مانده‌اند.

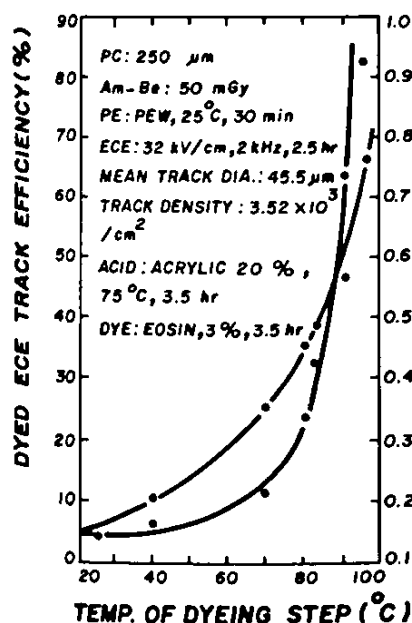
از طرفی، در این بررسی ائوزین بعنوان ماده بسیار موثر با توانائی تولید رنگ قرمز زیبا برای رنگ آمیزی ثابت ردپاهای خورش الکتروشیمی شده روی پلی‌کربنات تشخیص داده شد. شکل‌های ۶ (ج،

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

پرتوهای ماوراء بنفش است. بمنظور این کاربرد از هسته‌های برگشته ناشی از نوترون در پلی‌کربنات استفاده شده است. تحت شرایط بهینه شده خورش الکتروشیمی، قطر متوسط ردپاهای ناشی از هسته‌های برگشته بعد از خورش الکتروشیمی در حدود ۴۵ میکرومتر است که کانوهای جذب بسیار بزرگی برای اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش یا مادون قرمز به حساب می‌آیند. لذا، با استفاده از چنین کانوهای، جذب ماوراء بنفش می‌تواند متناسب با اندازه این کانوهای جاذب و دانسیته ردپاها بوده و نتیجتاً "به دز نوترون وابسته گردد (۸-۹)". اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده هسته‌های برگشته ناشی از



شکل ۸- تاثیر مدت رنگ کردن بر روی راندمان ثبت و جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده روی پلی‌کربنات تحت شرایط درج شده در فوق.

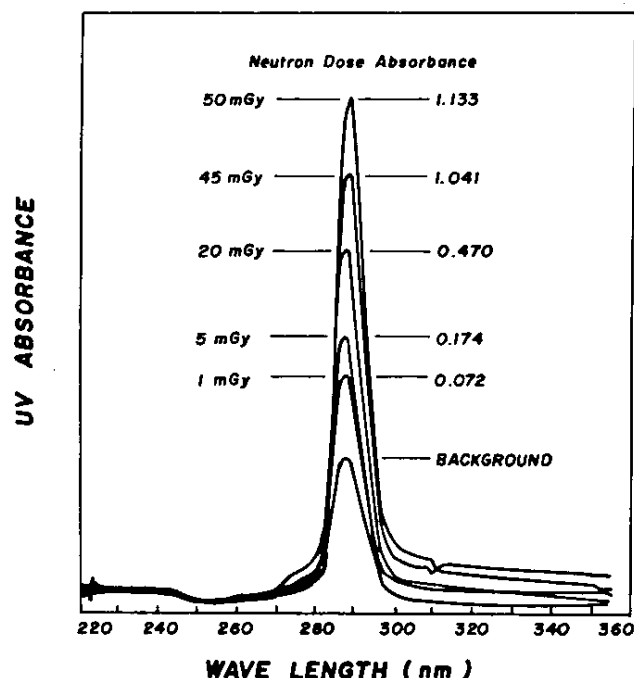


شکل ۹- تاثیر درجه حرارت رنگ روی راندمان رنگ شدن ردپاها و جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده روی پلی‌کربنات تحت شرایط درج شده در فوق.

ماوراء بنفش ردپاها را بازاء مدت زمانهای مختلف رنگ کردن تا ۳/۵ ساعت نشان می‌دهد. مقدار جذب همراه با زمان بطور خطی افزایش داشته و راندمان و جذب ماوراء بنفش بترتیب بعد از ۳ و ۴ ساعت به پلاتو می‌رسند. لذا مدت ۴ ساعت بعنوان طول مدت رنگ کردن بهینه انتخاب گردید.

درجه حرارت محلول رنگ نیز اثر شدیدی بر روی راندمان رنگ کردن و مدت مورد نیاز نشان داده است. شکل ۹ تاثیر حرارت رنگ را بر روی راندمان ردپا و جذب ماوراء بنفش تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. جذب و راندمان تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد به آرامی افزایش یافته و در بالاتر از این نقطه منحنی با شیب تند تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد که نقطه جوش محلول است، افزایش داشته و بهترین نتیجه رنگ حاصل می‌شود.

الف - ۳ - اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش ردپاها : یکی از انگیزه‌های اصلی رنگ ردپاها ایجاد مراکز رنگی با جذب بالا جهت اسپکتروفوتومتری مثلاً "با



شکل ۱۰- طیف جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده روی ورقه‌های پلی‌کربنات پرتو دیده با دزهای مختلف نوترون از چشمه آمرسیم - برلیم، منطق برنقه پایه.

نحوه تغییرات و ارتباط بین جذب ماوراء بنفش دانسیته ردپا و جذب نور بازاء دزهای مختلف برای آشکارسازهای پلی‌کربنات خورش الکتروشیمی و رنگ شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱۱ میزان جذب ماوراء بنفش را بازاء شمارش ردپا بر حسب تابعی از دز نوترون روی آشکارسازهای پرتو دیده از چشمه آمرسیم - برلیم که تحت شرائط بهینه رنگ شده‌اند را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود جذب ماوراء بنفش ملاک مهم و معتبری برای شمارش تعداد ردپاها بویژه برای دزیمتری نوترون بوده و بطور خطی بر حسب دانسیته ردپا که آن نیز به نوبه خود بطور خطی متناسب با دز نوترون تغییر می‌یابد، تغییر می‌کند. دانسیتمتری نوری را نیز می‌توان بعنوان ملاکی

برخورد نوترونهای سریع به آشکارساز، حداکثر خود را در طول موج ۲۸۵ نانومتری نشان می‌دهد و مقدار این جذب به دز دریافتی هر نمونه بستگی دارد. شکل ۱۰ ماکزیمم جذب ماوراء بنفش را بعد از انطباق ارتفاع پیکها نسبت به حداقل دز نوترون برای قیاس نشان می‌دهد. میزان جذب ماوراء بنفش در ماکزیمم منحنی مربوط به شش نمونه منجمله زمینه و فیلمهای پرتو دیده بترتیب به مقدار ۱، ۵، ۲۰، ۴۵ و ۵۰ میلی‌گری دز نوترون را نشان می‌دهد که به ترتیب معادل صفر، ۰/۰۷۲، ۰/۱۷۴، ۰/۴۷۰، ۰/۹۱ و ۱/۳۳ می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌شود میزان جذب بطور موثری با تعداد کانونهای رنگین شده یا ردپاهای الکتروشیمیایی شده و لذا دز نوترون تغییر می‌نماید (۸-۹).

