

# بازیابی و فرمولبندی ضایعات پلی وینیل کلرید در صنایع بسته بندی دارویی ایران

Recovery and Formulation of PVC Wastes of Pharmaceutical Packing Industries in Iran

آقای عبدالمجید دهش، دکتر محمدحسین رفیعی فتود

دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه شیمی

برای جداسازی پی وی سی از ضایعات پارچه های پنبه ای و ریونی (rayon) که پوشش پی وی سی دارند، ابتدا ذرات را خرد می کنند آنگاه ذرات را با خشک کنهای مخصوص خشک کرده وارد یک راکتور دو جداره مجهز به همزن مکانیکی می کنند. این راکتور توسط بخار آب یا منبع گرمایی مناسب دیگری گرم می شود. این ذرات در جوی از نیتروژن، طی سه مرحله متوالی با حلال تراهایدرو فوران شسته می شود. محلول حاصل که در حدود ۱۰٪ وزنی پی وی سی دارد در یک تبخیر کننده تا ۲۰٪ وزنی پی وی سی تغلیظ می شود. سپس این محلول غلیظ به صورت لایه ای نازک از روی استوانه های گرم یک تبخیر کننده لایه نازک (thin film evaporator) در جوی از گاز بی اثر عبور می کند تا حلال آن تبخیر و در چگالنده مایع شود و در ضمن پی وی سی بازیابی گردد. پی وی سی بازیابی شده در آمیزه های جدید مورد استفاده قرار می گیرد و الیاف بازیابی شده پس از خشک شدن به مصارف صنعتی می رسند [3].

برای جداسازی ذرات مس از پی وی سی از مخلوط بنزن و استون استفاده می شود. در این روش ابتدا حلالها پی وی سی را متورم می کنند. سپس با عمل سانتیفوژ مس از پی وی سی جدا می گردد [4]. در روش دیگری برای جدا کردن پی وی سی از مس، ضایعات را با سه برابر وزنی آن سدیم کلرید در استوانه ای می ریزند که تا  $300^{\circ}\text{C}$  گرم شده است و ۳۰ دقیقه به هم می زنند. در این مدت دمای سدیم کلرید به حدود  $250^{\circ}\text{C}$  و دمای پی وی سی به  $100^{\circ}\text{C}$  می رسد. ذرات سدیم کلرید با عمل ساییدن، پی وی سی را از سیمهای مسی جدا می کند. بعد از این مرحله ذرات پی وی سی با الک کردن از مس جدا می شود. پی وی سی حاصل خواص فیزیکی خوبی برای استفاده مجدد دارد [5]. برای جداسازی ذرات آهن از پی وی سی از آهن ربا استفاده می شود [6]. برای جداسازی پی وی سی از ضایعات چرم

واژه های کلیدی:

بازیابی، پی وی سی، فرمولبندی، نوار آلومینیم، صنایع دارویی

چکیده

پی وی سی مصرفی در صنایع داروسازی ایران تجربه و معلوم شد که ۹۹٪ آن از پی وی سی خالص تشکیل شده است. آکتیل مرکاپتو استات به عنوان پایدار کننده و پلی اتیلن گلیکول مونوالفات به عنوان روان کننده و هدا الکتریسیته ساکن نیز شناسایی شدند. پس از بازیابی پی وی سی ضایعاتی به روشهای گوناگون معلوم شد که در شرایط ایران؛ بازیابی به کمک نرمسازهای دی بوتیل فتالات و دی اکتیل فتالات عملی و اقتصادی است. از اختلاط پی وی سی بازیابی شده با پی وی سی تازه و افزودنیهای لازم آمیزه هایی ساخته شد که بعضی از خواص مکانیکی آنها حدود ۸۳٪ پی وی سی تازه می باشد.

پی وی سی بازیابی شده در صنایع کفاسی، کابل سازی، تهیه فیشر هوای اتومبیل... قابل استفاده است. این قابلیت توسط یکی از کارخانه های مصرف کننده پی وی سی در ایران تأیید شده است.

مقدمه

الف - تاریخچه

بازیابی پی وی سی علاوه بر استفاده اقتصادی برای حفظ محیط زیست هم اهمیت فوق العاده ای دارد. لذا برای بازیابی آن از روشهای مختلفی استفاده شده است. در یکی از این روشها برای جداسازی پی وی سی از سایر مواد، مانند کامپوزیتها، مس، سایر فلزات یا الیاف، مخلوطی از حلالهای ایزوبوتیل متیل کتون، تری کلرواتیلن و دی متیل سولفو کسید به کار برده می شود. این مخلوط در دماهای حدود  $100^{\circ}\text{C}$  -  $80^{\circ}\text{C}$  پلی وینیل کلرید را حل می کند. پس از جدا ساختن محلول از مواد غیر محلول، حلالها به کمک تبخیر جدا می شوند و دوباره برای حل کردن پلی وینیل کلرید موجود در ضایعات به مصرف می رسند. مخلوط حلالهای پیش گفته پلی وینیل کلرید را به خوبی حل می کنند ولی دی متیل سولفو کسید آتشگیر است [1]. در روش مشابهی از حلالهای استون و تولوئن استفاده شده است [2].

Key Words:

Recovery, PVC, Formulation, Wastes, Al-foil, Pharmaceutical industries.

مصنوعی و کاغذ دیواری، ضایعات را ۳۰ دقیقه در آب ۸۵°C فرو می‌برند تا پی وی سی از کاغذ یا پارچه جدا شود. سپس عمل جداسازی پی وی سی از کاغذ یا پارچه را با جریان هوا انجام می‌دهند [7].

