



## تهیه فیلم‌های جاذب پلی‌وینیل الکل: مقایسه‌ی فیلم‌های شبکه‌ای شده‌ی شیمیایی و پرتوی

نسرین شیخ\*، شهره کیانفر

پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران-ایران

**چکیده:** جاذب‌های پلی‌مری در سیستم‌های جداسازی کاربرد وسیعی دارند. در این مقاله به تهیه و بررسی نوعی جاذب پلی‌مری پرداخته می‌شود. بدین منظور فیلم‌های پلی‌وینیل الکل پس از تهیه شدن، از دو طریق شیمیایی با استفاده از محلول گلو تارالدید، و پرتوی با استفاده از پرتو گاما، شبکه‌ای شدند. در روش شیمیایی حضور و عدم حضور سولفوریک اسید در محیط و در روش پرتوی، محیط خشک و محیط آبی حاوی اسید مورد بررسی قرار گرفت. میزان جذب آب، درصد ژل و خواص کششی فیلم‌های شبکه‌ای شده برای هر دو روش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر درصد جذب آب در روش پرتوی و در محیط آبی حاوی اسید صورت می‌گیرد. به علاوه روش شبکه‌ای شدن پرتوی منجر به تهیه فیلم‌های نرم‌تر می‌گردد. میزان جذب دو فلز نیکل و منگنز توسط فیلم‌های شبکه‌ای شده به روش پرتوی و شیمیایی، برحسب pH و غلظت یون فلزی، بررسی گردید. بیشینه جذب فلز در pH=7 مشاهده شد. به علاوه با افزایش غلظت یون فلزی مقدار جذب یون افزایش یافت. به طور کلی بررسی‌ها نشان داد که جاذب تهیه شده به روش پرتوی برای فرایندهای جذب آب، و جاذب تهیه شده به روش شیمیایی در فرایندهای جذب یون فلزی موفق تراند.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌وینیل الکل، شبکه‌ای شدن پرتوی، شبکه‌ای شدن شیمیایی، خواص مکانیکی، جذب یون فلزی

## Preparation of Polyvinyl Alcohol Absorbent films: Comparison of Radiation and Chemical Crosslinked Films

N. Sheikh\*, S. Kianfar

Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran-Iran

**Abstract:** Polymeric absorbents are extensively used in the separation systems. In this paper, the preparation and characterization of a polymeric absorbent is considered. For this purpose Polyvinyl alcohol (PVA) films were prepared and then crosslinked by radiation method using gamma-ray and chemical methods by the use of Glutaraldehyde solution. In the chemical method, the reaction with and without sulphuric acid and in the radiation method the reaction in dry and also aqueous media containing acid were carried out. The gel content, water uptake and tensile properties were measured for all samples. The results showed that the radiation method in aqueous media containing acid led to the maximum gel formation. In addition, the radiation method led to the formation of films with more flexibility. Nickel and Manganese adsorptions were measured on the crosslinked films, which were obtained by the radiation and chemical methods. These measurements were made as a function of pH and also the concentration of metal ion in the solution. The maximum metal adsorption was found at pH=7. In addition, with increasing the metal ion concentration the amount of ion adsorption was increased. In general, our studies showed that an absorbent which is prepared by the radiation method is suitable for water adsorption and another formed by the chemical method is desirable in ion adsorption processes.

**Keywords:** Polyvinyl Alcohol, Radiation Crosslinking, Chemical Crosslinking, Mechanical Properties, Metal Ion Adsorption

\*email: nasheikh@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۱۱/۱۴



## ۱- مقدمه

پلی‌وینیل الکل (PVA) یک ترکیب غیرسمی، ارزان قیمت و قابل حل در آب است، و دارای خواص شیمیایی، فیزیکی و قابلیت فیلم‌دهی بسیار خوبی می‌باشد. این پلی‌مر به روش شیمیایی (با استفاده از گلو تارالدید و کربوکسیل اسیدهای چند جزئی) و یا روش رادیوشیمیایی نظیر تابش گاما و هم‌چنین روش فوتوشیمیایی شبکه‌ای می‌شود [۱ و ۲].