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

ب - رنگ کردن با روش:

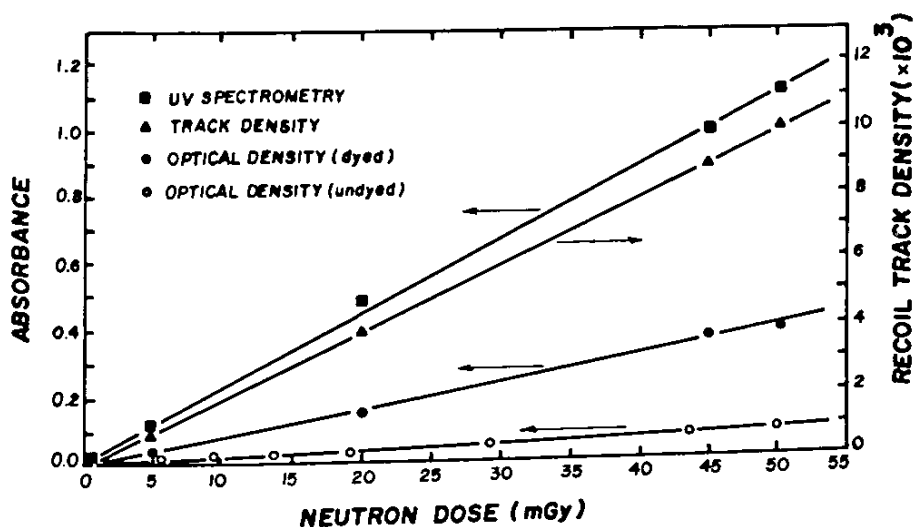
"دای ست سریع" (Quick-DYECET)

از میان تعداد، بیشمار رنگهای موجود، انتخاب رنگی که بتواند با سرعت عمل رنگ کردن ردپاهای خورش شده را به روش ساده و موثری انجام دهد حائز اهمیت زیاد است. از میان رنگهای قابل بررسی که تعدادی از آنها طبیعی و تعدادی دیگر سنتز شده و بخشی معدنی و بخشی آلی هستند، رنگهای سنتز شده آلی به لحاظ تولید انبوه به روشهای استاندارد بهترین انتخاب بودماند. حال آنکه رنگهای طبیعی آلی یا معدنی موجود معمولاً از استانداردهای تولید یکنواخت و تکرارپذیر بهره‌مند نیستند.

از هزاران رنگ آلی سنتز شده موجود بهره - برداری‌های صنعتی مختلفی می‌شود که از آن میان می‌توان به صنایع نساجی، رنگ‌سازی، پلی‌مری و

جهت ارزیابی دز نوترون مورد آزمایش قرار داد. در این اندازه‌گیری دانسیته نوری بطور کلی ملاک پرتوانی برای دز نوترون نیست. معیذا اندازه‌گیری دانسیته نوری ردپاهای رنگ شده در مقایسه با ردپاهای رنگ نشده افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

از اسپکتروفوتومتری مادون قرمز نیز می‌توان در مورد ردپاهای الکتروشیمیائی شده استفاده نمود. اسپکتر مربوط به پلی‌کربنات هم در حالت جامد و هم در شرائطی که بصورت محلول در کلروفرم درآمده بود، بدست آمد. افزایش جذب مادون قرمز برحسب دز نوترون مربوط به باندهای CH ، OH و CO مشاهده شد، لیکن بر اساس مطالعات مقدماتی که تاکنون انجام شده این افزایش آنقدر چشمگیر نیست که بتواند بعنوان یک وسیله سنجش شمارش ردپاها بکار رود.



شکل ۱۱ - جذب و دانسیته ردپاهای برگشتی بر حسب تابعی از دز نوترون روی ورقه‌های پلی‌کربنات رنگ شده.

پلاستیکی و خوراکی و آرایشی اشاره نمود. رنگهای مورد استفاده در صنایع پلی مری عمدتاً " بصورت رنگینه (پیگمان) ، بوده و مهمترین کلاسهای موجود آن آنتراکینون ها و کوئینوفتالون ها می باشند . این مواد در هنگام قالب ریزی ورقهای پلی مرها و پلاستیکها و یا هر شکل مورد نظر دیگر همراه با مواد تشکیل دهنده پلاستیک وارد سیستم شکل دهنده (extruder) شده و در درجه حرارت مناسب پلی مر یا پلاستیک را رنگی می کنند . گرچه در طی انجام پژوهش "دای ست سریع" موفقیت هایی در جهت رنگ کردن کامل سطح پلی مرها با استفاده از رنگهای فوق الذکر در مدت زمان کوتاه و با روش بسیار ساده حاصل شده است ولی از آنجا که هدف این پروژه رنگ کردن ردپاهای خورش شده ، بدون تاثیرگذاری بر روی زمینه پرتو ندیده آشکارساز می باشد ، این دسته رنگها فاقد کارآئی مورد نظر بوده اند . رنگهای متداول در صنایع نساجی نیز بسیار گسترده بوده و عمل رنگرزی در مقیاس های بسیار بزرگ ، چه در محیط های اسیدی یا بازی و چه بصورت مستقیم نیاز به استفاده از تجهیزات سنگین و عملیات پیش درمانی (pre-treatment) و پس - درمانی (post-treatment) طولانی دارند . روشهای بکار رفته در این صنعت نیز از سادگی کافی مورد نظر این پروژه برخوردار نیستند .

دسته دیگر رنگها ، رنگهای غیر سمی مورد استفاده در صنایع خوراکی و آرایشی می باشند که به دو گروه کلی قابل حل در روغن ها و قابل حل در آب تقسیم می شوند . از آنجا که حلالهای روغنی معمولاً دارای ضریب چسبندگی زیاد و ضریب نفوذ یا دیفیوژن کمی می باشند ، موفقیت زیادی در تولید دای ست با روش های ساده ندارند . در نتیجه رنگهای خوراکی قابل حل در آب بعنوان بهترین انتخاب از میان رنگهای آلی سنتز شده گزیده

شدند .

نام تجارتي تعدادی از رنگهای قابل حل در آب همراه با شماره اندیس رنگ ، فرمول شیمیائی و کلاس آن رنگ بترتیب در ستونهای ۱ تا ۴ جدول ۱ دیده می شوند (۲۰ - ۱۹) . کلیه رنگهای متعلق به یک کلاس دارای یک قسمت کروموفر مشترک ولی آکسو - کرمهای متفاوت می باشند . حضور یک نمک سدیم غالباً " به صورت $SO_3 Na_2$ (سولفیت سدیم) در قسمت آکسوکرم باعث حلالیت آن در آب می گردد (۲۰ - ۱۹) .

از مهمترین کلاسهای موجود در میان رنگهای خوراکی می توان از گزانتین ، تری آریل متان ، منوآزو ، دایسازو ، کوئینولین و ایندگو نام برد . نام تجارتي تعدادی از رنگهای موفق بکار رفته در این پروژه و کلاسهای مربوط به آن عبارتند از:

بریلیانت بلو FCF و بریلیانت گرین S از کلاس تری آریل متان ها ، ائوزین بلو ، ائوزین یلو و اریتر - وزین از کلاس گزانتین ها ، کارموایزین ، بونسه 4R ، آلورا رد و سانسیت یلو از کلاس منوآزوها و غیره . شکل ۱۲ مجموعه ای از آشکارسازهای پلی کربنات خورش الکتروشیمی و رنگ شده توسط رنگهای مختلف را نشان می دهد . این مجموعه طوری آرایش شده است که مجموعاً " آرم سازمان انرژی اتمی ایران و تنوع رنگ دای ست را نشان می دهد .