یک روش بازیابی پی وی سی از ضایعات، افزودن نرم کننده و افزایش دما تا حدود ۱۳۰°C - ۱۲۰°C می‌باشد. در اثر افزودن نرم کننده دمای جریان یافتن (flow temperature) پی وی سی کاهش می‌یابد و مخلوط به صورت مایعی با گر انرژی نسبتاً زیاد جاری و از سایر ضایعات جدا می‌شود [8]. در روش دیگر ذرات پی وی سی ضایعاتی را در آب پاشیده و به آن یک نرم کننده پی وی سی و یک ترکیب آلی (مانند هگزان) می‌افزایند که برای پی وی سی ناهلال و در ضمن با آب امتزاج نپذیرد. طبق این روش مخلوطی از ۱۲۰۰ گرم پی وی سی، ۱۲۰ گرم بیس (۲ - اتیل هگزیل) فتالات و ۳۲۰ گرم هگزان نرمال به مدت ۳۰ دقیقه در محیط آب به هم زده می‌شود و در انتها فاز آبی از فاز آلی که شامل ذرات جامد پی وی سی است، جدا می‌گردد [9]. برای بازیابی پی وی سی و نوار آلومینیم (Al-foil) از ضایعات کارخانه‌های داروسازی، ۲۰ قسمت از ضایعات را که شامل ۸۵٪ پلی وینیل کلرید (با جرم مخصوص ۱/۴ gcm<sup>-3</sup>) و ۱۵٪ آلومینیم (با جرم مخصوص ۲/۷ gcm<sup>-3</sup>) است به ابعاد حدود ۱mm خرد می‌کنند. سپس آنها را در یک جداکننده با ۸۰ قسمت کریلین تتراکلرید مخلوط کرده و مخلوط را تا نقطه جوش کریلین تتراکلرید (۸۰°C) گرم می‌کنند و ۱/۵ ساعت به هم می‌زنند. پس از سرد شدن مخلوط پی وی سی (۵/۵ قسمت در ساعت) شناور شده و آلومینیم (۱/۵ قسمت در ساعت) ته نشین می‌گردد [10]. اگر فقط بازیابی ضایعات آلومینیم مورد نظر باشد، ضایعات را ۵ ساعت در دمای ۲۵۰°C قرار می‌دهند تا رزین ذوب شده و از آلومینیم جدا گردد. در این روش آلومینیم با درجه خلوص ۹۸/۴٪ به دست می‌آید. [11].

ب - اهمیت بازیابی پی وی سی در ایران

صنایع داروسازی برای ارائه بهداشتی محصولات خشک خود (قرص، کپسول، قرص پوشش دار یا درازه) از نوار پی وی سی سخت و نوار آلومینیم استفاده می‌کنند. محصولات فوق الذکر کارخانه‌های داروسازی به کمک ماشین آلات بسته‌بندی دارویی بین دو نوار پی وی سی و آلومینیم به صورت پوسته (بلیستر blister) بسته‌بندی و به بازار ارائه می‌شوند. نوار آلومینیم پوشش بسیار نازکی از پلی اتیلن دارد که پی وی سی را به کمک گرما به نوار آلومینیم می‌چسباند (heat-sealed). ضایعات پی وی سی و نوار آلومینیم به دو صورت در کارخانه‌های داروسازی ایران ایجاد می‌شوند:

۱ - ضایعات ناشی از پاره شدن و آلودگی نوارها به هنگام حمل و نقل یا گیر کردن آنها در ماشین بسته‌بندی که در ایران حدود ۵٪ کل مصرف برآورد شده است. در این ضایعات نوار پی وی سی و آلومینیم از هم جدا بوده ولی پی وی سی برای مصارف دیگر باید آماده‌سازی شود. ۲ - ضایعات حین تولید که از حواشی پوسته جدا می‌شوند. این

ضایعات برای پی وی سی ۹٪ و برای نوار آلومینیم ۸٪ کل مصرف محاسبه شده است. جدول ۱ مقادیر مصرفی و ضایعاتی این دو کالای وارداتی را در صنایع داروسازی ایران در سال ۱۳۶۶ و مقادیر پیش‌بینی شده آنها را برای سال ۱۳۷۰ به دست می‌دهد.

جدول ۱ - مقادیر مورد نیاز و ضایعات پی وی سی و نوار آلومینیم در کارخانه‌های داروسازی ایران [12]

| سال  | تعداد (میلیون عدد) | ۵۰٪     | ۹۰٪    | ۵۰٪    |
|------|--------------------|---------|--------|--------|
| ۱۳۶۶ | ۱۰۰۵۰              | ۸۷۵۱۲۲  | ۱۱۵۵۱۷ | ۳۰۲۸۷۲ |
| ۱۳۷۰ | ۱۳۳۹۲              | ۱۱۸۸۶۸۹ | ۱۶۶۴۱۶ | ۳۳۳۷۵۷ |

هزینه ارزی این ضایعات در سال ۱۳۷۰ حدود یک میلیون دلار خواهد بود. از طرف دیگر، حفظ محیط زیست نیز اهمیت بازیابی پی وی سی را بیشتر می‌کند. معمولاً این ضایعات به حاشیه شهرها (محل جمع‌آوری زباله‌های شهری) منتقل می‌شود که به مرور زمان به علت تخریب پی وی سی و آزادسازی HCl محیط زیست به شدت آلوده می‌شود.