استفاده از پلی‌وینیل الکل شبکه‌ای شده در بسیاری از کاربردها نظیر صنایع بهداشتی و بسته‌بندی مواد غذایی رایج است [۳ و ۴]. در جداسازی مخلوط‌های مایع با نقاط جوش نزدیک به هم، محلول‌های آلی از نئوتروپ، ایزومرها و ترکیبات خطرناک حساس به گرما نیز از آن استفاده می‌شود [۵ و ۶]. اخیراً تحقیقاتی در زمینه جداسازی آب و ایزوپروپانول در سیستم پیوسته توسط فیلم‌های شبکه‌ای شده پلی‌وینیل الکل خالص و مخلوط شده با کیتوزان انجام شده است [۶].

امروزه یکی از روش‌های مناسب برای حذف عناصر فلزی سنگین از پساب‌های صنعتی، استفاده از جاذب‌های پلی‌مری است [۷ و ۸]. جاذب‌های پلی‌مری از طریق واکنش‌های شبکه‌ای شدن و گاهی از طریق پیوندزنی به دو روش پرتویی و شیمیایی تهیه می‌شوند. انتخاب جاذب و میزان جذب یون فلزی توسط آن به اتم‌های دهنده‌ی موجود در جاذب مانند نیتروژن، اکسیژن، گوگرد وابسته است. پیوند هر گروه موجود در جاذب با فلز به عواملی مانند تعداد جای‌گاه‌ها در جاذب، دسترس‌پذیری این جای‌گاه‌ها، حالت شیمیایی آن‌ها و میزان جاذبه بین جای‌گاه و فلز (قدرت پیوند) بستگی دارد [۸]. از آن جایی که پلی‌وینیل الکل پلی‌مری با گروه‌های هیدروکسیل می‌باشد، به علت حضور گروه‌های اخیر در ساختار خود می‌تواند برای جذب یون‌های فلزی از محلول‌های آبی نیز به کار گرفته شود.

هدف از این تحقیق تهیه‌ی فیلم‌های پلی‌وینیل الکل و شبکه‌ای نمودن آن‌ها به دو روش پرتوی و شیمیایی و سپس اندازه‌گیری و مقایسه‌ی خواص مکانیکی و میزان جذب یون فلز توسط آن‌ها می‌باشد تا ارتباط بین روش تهیه‌ی جاذب و خواص نهایی آن مشخص گردد.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱ مواد

پلی‌وینیل الکل با جرم مولکولی ۷۲۰۰۰ و درجه‌ی هیدرولیز بیش از ۹۸٪، سولفوریک اسید با درجه‌ی خلوص ۹۸٪، سدیم بی‌کربنات، سدیم سولفات، نیکل کلرید، منگنز کلرید و سدیم هیدروکسید تماماً از شرکت مرک تهیه شدند. فرمول شیمیایی پلی‌وینیل الکل این است



Poly (vinyl alcohol)

گلو تارالدید به صورت مایع با وزن مخصوص ۰/۷۲ دارای نقطه‌ی جوش  $188^\circ\text{C}$  می‌باشد. این ماده قابل حل در آب و الکل و غیر قابل اشتعال است. در این تحقیق به عنوان عامل شبکه‌ای کننده از گلو تارالدید ۵۰٪ تهیه شده از شرکت فلوکا استفاده شد. فرمول شیمیایی آن چنین است



Glutaraldehyde

## ۲-۲ دستگاه‌ها

پرتودهی نمونه‌ها در دمای اتاق تحت اتمسفر هوا با استفاده از گاما سل آزمایشگاهی، چشمه‌ی کبالت-۶۰ با آهنگ دز  $1/41 \text{ kGy/h}$  به انجام رسید. عملیات استخراج جزء قابل حل نمونه توسط حلال در دمای جوش و با بهره‌گیری از دستگاه سوکسله انجام شد. برای انجام آزمون کشش از دستگاه کشش Zwick استفاده شد. تعیین میزان یون فلزی منگنز و نیکل موجود در محلول آبی با استفاده از دستگاه جذب اتمی GBC مدل ۹۰۲ صورت گرفت. تعیین pH محلول‌های یون فلزی توسط pH متر Mettler انجام پذیرفت.

## ۲-۳ تهیه‌ی فیلم پلی‌وینیل الکل

پودر پلی‌وینیل الکل با آب مقطر در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط و به مدت ۱ روز هم زده شد. سپس این محلول در قالب شیشه‌ای با ابعاد  $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 0/23\text{cm}$  ریخته شد. بعد از ۲ روز نگهداری در شرایط آزمایشگاه، آب آن به‌طور کامل تبخیر و فیلم‌ها به راحتی از روی شیشه جدا گردید. ضخامت هر



عملیات برای هر مورد سه بار تکرار و میانگین نتایج محاسبه گردید. بیشینه تورم ژل نیز با استفاده از رابطه زیر به دست آمد

$$S_{\max} \% = (W_S - W_F) / W_F * 100$$

که در آن  $W_S$  وزن فیلم متورم نهایی می‌باشد.