چنانچه در درجه حرارت اتاق محلولی متشکل از آب و رنگهای ذکر شده در جدول ۱ تهیه شده و آشکارسازهای پلی کربناتی که ردپای ذرات آلفا و یا هسته های برگشتی ناشی از نوترون روی آنها بوسیله خورش الکتروشیمی ظاهر شده اند ، در آن غوطه ور شوند . پارهای از ردپاها بطور کامل و پارهای بطور ناقص رنگ شده و تعدادی نیز اصلاً " رنگ نمی شوند . شکل ۱۳ - الف نشان دهنده سه دسته ردپای فوق - الذکر در محلولی از آب مقطر و رنگ بریلیانت بلو

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

جدول ۱- ویژگیها و اطلاعات فیزیکی - شیمیایی مربوط به رنگهای قابل حل در آب بکار رفته در این پروژه.

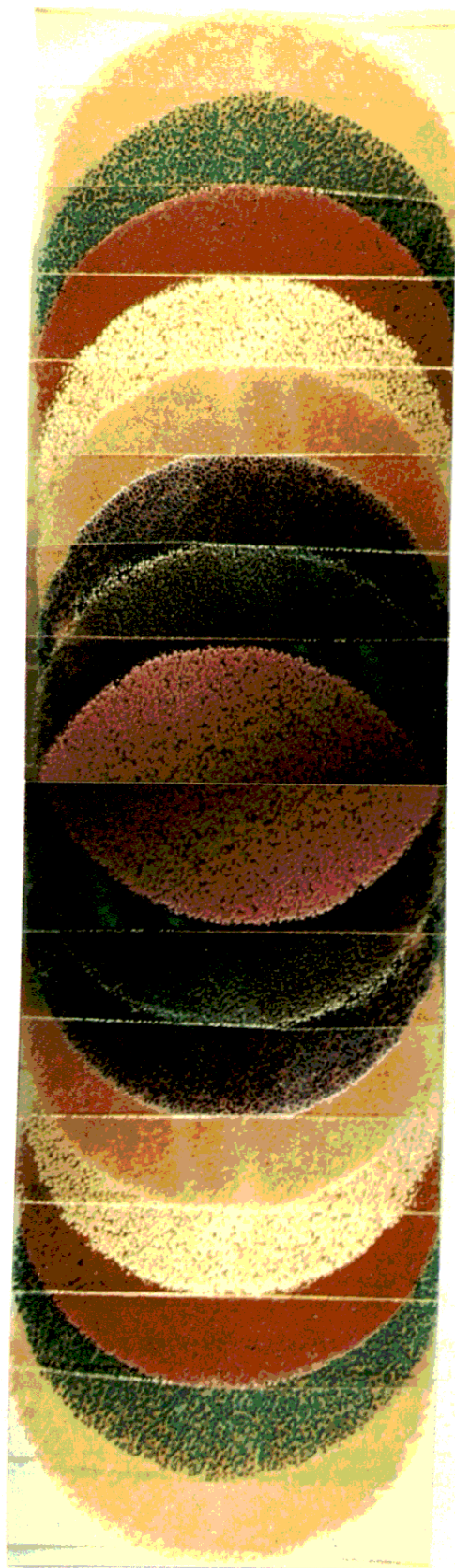
Commercial names of dye	Color Index No.	Chemical Formula	Class	Solubility in		PH of Dye in		Dyeability of BCE Tracks		λ_{max} of DYEETS in	
				Water	Alcohol	Water	Methyl Alcohol	Methyl Alcohol	Boiling Water	Methyl Alcohol	Boiling Water
Eosin Yellowish	45380	$C_{20}H_6Br_4Na_2O_8$	X	Exc.	Exc.	6.8	7.9	Exc.	Exc.	283	283
Eosin Bluish	45400	$C_{20}H_6Br_2Na_2O_8$	X	Exc.	Exc.	7.2	8.2	Exc.	Exc.	283	283
Erithrosine	45430	$C_{20}H_6I_4Na_2O_8$	X	Exc.	Exc.	6.5	7.6	Exc.	Exc.	283	283
Brilliant Blue PCF	42090	$C_{37}H_{34}N_2O_6S_2Na_2$	TAM	Exc.	Exc.	5.6	5.9	Exc.	Exc.	283	283
Brilliant Green S	42087	$C_{37}H_{34}N_2O_7S_2Na$	TAM	Exc.	Exc.	5.6	5.9	Exc.	Exc.	287	285
Carmoisine	14720	$C_{20}H_{12}N_2O_7S_2Na_2$	M	Exc.	Poor	6.6	...	Poor	Exc.	...	286
Ponceau 4R	16255	$C_{20}H_{13}N_2O_7S_2Na_3$	M	Exc.	poor	8.7	...	Poor	Exc.	...	287
Allura Red	16035	$C_{18}H_{14}N_2O_6S_2Na_2$	M	Exc.	poor	6.5	...	Poor	Exc.	...	288
Sunset Yellow	15985	$C_{18}H_{13}N_2O_7S_2Na_2$	M	Exc.	Poor	7.6	...	Poor	Exc.	...	288
Tartrazine	19140	$C_{18}H_{14}N_4O_6S_2Na_3$	M.P	Exc.	Poor	6.9	...	Poor	Exc.	...	288
Brilliant Black BN	28440	$C_{20}H_{17}N_3O_{14}S_4Na_4$	D	Good	Poor	9.2	...	Poor	Exc.	...	283
Quinoline Yellow	47005	$C_{18}H_{13}NO_6S_2Na_4$	Q	Exc.	Poor	9.1	...	Poor	Exc.	...	288
Indigo	73015	$C_{16}H_{10}N_2O_6S_2Na_2$	I	Good	Poor	6.9	...	Poor	Good	...	283

X = Xanthene, Tam = Triarylmethane, M = Monoazo, P = Pyrazolone,

D = Disazo, Q = Quinoline, I = Indulged, Exc. = Excellent

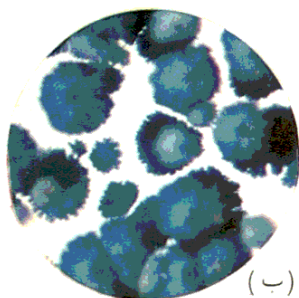
آشکارسازهای خورش الکتروشیمی شده در محلولی متشکل از آب مقطر و رنگهای مذکور در جدول ۱، در درجه حرارت جوش در مدت کوتاه، مثلاً "چند دقیقه" می باشد. در این شرایط کلیه ردپاها بطور کامل و یکنواخت، برنگهای زیبا رنگ می شوند. شکل های ۱۳ (ب، ج، د، ه، و، ز و ح) دای ست- هائی را که بترتیب با قرار گرفتن آشکارساز در

FCF در درجه حرارت اتاق می باشد. با بالا رفتن درجه حرارت محلول، راندمان رنگ شدگی ردپا - های خورش الکتروشیمی شده بیشتر شده و در درجه حرارت جوش، تمام ردپاها رنگ می شوند. شکل ۱۳- ب رنگ شدن کامل همه ردپاها را در رنگ بریلیانت بلو FCF و درجه حرارت جوش نشان می دهد. لذا یکی از راههای سریع تولید دای ست، فرو بردن

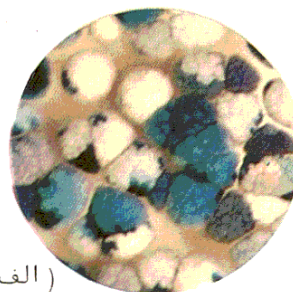


شکل ۱۲-۱. شکار سازه‌های پلی کریستال خورشید الکترودشیمی و رنگ شده توسط رنگهای مختلف با روش "دای ست سریع" که مجموعاً "تصویری از آرم سازمان انرژی اتمی را در کنار یکدیگر نشان می‌دهند."