#### بخش تجربی

شناسایی پی وی سی مصرف در صنایع بسته‌بندی داروسازی ایران پی وی سی مصرفی در صنایع بسته‌بندی داروسازی ایران بشرح زیر شناسایی گردید:

الف - طیف IR: از سه نمونه پی وی سی مصرفی در صنایع دارویی ایران با نام‌های «۱۴۶ بی‌رنگ»، «۱۴۶ قرمز» و «۱۶۱ بی‌رنگ»، طیف IR گرفته شد. طیف IR آنها نشان داد که اجزای تشکیل‌دهنده این سه نمونه یکی است و فقط نوع رنگی حواری رنگ است. در ضمن سایر افزودنیها در هر سه نمونه یکسان می‌باشد و تنها ضخامت نوار پی وی سی با توجه به نقش آن در مصرف متفاوت است (شکل ۱).

ب - تعیین مواد معدنی: سوختن پی وی سی در کوره ۱۰۰۰°C و سوختن آن به وسیله سولفوریک اسید غلیظ\* در ۵۵۰°C، خاکستری بر جای می‌گذارد که به ترتیب ۱۵٪ تا ۳۰٪ درصد وزن آن را تشکیل می‌دهد. این خاکستر در HCl و HNO<sub>3</sub> حل نمی‌شود. لذا مقدار مواد معدنی در پی وی سی ناچیز بوده و می‌تواند گردوغبار هوا باشد.

ج - استخراج افزودنیها: از آنجا که پی وی سی در بسیاری از حلالهای آلی (تراهایدروفروران، متیل اتیل کتون، سیکلوهگزانسون،

\* سوختن با سولفوریک اسید به این ترتیب انجام می‌شود که ابتدا نمونه پی وی سی در کروزه چینی با سولفوریک اسید غلیظ مرطوب و حداکثر به مدت یک ساعت و در دمای ۵۵۰°C گرم می‌بیند. سپس خاکستر باقیمانده توزین می‌شود.

جیوه) استفاده شد. سپس محلول یکنواخت و شفاف ۰/۵۰۰٪ پی‌وی‌سی در سیکلوهگزانون تهیه و با استفاده از یک گرانروی سنج (Ubbelohde) در حمام آب ۲۰°C، زمان ریزش محلول پلیمر اندازه‌گیری شد و با رقیق کردن محلول فوق تا ۰/۱۶۷٪ این عمل ادامه پیدا کرد. با استفاده توأم از روابط هوگینس (Huggins) [14]:

$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k[\eta]^2 C$$

و کریمر (Kraemer) [15]:

$$\ln \eta_r / C = [\eta] + k'[\eta]^2 C$$

گرانروی ذاتی یا عدد گرانروی حد (limiting viscosity number),  $[\eta]$ ، تعیین و مساوی  $0.18375 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  گردید. با استفاده از رابطه مارک-هونیک (Mark-Houwink):

$$[\eta] = KM^\alpha$$

و به کار بردن مقادیر  $\alpha = 0.185$  و  $K = 1/16 \times 10^{-2}$  در شرایط عمل [13]،  $M_w$  برای پی‌وی‌سی مساوی  $43/643$  محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عدد  $K$  (K-value) از رابطه فیکنر چر (Fikentscher) [16]:

$$\log z = \left[ \frac{V_0 K'}{1 + V_0 K C} + K' C \right]$$

استفاده شد که در آن  $Z$  عبارت است از زمان ریزش (t) محلول ۱٪ پی‌وی‌سی در سیکلوهگزانون به زمان ریزش (t) هگزانون خالص:

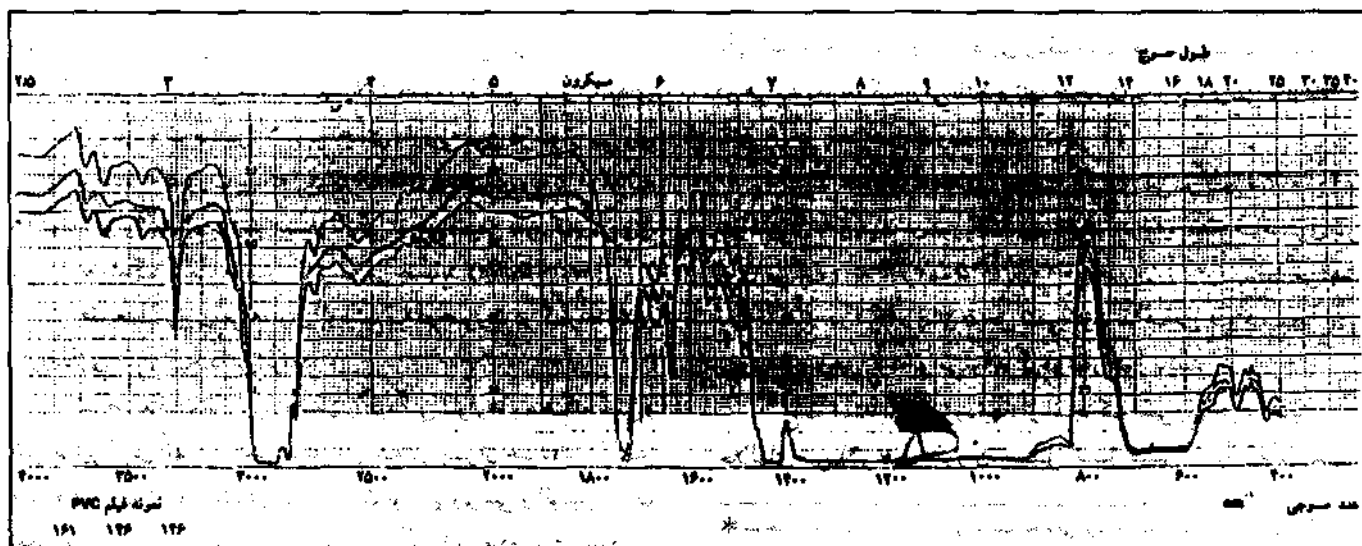
$$Z = \frac{t}{t_0} = \frac{332/176}{339/176} = 2/16$$