#### ۲-۲-۲-۲ آزمون کشش فیلم‌های خشک و تر

این آزمون بر روی نمونه‌های شبکه‌ای شده پرتوی (درصد ژل ۸۴/۳۵) و شیمیایی در محیط اسیدی (درصد ژل ۹۹/۴۹) انجام پذیرفت. برای این منظور نمونه‌های خشک و تر به طول ۲۵mm، عرض ۱۵-۲۰mm و ضخامت تقریبی ۰/۴-۰/۶mm تهیه شدند. فاصله بین دو فنک دستگاه ۳۵mm و سرعت کشش ۵mm/min انتخاب شد.

#### ۲-۲-۱-۸ اندازه‌گیری قابلیت جذب یون فلزی توسط فیلم‌های شبکه‌ای شده

در این بخش اندازه‌گیری میزان جذب یون‌های نیکل و منگنز به دلیل سمیت و فراوانی آن‌ها در محیط‌های آبی، در نظر گرفته شد. ابتدا محلول‌های آبی استاندارد ۱۰۰۰ppm یون‌های منگنز و نیکل، به ترتیب، از حل کردن مقدار مشخصی از نمک‌های  $MnCl_2$  و  $NiCl_2$  تهیه شد. برای ارزیابی تأثیر pH محلول بر میزان جذب یون‌های فلزی توسط فیلم شبکه‌ای شده، ابتدا از محلول‌های فوق محلول‌هایی با غلظت یون‌های فلزی ۵۰۰ppm و ۸۰ppm و با pHهای برابر با ۳، ۵، ۷ تهیه شد (برای تنظیم pH از محلول سدیم هیدروکسید و کلریدریک اسید استفاده گردید). سپس فیلم شبکه‌ای شده (جاذب) در این محلول‌ها قرار گرفت. در آزمایش‌های جذب از فیلم‌های شبکه‌ای شده پرتوی (درصد ژل ۸۴/۳۵) و شیمیایی در محیط اسیدی (درصد ژل ۹۹/۴۹) استفاده شد. در تمام موارد مقدار جاذب برابر ۰/۰۹g و مقدار محلول حاوی یون فلزی برابر با ۲۰ml انتخاب گردید. پس از گذشت ۱۲ ساعت، غلظت یون فلزی موجود در محلول به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. میزان جذب،  $q_e$ ، یون فلزی بر حسب mg/g توسط رابطه زیر به دست آمد

$$q_e = (C_0 - C_e) V / M$$

فیلم توسط کولیس در ۵ نقطه (مرکز و چهار گوشه) اندازه‌گیری و مقدار متوسط آن ۱۵۰ میکرومتر به دست آمد.

#### ۲-۲-۴ شبکه‌ای شدن پرتویی فیلم پلی‌وینیل الکل

در این روش یک بار فیلم‌های خشک به طور مستقیم در معرض پرتو در بازه‌ی دز ۲۰ تا ۱۰۰kGy قرار داده شدند و در مرحله‌ی دیگر فیلم‌های خشک قبل از پرتودهی، به مدت ۱۲ ساعت در درون محلولی شامل آب (۱۰۰۰ml)، سولفوریک اسید (۲۰ml) و سدیم سولفات (۲۰۰g) قرار داده شدند [۱]. استفاده از سدیم سولفات به منظور جلوگیری از انحلال فیلم پلی‌وینیل الکل در محلول آب و اسید بود. فیلم‌ها بعد از این که در این محلول کاملاً خیس خوردند به ظروف شیشه‌ای که هر یک حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول فوق بود منتقل گردیده و توسط چشمه‌ی کبالت-۶۰ در بازه‌ی دز ۲۰ تا ۱۰۰kGy پرتودهی شدند.

#### ۲-۲-۵ شبکه‌ای شدن شیمیایی فیلم پلی‌وینیل الکل

فیلم‌های خشک به دست آمده در ۲۰ میلی‌لیتر از محلول‌های آبی مختلفی از گلو تارالدید با درصد وزنی - حجمی (w/v) ۱ تا ۵۰ به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. در یک مرحله‌ی دیگر به طور مشابه عمل شد با این تفاوت که به تمام محیط‌ها ۰/۴ میلی‌لیتر سولفوریک اسید نیز اضافه گردید.