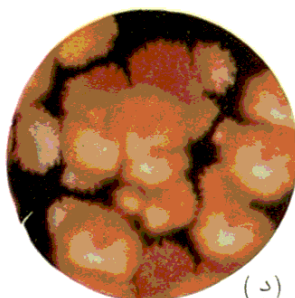
م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.



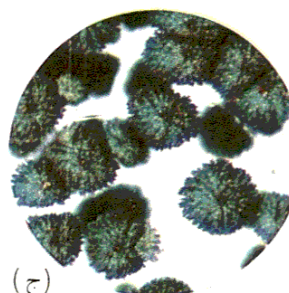
(ب)



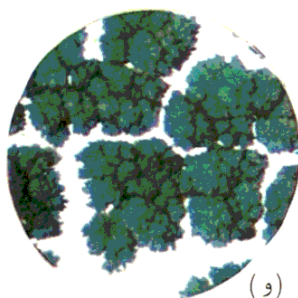
(الف)



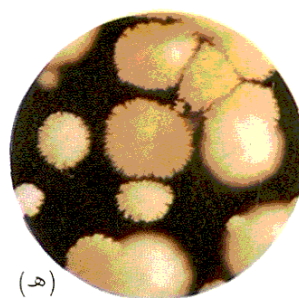
(د)



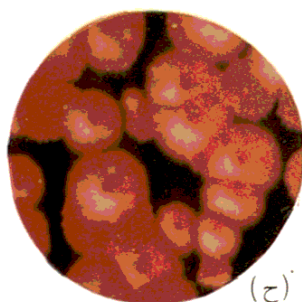
(ج)



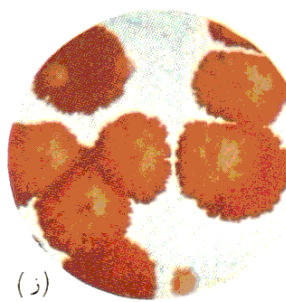
(و)



(هـ)



(ح)



(ز)

شکل ۱۳- ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده روی آشکارساز پلی کربنات که به ترتیب تحت شرایط زیر به روش دای ست سریع داغ رنگ شده اند: الف - رنگ بریلیانت بلو FCF در درجه حرارت اتاق، ب - رنگ بریلیانت بلو FCF، ج - رنگ بریلیانت گرین S، د - رنگ تارترازین، هـ - رنگ کوئینولین بلو، و - رنگهای بریلیانت بلو + تارترازین، ز - رنگ اریترئوزین و ح - رنگ پونسه 4R.

محلولی متشکل از رنگ بریلیانت بلو FCF، بریلیانت گرین S، تارترازاین، کوئینولین یلو، بریلیانت بلو FCF + تارترازاین، اریتروزین و پونسه 4R در آب در درجه حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد و بمدت ۵ دقیقه تولید شده‌اند را نشان می‌دهند. این روش به نام "دایست سریع داغ" نامگذاری می‌گردد.

برخی از رنگهای موجود در جدول ۱ در حلالهای دیگری چون الکلها، بازها، اسیدها و غیره نیز قابل حل‌اند. این رنگها اکثراً در اسیدها و بازها چون معرفها عمل نموده و تغییر رنگ می‌دهند. لذا از اسیدها، بازها و یا محلول خورش PEW که ۱۵٪ وزنی آنرا هیدروکسید پتاسیم تشکیل داده است، بعنوان حلال نمی‌توان استفاده کرد. ضمن آنکه محلولهای تغییر رنگ داده شده بدست آمده نیز توانائی تولید دایست‌های یکنواخت و کامل را نداشته و گاهی "سطح آشکارساز را نیز رنگ می‌نمایند.

برخی از کلاسهای رنگ در الکل‌ها نیز حل می‌شوند. در ستون ششم از جدول ۱ رنگهای قابل حل در الکل مشخص شده‌اند. محلولی که از ترکیب رنگهای موجود در این کلاسها و الکلها تهیه شود، می‌توانند در مدت بسیار کوتاه (مثلاً ۵ دقیقه) و در درجه حرارت اتاق تمام ردپاها را بطور یکنواخت و کامل رنگ نمایند. بدیهی است که با ترکیب رنگهای اصلی موجود در این کلاسها می‌توان هر نوع رنگ ثانویه دلخواهی را تولید نموده و دایست‌هایی به آن رنگ بدست آورد. شکل‌های ۱۴ (الف، ب، ج، د و ه) دایست‌هایی را که به ترتیب در محلولی متشکل از رنگ بریلیانت بلو FCF، بریلیانت گرین S، ائوزین بلو، اریتروزین و بریلیانت بلو + اریتروزین در الکل متیلیک در درجه حرارت اتاق تولید شده‌اند را نشان می‌دهد. شکل ۱۴ (و) رد-پاهای خورش الکتروشیمی شده روی آشکارساز CR-39

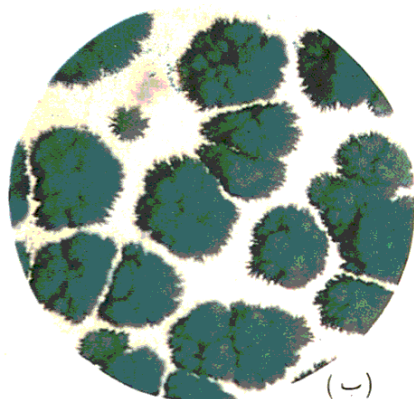
را که در یک طرف به رنگ زرد و در طرف دیگر به رنگ آبی در آمده‌اند را نشان می‌دهد. ردپاهای زرد و آبی به ترتیب با استفاده از محلول الکل متیلیک و رنگهای کوئینولین و بریلیانت بلو FCF در درجه حرارت اتاق تولید شده‌اند. این روش به نام "دایست سریع سرد" نامگذاری می‌گردد.

در روش دایست سریع سرد، الکل‌های اتیلیک و متیلیک بعنوان حلال مورد آزمایش قرار گرفتند. مشاهده گردید که الکل اتیلیک می‌تواند به ساختمان ردپاهائی که بوسیله خورش الکتروشیمی ظاهر شده‌اند، صدمه بزند و این صدمات بویژه در درجه حرارتهای بالاتر چشمگیر است. لذا الکل متیلیک بعنوان الکل مناسب جهت تهیه محلولی که بتواند دایست‌های سریع در درجه حرارت اتاق تولید نماید، انتخاب گردید.