و  $C$ ، غلظت محلول پلیمر برحسب گرم در  $100 \text{ cm}^3$  می‌باشد. از آنجا که معمولاً به علت کوچکی  $K$  آن را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنند، مقدار  $K$  برای پی‌وی‌سی مصرفی در صنایع بسته‌بندی مواد دارویی مساوی  $62/9$  محاسبه شد.

سیکلوپنتانون، دی‌متیل فراماید، نیتروبنزن، دی‌متیل سولفوکسید، تولوئن، کسین، متیل کلرید، اتیلن کلرید، دی‌وکسان، ۱، ۲-دی‌کلروبنزن و دی‌ایزوپروپیل کتون) انحلال‌پذیر است و در تعدادی از آنها (هیدروکربنهای آروماتیک، آنیلین، استون، استیک انیدرید و نیتروبارافینها) متورم می‌شود [13]، اتر معمولی به عنوان یک انحلال مناسب و استخراج کننده افزودنیهای آن انتخاب و عمل استخراج در یک حمام گرم ۶۰°C به کمک دستگاه سوکسله (soxhlet) انجام شد. بعد از ۶ ساعت این عمل متوقف و پس از تبخیر اتر، مواد جامد باقیمانده توزین می‌شوند میزان مواد افزودنی پس از این مدت ۰/۳ درصد و پس از ۲۸ ساعت ۰/۶ درصد وزن پی‌وی‌سی می‌باشد و زمان بیش از ۲۸ ساعت (تا ۷۲ ساعت) درصد مواد استخراج شده را افزایش نمی‌دهد. طیف IR مواد استخراج شده در  $1730 \text{ cm}^{-1}$  پیوند کربونیل و در  $2800 - 3200 \text{ cm}^{-1}$  پیوند هیدروژنی نشان می‌دهد.

با استفاده از کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) و حلالهای مختلف مشخص شد که باقیمانده جامد از چند ماده تشکیل شده است. لذا با استفاده از یک ستون کروماتوگرافی به طول ۵۰ سانتیمتر و قطر ۳ سانتیمتر که تا ارتفاع ۳۰ سانتیمتری از سیلیکاژل - ۶۰ پر شده بود، و به کمک مخلوطی از حلالهای اتسریتول / اتسر (۴۰/۶۰) ماده، اکستیل مرکاپتو استیک اسید ( $\text{HS-CH}_2\text{-COOC}_8\text{H}_{17}$ ) و پلی اتیلن گلیکول ۲۰۰ مونو اولئات ( $\text{HO(CH}_2\text{CH}_2\text{O)}_p\text{COC}_8\text{H}_{17}$ ) جدا و توسط FT-IR شناسایی شدند (شکل ۲ و ۳). در ضمن ماده در ۱۸۰°C تخریب می‌شود.

د - تعیین وزن مولکولی و عدد  $K$  به کمک گرانروی سنج: ابتدا خالص‌سازی پی‌وی‌سی به این طریق انجام شد که نمونه پی‌وی‌سی در تراهدرو فوران حل و سپس در متانول راسب گردید. این عمل سه بار تکرار شد تا پی‌وی‌سی عاری از افزودنیها گردد. برای خارج کردن حلال از پی‌وی‌سی از گرمخانه‌ای (oven) بادمای ۳۰°C و در خلا (۲۰ میلی‌متر



شکل ۱ - طیف IR سه نمونه از پی‌وی‌سی مصرفی در صنایع داروسازی (به صورت فیلم)

## بازایی ضایعات پی وی سی و نوار آلومینیم

از آنجا که اطلاعات تجربی لازم از نحوه عمل بازایی پی وی سی مصرفی در صنایع بسته بندی دارویی دست یافتنی نبود [8, 10, 11] آزمایشهای زیر انجام گرفت:

الف - جداسازی با کرین تتراکلرید: ابتدا ضایعات به وسیله آسیاب (تا ابعاد حدود ۲ میلی متر) خرد شدند. سپس ۱/۵ قسمت وزنی از ضایعات با ۸/۵ قسمت وزنی کرین تتراکلرید، در حالی که به هم زده می شد، به مدت ۲ ساعت در دمای جوش حلال (۸۰°C) بازروانی (رفلاکس) شد. در پایان لایه بسیار نازک پلی اتیلن که بین پی وی سی و نوار آلومینیم واقع است در حلال حل شده، پی وی سی روی محلول و آلومینیم در ته ظرف جمع می شوند پس از برداشتن پی وی سی از روی محلول، باقیمانده صاف شده آلومینیم خالص جدا می گردد.