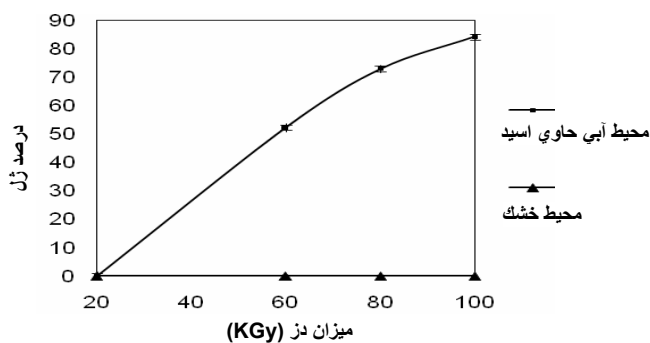
#### ۲-۲-۶ تعیین درصد ژل و بیشینه تورم فیلم شبکه‌ای شده

برای تعیین درصد ژل، کلیه‌ی فیلم‌های تهیه شده ابتدا خشک، توزین و سپس برای ۶ ساعت در سیستم سوکسله توسط آب جوش شستشو داده شدند. به این ترتیب، کلیه‌ی مواد شبکه‌ای نشده و قابل حل از فیلم جدا گردید. این فیلم‌ها مجدداً خشک و توزین شدند. هر مورد سه بار تکرار و از نتایج حاصل میانگین‌گیری شد. درصد ژل با استفاده از رابطه زیر به دست آمد

$$Gel \% = W_F / W_0 * 100$$

که در آن،  $W_0$  وزن فیلم خشک اولیه و  $W_F$  وزن فیلم خشک نهایی بعد از استخراج با حلال است.

برای تعیین درصد تورم ژل، فیلم‌های خشک شده به مدت ۴۸ ساعت در درون آب غوطه‌ور و سپس توزین شدند. این

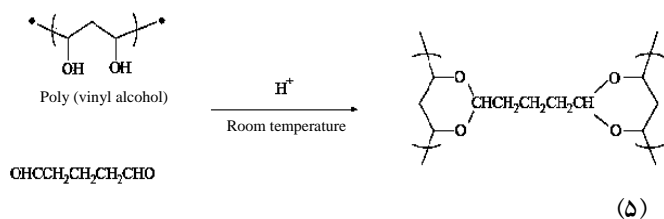


شکل ۱- نمودار تغییرات درصد ژل پلی‌وینیل الکل برحسب مقدار دز جذب شده در محیط‌های آبی و خشک.

هر اندازه دز تابشی افزایش یابد میزان این رادیکال‌ها و در نتیجه، احتمال برخوردها و واکنش‌ها و در نهایت درصد ژل به همان اندازه افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود درصد بیشینه‌ی ژل در دز ۱۰۰ kGy (برابر با ۸۴٫۳۵) به دست آمد.

شکل ۲ تغییرات درصد ژل فیلم پلی‌وینیل الکل تهیه شده به روش شیمیایی را به صورت تابعی از درصد گلو تارالدید نشان می‌دهد. در این روش از گلو تارالدید به عنوان عامل شبکه‌ای کننده استفاده شده است. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید در نبود سولفوریک اسید در محیط میزان ژل به دست آمده کم‌تر از زمانی است که از محیط حاوی اسید استفاده می‌شود. علت این امر آن است که اسید به عنوان کاتالیزور عمل نموده و واکنش شبکه‌ای شدن را تسریع می‌نماید. در این حالت، درصد بیشینه‌ی ژل ۹۹٫۴۹ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در محیط حاوی اسید با افزایش مقدار گلو تارالدید در ورای ۱٪ تغییرات چندان محسوسی رخ نمی‌دهد. اما در محلول بدون اسید با افزایش مقدار گلو تارالدید، به علت کند بودن واکنش با درگیر شدن تدریجی تعداد بیش‌تری از گروه‌های هیدروکسیل پلی‌وینیل الکل و واکنش با گلو تارالدید میزان ژل به تدریج افزایش می‌یابد. مکانیسم واکنش شبکه‌ای شدن شیمیایی این پلی‌مر توسط

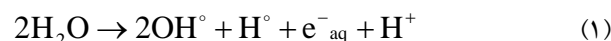
محلول گلو تارالدید به صورت زیر می‌باشد [۴]