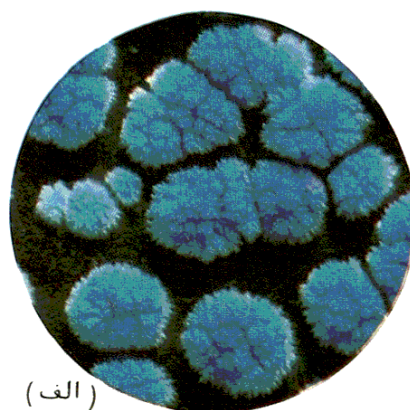
در این بررسی همچنین PH حمامهای مختلف رنگ که در ستونهای ۷ و ۸ جدول نشان داده شده است نیز اندازه‌گیری شد ولی رابطه صریحی بین قابلیت رنگ کردن محلولهای مختلف (ستونهای ۹ و ۱۰ جدول ۱) و PH آن محلولها بدست نیامد. آشکارسازهای پلی‌کربنات که تحت تابش آلفا یا نوترون قرار گرفته و به روش الکتروشیمی خورش شده‌اند و بوسیله یکی از روشهای دایست سریع سرد یا داغ به رنگهای مختلف رنگ شده‌اند، بوسیله اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش مورد بررسی قرار گرفته و طول موجی که در آن حداکثر جذب را نشان می‌دهند، مشخص گردید. این طول موجها در ستونهای ۱۲ و ۱۳ جدول ۱ درج گردیده است. با تعیین این طول موج با استفاده از هر رنگ موجود در جدول ۱ و حلال ذکر شده در ستونهای ۱۱ و ۱۲ می‌توان بهترین طول موج را برای اندازه‌گیری جذب ماوراء بنفش استخراج نمود.

میزان نفوذ رنگها به داخل ردپاها و نتیجتاً

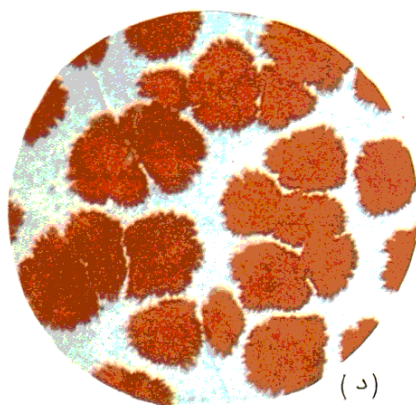
م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.



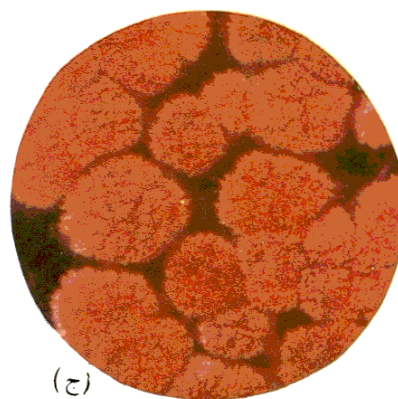
(ب)



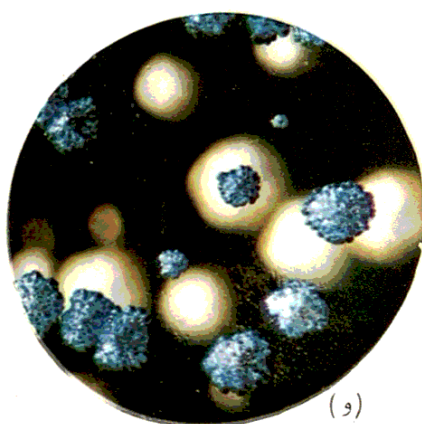
(الف)



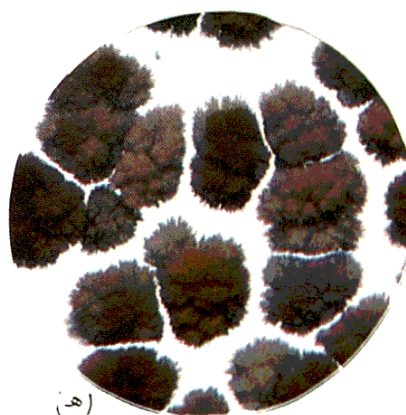
(د)



(ج)



(و)



(هـ)

شکل ۱۴- ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده با روش "دای ست سریع" که امکان بررسیهای دقیق ساختاری ردپاها را فراهم می آورد. الف - ساختمان رد - پاهای خورش الکتروشیمی شده در طرف ورودی ذره و ب - ساختمان ردپاها از پشت.

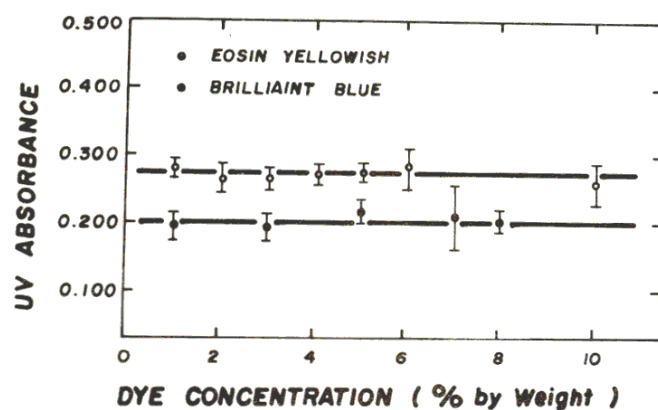
تولید دایست به پارامترهایی از قبیل ثابت نفوذ حلال، میزان حلالیت رنگ درون حلال، قطر متوسط ردپاهای خورش شده و غیره بستگی دارد. شکل ۱۵ میزان جذب بوسیله اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش در روی دایست سریع و سرد و در درجه حرارت اتاق را نشان می‌دهد که با تغییر غلظت رنگ در الکل متیلیک ثابت مانده است. همچنین شکل ۱۶ جذب ماوراء بنفش را برحسب مدت رنگ کردن نشان می‌دهد که مشخص می‌کند مدت رنگ کردن تاثیری در میزان جذب در طول موج مربوطه ندارد. از آنجا که غلظتهای زیر ۱٪ مورد مطالعه قرار نگرفته و غلظت ۳٪ در روش "دایست" مقدار بهینه شده است، همین غلظت در روشهای دایست سریع سرد و داغ به عنوان مقدار بهینه انتخاب گردید. همچنین مدت رنگ ۵ دقیقه برای رنگ کردن انتخاب گردید زیرا انتخاب زمانهای کوتاه در حین اجرا می‌تواند مشکل آفرین و خطا آمیز باشد و انتخاب زمانهای طولانی نیز تاثیر بیشتری بر راندمان ندارد. لذا غلظت و مدت رنگ بهینه به ترتیب معادل ۳٪ و ۵ دقیقه انتخاب شدند.