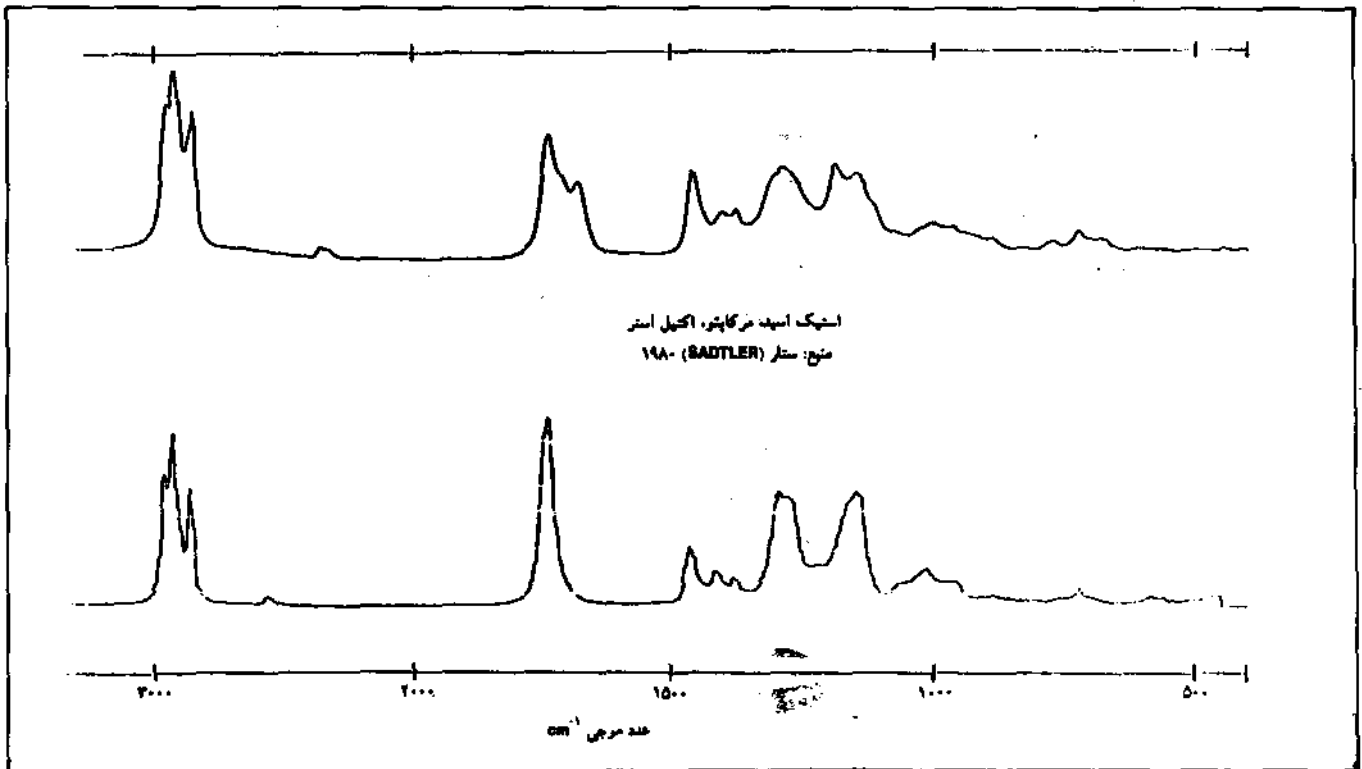
ب - جداسازی با حلالهای نفتی و محلول سیر شده کلسیم کلرید: ۱/۵ قسمت از ضایعات (به ابعاد ۲ میلی متر) با ۸/۵ قسمت وزنی حلال نفتی ویژه (AW410) مخلوط گردید و در حالی که مخلوط به هم می خورد در دمای جوش حلال (حدود ۱۰۰°C) به مدت یکساعت بازروانی شد. لایه نازک پلی اتیلن بین پی وی سی و آلومینیم در حلال ویژه حل و بدین ترتیب این دو از هم جدا شدند. مخلوط حاصل صاف شده و قسمت جامد آن (پی وی سی و نوار آلومینیم) با ۷ برابر وزنی محلول سیر شده کلسیم کلرید مخلوط گردید. پس از به هم زدن شدید و رها کردن مخلوط به حال خود، آلومینیم در ته ظرف و پی وی سی و محلول کلسیم کلرید سیر شده

قرار می گیرند. یادآوری می شود که حدود ۱٪ آلومینیم از پی وی سی جدا شده و روی محلول باقی می ماند.