مشاهده دایست‌ها زیر نور انعکاسی میکروسکوپ بسیار زیبا و دلپذیر بوده و همانطور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود حاوی اطلاعات تصویری، ساختاری و بنیادی مهمی هستند. شکل ۱۷ (الف) ساختمان ردپاها را از روبرو و شکل ۱۷ (ب) ساختمان پشت ردپاها را بعد از خورش الکتروشمی و رنگ شدن نشان می‌دهد. بهر حال تا به حال شمارش و محاسبه دانسیته ردپاها بوسیله فرد یا سیستم‌های خودکار یا نیمه خودکار، معمول‌ترین روش شمارش جهت دزیمتری بوسیله آشکارسازهای پلی‌مری حساس به ذرات باردار سنگین بوده است. در این شرایط ردپاها زیر نور عبوری میکروسکوپ به صورت لکه‌های

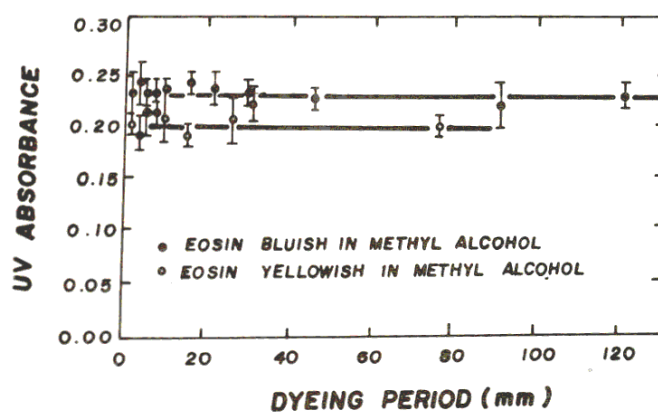
سیاهی بر روی یک زمینه روشن طبق شکل ۱۸ (الف) دیده می‌شوند. در حالیکه همانطور که در شکل ۱۸ (ب) دیده می‌شود همین ردپاها بعد از رنگ شدن زیر نور انعکاسی میکروسکوپ رنگی بوده و دارای قدرت تفکیک زیادی می‌باشند. لذا یکی دیگر از مزایای دایست‌ها در زیر نور انعکاسی قدرت تفکیک زیاد آنها می‌باشد. شکل ۱۸ (الف و ب) ردپاهای موجود روی آشکارسازی پرتو دیده را زیر نور عبوری میکروسکوپ در مقایسه با تصویر رنگی همان ردپاها در شکل زیر نور انعکاسی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که وقتی ردپای ذرات باردار یا هسته‌های برگشتی ناشی از نوترون‌ها در مجاورت یکدیگر تشکیل می‌گردند امکان تفکیک و شمارش دقیق آنها با نور عبوری (شکل ۱۸ - الف) بسیار مشکل و حتی غیرممکن است ولی در شرایط شکل ۱۸ (ب) قدرت تفکیک بالا و شمارش بسیار آسان است. لذا استفاده از روش دایست بویژه در مورد آشکارسازهایی که حاوی تعداد زیادی ردپا هستند، بسیار حائز اهمیت است. همچنین قدرت تفکیک بالا، دقت شمارش را بهبود بخشد. و در ضمن می‌توان ساختار ردپاها را بخوبی مطالعه کرد.

استفاده از اسپکتروفوتومتری ماوراء بنفش و اندازه‌گیری جذب دایست‌ها بعنوان ملاکی از دز نوترون با موفقیت همراه بوده است. لذا در جهت تائید حساس بودن دایست‌های تولید شده بوسیله روش دایست سرد نسبت به جذب ماوراء بنفش، ابتداءً دانسیته ردپاها روی آشکارسازهای پلی‌کربنات که با دزهای مختلف نوترون پرتو دیده و سپس خورش الکتروشمی شده بودند، با استفاده از شمارش میکروسکوپی بدست آمد (شکل ۱۹ - الف) و سپس جذب ماوراء بنفش آشکارسازهای پرتو دیده مشابهی که به ترتیب بوسیله رنگهای اریتروزین، بریلیانت بلو و آئوزین یلو به روش دایست سرد

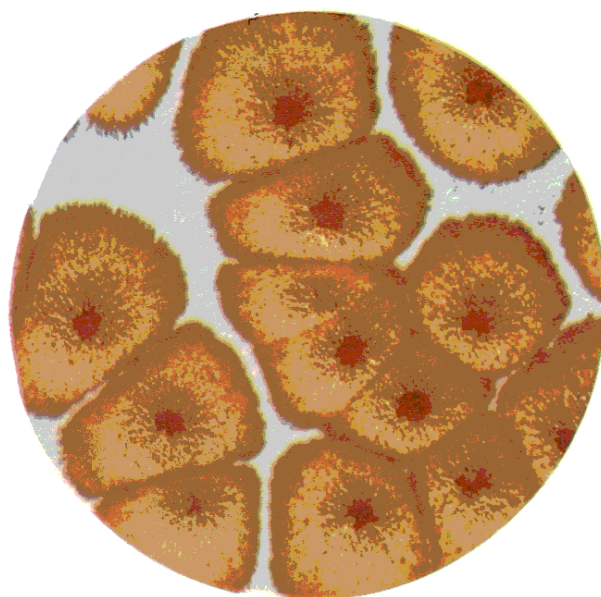
م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.



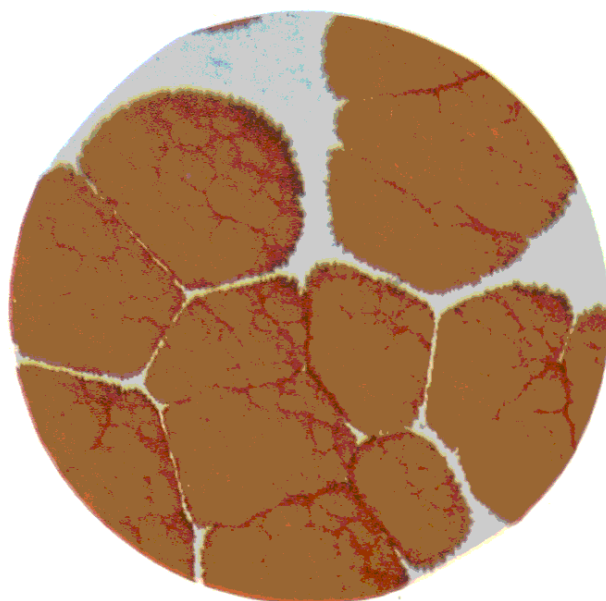
شکل ۱۵- منحنی تغییرات جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی شده روی پلی کربنات بازاء تغییرات غلظت رنگهای اعوزین یلو و بریلیانت بلو در روش دای ست سریع.



شکل ۱۶- منحنی تغییرات جذب ماوراء بنفش ردپاهای خورش الکتروشیمی شده روی پلی کربنات بازاء تغییرات غلظت رنگهای اعوزین بلو و اعوزین یلو در روش دای ست سریع سرد.