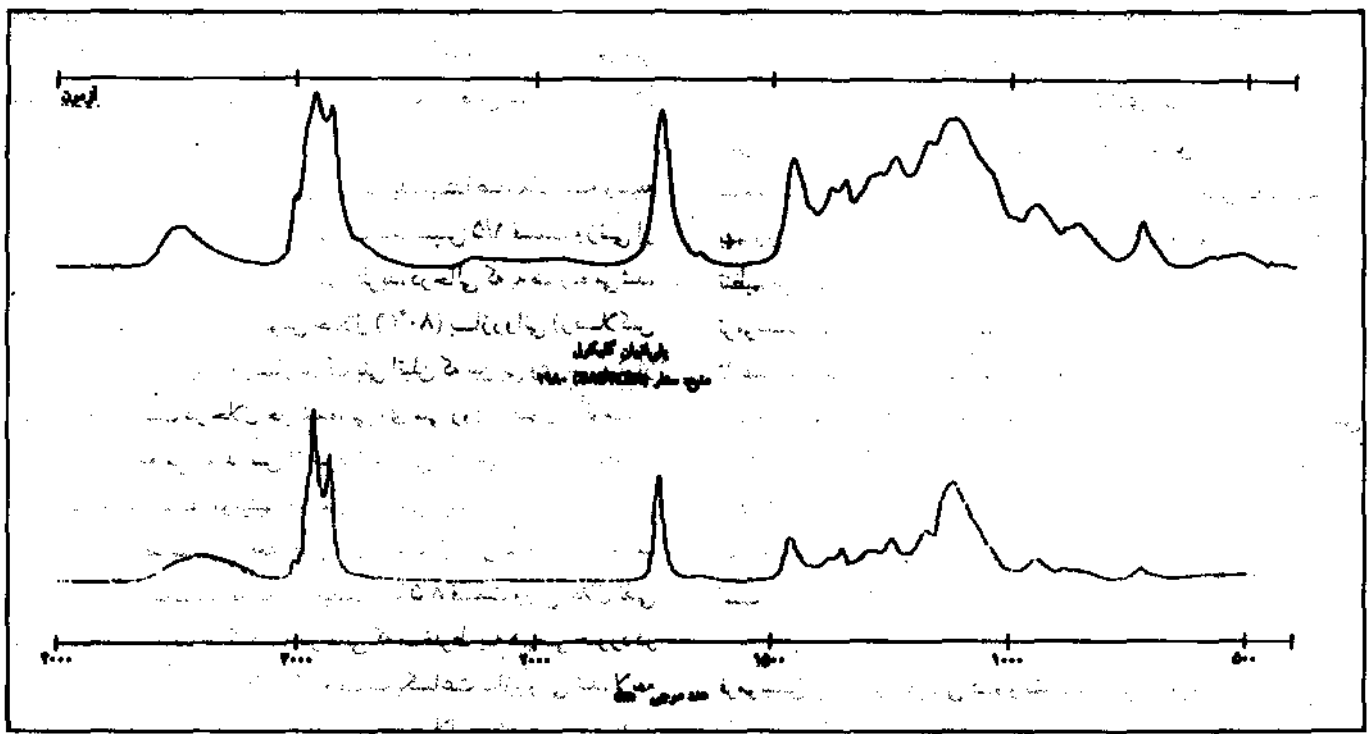
ج - جداسازی با نرم کن های DOP (دی اکتیل فتالات) و DBP (دی بوتیل فتالات): برای این منظور دستگاهی مطابق شکل ۴ طراحی و ساخته شد. این دستگاه یک راکتور دو جداره دارد و مجهز به دماسنج و بهم زن از نوع ماریجی است که توسط یک الکتروموتور با دور قابل تنظیم می چرخد. راکتور دارای روغن گرم است و دمای روغن با ترموستات کنترل می شود. راکتور مجرای ورودی و خروجی گاز N<sub>2</sub> دارد تا عمل جداسازی در غیاب اکسیژن انجام گیرد و تا حد امکان از تخریب پلیمر جلوگیری شود. شیر خروجی پی وی سی بازایی شده در پایین راکتور قرار دارد. یک صافی توری فلزی و به شکل استوانه (به شکل راکتور) در درون راکتور تعبیه و برای جلوگیری از اتلاف گرما، راکتور با الیاف شیشه عایق بندی شده است. طرحی از مراحل عمل در شکل ۵ آمده است.

فرمولبندی پی وی سی بازایی شده و مقایسه بعضی از خواص مکانیکی آن با پی وی سی بکر

الف - تهیه آمیزه از پی وی سی بازایی شده و پی وی سی بکر برای مقایسه بعضی از خواص مکانیکی پی وی سی بازایی شده با پی وی سی بکر (که وزن مولکولی آن تقریباً مساوی پی وی سی مصرفی در صنایع داروسازی بود. عدد K برای آن ۶۳ بود)، آمیزه های مختلفی از این



شکل ۲ - طیف IR - FT اکتیل مرکاپتو استیک اسید



شکل ۳ - طیف IR - FT پلی‌بوتادین گلیکول ۲۰۰ مونو اولفات

دو همراه با پرکننده، پایدارکننده، نرم‌کننده و روان‌کننده طبق جدول ۲ ساخته شد. روش کار به این ترتیب بود که هر یک از آمیزه‌های پیش گفته در دمای  $110 - 100^\circ\text{C}$  به هم زده شد تا پودر حاصل دارای توزیع یکتواختی از اجزای مختلف خود باشد. سپس پایدارکننده نیز به آن افزوده شد.

ب - تهیه ورقه از آمیزه‌های ساخته شده

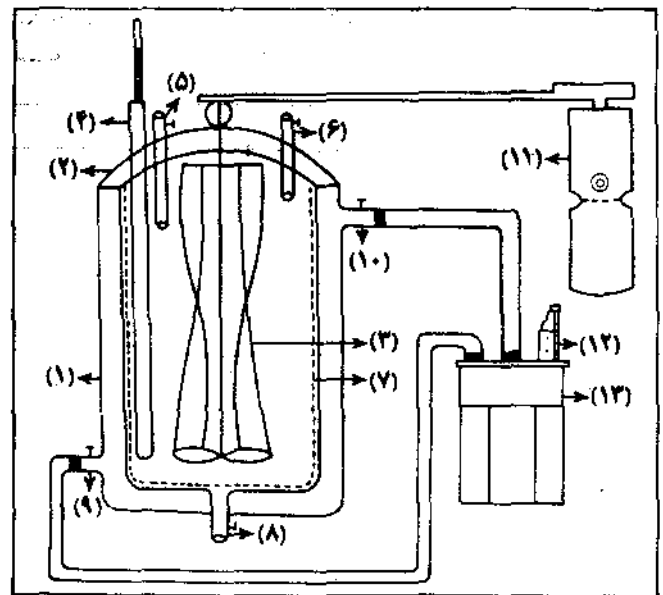
به وسیله یک دستگاه ورق‌ساز (Polystar 300 S) در دمای  $180^\circ\text{C}$  ورقه‌هایی به ضخامت  $0.5\text{ cm}$  ساخته و از آنها قطعاتی به ابعاد  $10 \times 10 \times 0.5\text{ cm}$  تهیه شد و سپس دبل‌هایی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی فراهم شد.