(الف)



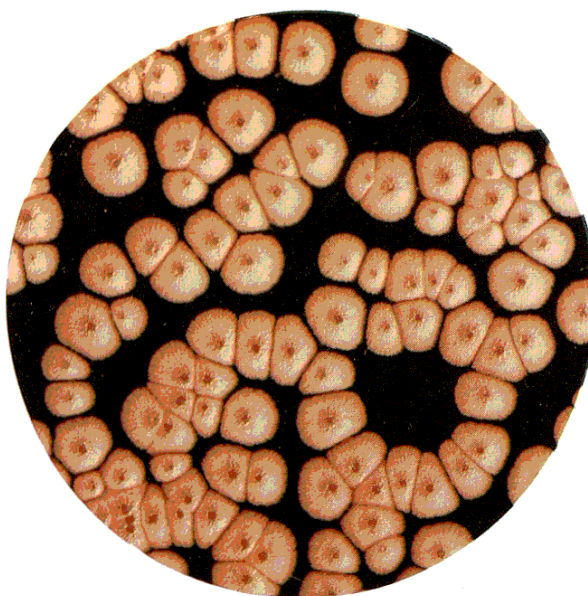
(ب)

شکل ۱۷- ردپاهای خورش الکتروشیمی و رنگ شده با روش "دای ست سریع" که امکان بررسی‌های دقیق ساختاری ردپاها را فراهم می‌آورد. الف - ساختمان ردپاهای خورش الکتروشیمی شده از طرف ورودی ذره و ب - ساختمان ردپاها از پشت.

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

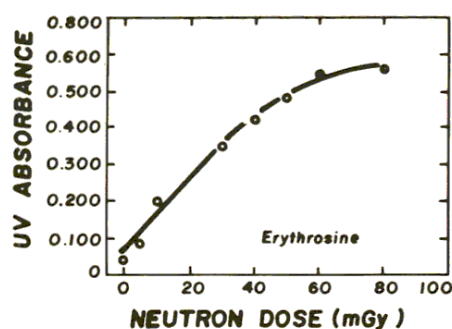


(الف)

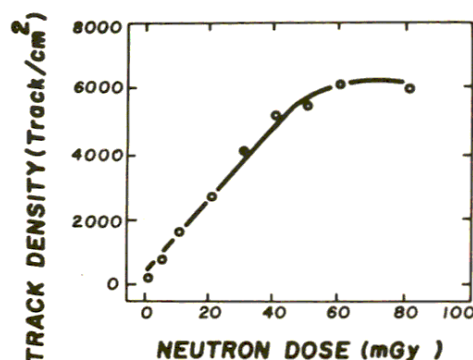


(ب)

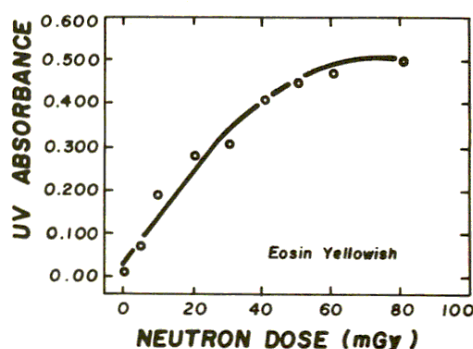
شکل ۱۸- دو تصویر از یک میدان ردپا روی آشکارساز پلی کربنات الکتروشیمی و رنگ شده تحت شرایط نوری . الف- عبوری میکروسکوپ و ب- انعکاسی میکروسکوپ . همانطور که ملاحظه می شود قدرت تفکیک ردپاها در شرایط ب به مراتب بالاتر از شرایط الف است که در شمارش ردپاها در دانسیته های بالا بسیار ضروری است .



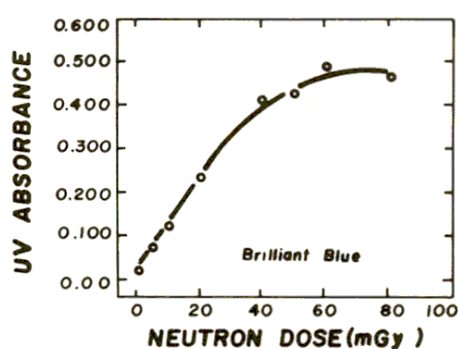
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۹- هماهنگی تغییرات جذب ماوراء بنفش و دانسیته ردپاها بازاء دزهای مختلف نوترون. الف- تغییرات دانسیته ردپاها بازاء دزهای مختلف، ب و ج و د- تغییرات جذب ماوراء بنفش بازاء دزهای مختلف به ترتیب برای دایست‌های تولید شده بوسیله رنگهای اریتروزین، بریلیانت بلو FCF و اعوزین بلو. شرایط خورش الکتروشیمی ۳۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر، ۲ کیلو هرتز، ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۴ ساعت و شرایط رنگ روش دایست سریع سرد، به غلظت ۳٪ و مدت ۵ دقیقه بوده است.

کیلو ولت در سانتی‌متر، فرکانس ۲ کیلو هرتز، مدت ۴ ساعت و درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی - گراد صورت گرفته است. وجود پلاتودر دزهای بالاتر ناشی از روی هم افتادن ردپای ذرات و کوچکتر شدن قطر متوسط ردپاها است.

نتایج

تا قبل از ابداع روش دایست، مشاهده ردپاها زیر نور عبوری میکروسکوپ بصورت تصویری از لکه -

رنگ شده بودند، اندازه‌گیری شد. شکل‌های ۱۹ (ب، ج، د) نشان می‌دهند که جوابدهی جذب ماوراء بنفش با تغییرات دانسیته ردپا هماهنگی دارد. جذب پرتوهای ماوراء بنفش در طول موج مربوط به حداکثر جذب هر نوع رنگ ابتدا با افزایش دز بطور خطی افزایش یافته و در دزهای بالاتر به پلاتوئی با شیب مختصر منتهی می‌گردد. خورش الکتروشیمی ردپاها روی آشکارساز پلی کربنات ۲۳۰ میکرومتری در میدان الکتریکی به شدت ۳۲

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روشهای نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

یک آشکارساز را می‌توان به رنگهای مختلف درآورد. این روش بخصوص در دزیمتری فردی آلبدو نوترون نوتریران که دارای سه ناحیه مختلف در دو طرف آشکارساز پلی‌کربنات می‌باشد، دارای اهمیت است (۲۰).

(۴) از رنگهای مختلف می‌توان برای دسته‌بندی گروههای مختلف دزیمتری مربوط به موسسات مختلف یا تاریخهای مختلف در سرویس دهی-های بزرگ استفاده نمود.

(۵) مطالعه ساختمان ریز ردپاها زیر میکروسکوپ در صورت رنگی بودن ردپاها بسیار ساده‌تر می‌شود.

(۶) قدرت تفکیک دای ست‌ها بویژه در دزهای بالا و زیر نور انعکاسی میکروسکوپ بیش از قدرت تفکیک ردپاهای رنگ شده زیر نور عبوری می‌باشد و استفاده از این مزیت در روشهای شمارش و اندازه‌گیری دانسیته ردپاها چه به روشهای دستی و چه به روشهای خودکار و نیمه خودکار راهگشا خواهد بود.

مطالعات گسترده‌تری در جهت روشهای "دای ست" و "دای ست سریع" در دست انجام‌اند که نتایج آن متعاقباً اعلام خواهد شد.

های سیاه روی یک زمینه بی‌رنگ و زیر نور انعکاسی میکروسکوپ بصورت تصویری از لکه‌های سفید روی یک زمینه بی‌رنگ بوده است. انگیزه اصلی در ابداع روش جدید رنگ کردن ردپاهای خورش الکتروشیمی شده و استفاده از تضاد بوجود آمده بین ردپاهای رنگ شده با زمینه پرتو ندیده بی‌رنگ آشکارساز جهت شمارش‌های خودکار مثل اسپکترو فوتومتری ماوراء بنفش و یا روشهای مشابه دیگر بوده است. پس از پژوهش و توسعه و ابداع روشهایی که بتوانند ردپای ذرات باردار و هسته‌های برگشتی ناشی از نوترون سریع را رنگ نمایند، دو روش "دای ست و "دای ست سریع" در امور حفاظت در برابر اشعه با موفقیت روبرو گشت.

روش‌های دای ست و دای ست سریع وقتی روی ردپاهای خورش الکتروشیمی شده اعمال شوند دارای مزایای متعددی بوده که پارهای از آنها عبارتند از: (۱) دای ست‌ها را می‌توان به رنگهای مختلف و در ظرف مدت کوتاه حتی در ظرف چند دقیقه تولید نمود.

(۲) پدیده‌های مختلفی از قبیل ردپاها، شکافت‌ها، درخت‌های الکتریکی، شکسته‌ها، فراکتال‌ها و غیره را می‌توان با اعمال روشهای چندگانه رنگ از یکدیگر تمیز داد.

(۳) ردپاهای خورش الکتروشیمی شده در دو طرف

References

1. J. Barbier, "Some Recent Progress in Neutron Radiography and Ionizing Particle Dosimetry Using Cellulose Nitrate as Detecting Material" J. Photogr. Sci., 108 (1971).
2. M. Sahrabi and K. Becker, "Some Studies on the Application of Track Etching in Fast Neutron Personnel Dosimetry", Rept. ORNL-TM-3605, Oak Ridge National Lab. (1971).
3. G. Guenther, "Work on Solid State Detectors", KFK-1461, Ker Forschungszentrum, Karlsruhe, Germany.

4. L. Tommasino, "Electrochemical Etching Damage Track Detectors by H.V. Pulse and Sinusoidal Wave Forms. Proc. 7th Int. Coll. on Corpuscular Phot. and Visual Solid Detectors", Barcelona (1970).
5. M. Sohrabi, "Electrochemical Etching Amplification of Fast-Neutron Induced Recoil Particle Tracks in Polymers for Fast Neutron Personnel Dosimetry, Health Physics 27, 598 (1974).
6. M. Sohrabi, "Electrochemical Etching of Low-LET Recoil Particle Tracks in Polymers for Fast Neutron Dosimetry", ORO-4814-5 (1975).
7. M. Sohrabi and S. Sadeghi Bojd, "A New Development of Dyed ECE Tracks for Radiation Dosimetry", Rad. Prot. Dosimetry 34, No. 1/4, 5 (1990).
8. M. Sohrabi and S. Sadeghi Bojd, "Neutron Dosimetry by UV and IR Spectrophotometry of the Newly Developed Dyed ECE Tracks", Rad. Prot. Dosimetry 34, No. 1/4, 47 (1990).
9. M. Sohrabi and S. Sadeghi Bojd, "A New Dyed ECE Track Identification Method for Nuclear Particle Detection", Nucl. Tracks Rad. Meas. 17, No.4, 522 (1990).
10. M. Sohrabi, L. Fozoonmayeh and M. Khoshnoodi, "Advances on the New Dyed ECE Track (DYECET) Method in Polymeric Dosimeters", Nucl. Tracks Radiat. Meas. 15, No. 1/4, 215 (1991).
11. M. Sohrabi and Sh. Mahdi, "A Quick DYECET Method of ECE Particle Tracks in Polymer Detectors", Nucl. Tracks Rad. Meas., in Press (1993).
12. M. Sohrabi, "A New Multi-Chamber Electrochemical Etching System Approach for Rapid Characteristic Studies in Polymeric Dosimeters", Rad. Prot. dosimetry 12, 55 (1985).
13. M. Sohrabi "A New Triplet Electrochemical Etching (TECE) Method. Rad. Prot. Dosimetry", 48, 3, 279 (1993).
14. M. Sohrabi and M. Sadeghi, "Discovery of Some Phenomena in Polycarbonate Detectors by a Novel Triplet ECE Technique", Nucl. Tracks Rad. Meas. in Press (1993).
15. M. Sohrabi and E. Khajepian, "Some Electrochemical Etching Studies on the Registration of Alpha Particle Tracks in Polycarbonate". Nucl. Instrum. Methods 185, 407 (1981).
16. M. Sohrabi and A.R. Solaymanian, "Some Characteristics of the AEOL Passive Radon Diffusion Dosimeter", Nucl. Tracks Radiat. Meas. 15, No. 1/4, 605 (1988).
17. G. Somogyi and M. Toth-Szilagyi, "Non-Etching Nuclear Track Visualization in Polymers: Fluorescent and Dyed Tracks", Nucl. Tracks Radiat. Meas. 3, 151 (1979).
18. M. Leferde, J.L. Seidel, M. Monnin, G. Somogyi, and M. Tothszilagyi, "Diffusion Process in Dyed Detectors", In Proc. 11th Int. Conf. SSNTD, Bristol, Pergamon Press, 299 (1982).
19. Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley and Sons, 6 (1986).
20. J. Walford, "Development in Food Colors", Applied Science Publishers LTD. London, England (1980).

م. سهرابی و ش. مهدی. ابداع روش‌های نوین "دای ست" برای رنگ کردن ردپای ذرات باردار.

NOVEL DYED ECE TRACK (DYECET) METHODS FOR RADIATION PROTECTION DOSIMETRY AND TRACK STRUCTURE STUDIES

M. Sohrabi and Sh. Mahdi

National Radiation Protection Department

Atomic Energy Organization of Iran

P. O. Box 14155-4494, Tehran

Islamic Republic of Iran

Abstract

Recently, a new powerful dyed electrochemical etching track (DYECET) method, has been introduced at the National Radiation Protection Department of the AEOI. Highly contrasted DYECETs of neutron-induced recoils in polymers such as polycarbonate (PC) and CR-39 have been successfully produced as photon absorbing sites on an unaffected bulk material. Several steps including exposure of the polymer, ECE of tracks, acid sensitization and dyeing were followed leading to 20% by weight acrylic acid at 75 °C for 3.5 hours for sensitization and 3% by weight eosin bluish at 95 °C for 4 hours as optimized values to obtain near 100% DYECET efficiency. The method is powerful for UV and IR spectrophotometry, track counting and track structure studies, but it is a time consuming process.

Another similar method, named "Quick DYECET", was developed also in this research making DYECETs within a few minutes using a variety of water and alcohol soluble dyes, without any sensitization step. The new method has many advantages over the above method including simplicity, rapid processing, color variety and dyeability at room temperature. In general, DYECETs under a microscope with reflected light are observed in beautiful colors compared to black under transmission light and with a high resolution for track structure studies and track counting especially at high track densities. In this paper, the results of the above studies are presented and discussed.