ج - اندازه‌گیری بعضی از خواص مکانیکی

برای اندازه‌گیری حداکثر نیروی وارد بر سطح پلیمر، حداکثر نیرو در نقطه پارگی و درصد ازدیاد طول تا پارگی از دستگاهی (ZWIC1445) استفاده شد که در آن سرعت کشش پلیمر  $50\text{ cm min}^{-1}$  بود. آزمایش برای هر نمونه چهار مرتبه تکرار شد که میانگین اعداد در جدول ۳ آمده است.

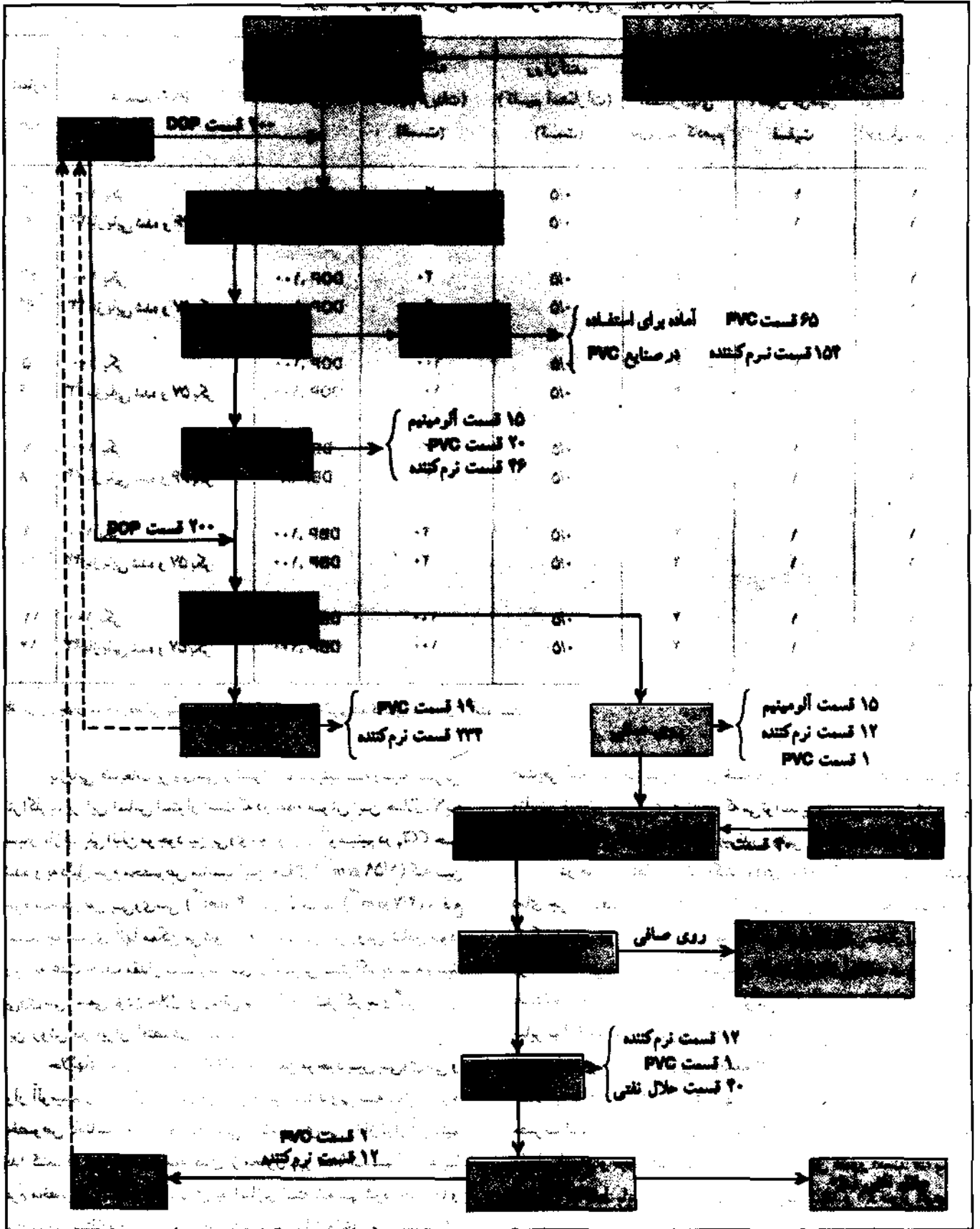
بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه کمی پی‌وی‌سی مصرفی در صنایع بسته‌بندی داروسازی ایران نشان می‌دهد که مواد افزودنی آن کمتر از ۱٪ است و این مقدار و جنس مواد مزبور برای کاربرد پی‌وی‌سی بازایی شده در صنایع دیگر، محدودیتی ایجاد نمی‌کند.



شکل ۴ - راکتور طراحی شده برای بازیابی PVC

- |                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| (۸) خروجی مواد      | (۱) بدنه اصلی راکتور       |
| (۹) ورودی روغن داغ  | (۲) درب راکتور             |
| (۱۰) خروجی روغن     | (۳) بهم زن از نوع مارپیچی  |
| (۱۱) موتور الکتریکی | (۴) محل قرار گرفتن دماسنج  |
| (۱۲) ترموستات       | (۵) ورودی گاز $\text{N}_2$ |
| (۱۳) حمام روغن      | (۶) خروجی گاز $\text{N}_2$ |
|                     | (۷) صافی                   |



شکل ۵ - طرح بازیابی PVC

جدول ۲ - ترکیب آمیزه‌های ساخته شده از PVC بازیابی شده و PVC بکر

| شماره نمونه | نوع PVC                 | قسمت نرم کننده | پرکننده (کلسیم کربنات) (قسمت) | رول کننده (کلسیم استنارات) (قسمت) | قسمت‌های مختلف            |              |                                 |
|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|
|             |                         |                |                               |                                   | استناراتهای پاریم - کلسیم | اکتیل سولفات | سولفات تلخ بیس (اوریل) مرکاپتید |
| ۱*          | ۱۰۰ بکر                 | DOP ۸۰         | ۳۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۳*          | ۳۳ بازیابی شده و ۶۶ بکر | DOP ۸۰         | ۳۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۳*          | ۱۰۰ بکر                 | DOP ۱۰۰        | ۲۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۳*          | ۳۳ بازیابی شده و ۵۷ بکر | DOP ۱۰۰        | ۲۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۵           | ۱۰۰ بکر                 | DOP ۱۰۰        | ۱۰۰                           | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۶           | ۳۳ بازیابی شده و ۵۷ بکر | DOP ۱۰۰        | ۱۰۰                           | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۷           | ۱۰۰ بکر                 | DBP ۸۰         | ۳۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۸           | ۳۳ بازیابی شده و ۶۶ بکر | DBP ۸۰         | ۳۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۹           | ۱۰۰ بکر                 | DBP ۱۰۰        | ۲۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۱۰          | ۳۳ بازیابی شده و ۵۷ بکر | DBP ۱۰۰        | ۲۰                            | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۱۱          | ۱۰۰ بکر                 | DBP ۱۰۰        | ۱۰۰                           | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |
| ۱۲          | ۳۳ بازیابی شده و ۵۷ بکر | DBP ۱۰۰        | ۱۰۰                           | ۰/۵                               | ۲                         | ۱            | ۱                               |

\* از این چهار نمونه ورقه‌هایی تهیه و خواص مکانیکی آنها اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول ۳ آمده است.

صنایعی که مصرف پی‌وی‌سی خالص در آنها ضروری است، روش مناسبی نیست. ولی برای صنایعی که می‌توانند پی‌وی‌سی بازیابی شده را با این مقدار نوار آلومینیم به کار ببرند، روشی کاملاً اقتصادی است. در مورد استفاده از نرم‌کننده‌های DOP و DBP به علت کاهش دمای جریان یافتن (flow temperature) پی‌وی‌سی، این ماده به راحتی و به کمک صافی فلزی از نوار آلومینیم جدا می‌شود. افزایش مقدار نسبتاً زیاد نرم‌کننده به پی‌وی‌سی موجب می‌شود که نتوان از آن به همین صورت استفاده کرد. به علاوه با افزودن پی‌وی‌سی بکر (مصرف نشده)، پرکننده و سایر مواد لازم به آن به خوبی در صنایع مختلف قابل استفاده است. بدین ترتیب احتیاجی به جداسازی نرم‌کننده از پی‌وی‌سی نیست. که این امر عملاً مورد تأیید شرکت تولیدی تهران قرار گرفته است، که یکی از مصرف‌کننده‌های عمده پی‌وی‌سی می‌باشد. در این روش مواد مورد نیاز داخلی ارزان و تجهیزات کار ساده و ساخت داخل کشور است. لذا برای صنایعی که فقط باید پی‌وی‌سی خالص مصرف کنند و ۱٪ نوار آلومینیم همراه پی‌وی‌سی مزاحم است، این روش توصیه می‌شود. مقایسه میانگینهای نتایج مندرج در جدول ۳ نشان می‌دهد نمونه‌ای

بازیابی ضایعات پی‌وی‌سی و نوار آلومینیم به وسیله کربن تتراکلرید بر این اساس استوار است که در نقطه جوش این حلال، لایه بسیار نازک پلی‌اتیلن موجود بین پی‌وی‌سی و نوار آلومینیم در  $CCl_4$  حل شده و به دلیل جرم مخصوص مناسب این حلال ( $1/59 gcm^{-3}$ ) که بین جرم مخصوص پی‌وی‌سی ( $1/4 gcm^{-3}$ ) و آلومینیم ( $2/7 gcm^{-3}$ ) واقع است، جداسازی آنها ممکن می‌شود. جداسازی در این روش کامل بوده ولی به علت جذب مقدار نسبتاً زیادی از کربن تتراکلرید به وسیله پی‌وی‌سی، سمی بودن حلال، وارداتی بودن کربن تتراکلرید و گرانی آن، این روش در ایران اقتصادی نیست.

حلالهای نفتی در حالی که لایه پلی‌اتیلن موجود بین پی‌وی‌سی و نوار آلومینیم را در دمای جوش خود حل می‌کنند ولی به دلیل جرم مخصوص نامناسب ( $0/8 gcm^{-3}$ ) نمی‌توانند پی‌وی‌سی را از نوار آلومینیم جدا کنند. از این رو در مرحله بعدی از محلول سیر شده کلسیم کلرید با جرم مخصوص  $1/5 gcm^{-3}$ ، برای جداسازی استفاده می‌شود. حلالها و مواد مورد استفاده در این روش ارزان و از تولیدات داخلی می‌باشند ولی به دلیل وجود ۱٪ از نوار آلومینیم در پی‌وی‌سی بازیابی شده، برای