که در آن،  $C_0$  غلظت اولیه‌ی یون فلزی برحسب ppm،  $C_e$  غلظت تعادلی آن در همان محلول برحسب ppm و  $V$  حجم محلول برحسب لیتر و  $M$  جرم جاذب برحسب گرم می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

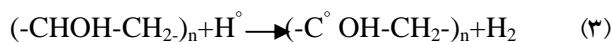
شکل ۱ درصد ژل پلی‌وینیل الکل تهیه شده به روش پرتوی در دزهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار دز درصد ژل در محیط آبی حاوی اسید افزایش می‌یابد، این در حالی است که در محیط خشک و فاقد اسید در شرایط عملیاتی کاملاً یکسان هیچ ژلی تشکیل نمی‌شود. علت این امر آن است که در محیط آبی حاوی اسید، در اثر تابش، رادیکال‌هایی تولید می‌شوند که فرایند شبکه‌ای شدن را تسریع می‌کنند. به این معنی که آب در اثر تابش به رادیکال‌های  $OH^\bullet$  و  $H^\bullet$  و هم‌چنین الکترون هیدراته ( $e^-_{aq}$ ) تجزیه می‌گردد



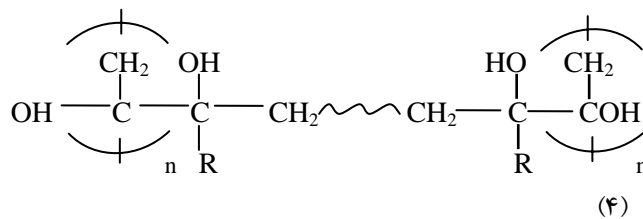
الکترون هیدراته، در محیط اسیدی مطابق واکنش زیر  $H^+$  را به  $H^\bullet$  تبدیل می‌کند



رادیکال هیدروژن، با جدا نمودن اتم هیدروژن از زنجیر پلی‌وینیل الکل و واکنش با آن به مولکول هیدروژن تبدیل می‌شود

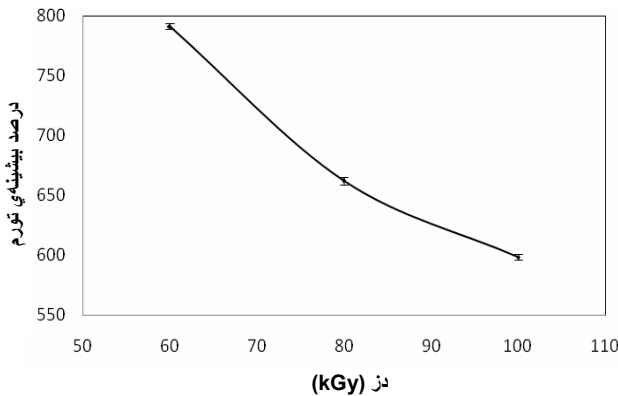


در نهایت رادیکال‌های به دست آمده از مرحله‌ی قبل با هم ترکیب شده و ماده‌ی شبکه‌ای شده‌ی نهایی به دست می‌آید [۱]

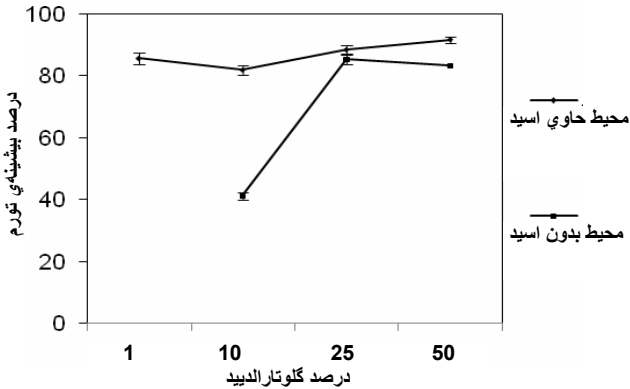




خشک کاهش می‌یابد که این امر به دلیل حضور مولکول‌های آب در بین زنجیره‌های شبکه است. به هر حال از آنجایی که فیلم در حالت تر کاربرد دارد خواص در حالت تر مورد توجه قرار می‌گیرد و مشاهده می‌شود که فیلم شبکه‌ای شده به روش شیمیایی دارای استحکام بالاتر و فیلم مشابه شبکه‌ای شده به روش پرتوی به دلیل ازدیاد طول بیش‌تر در نقطه‌ی شکست، از انعطاف پذیری بالاتری برخوردار است.



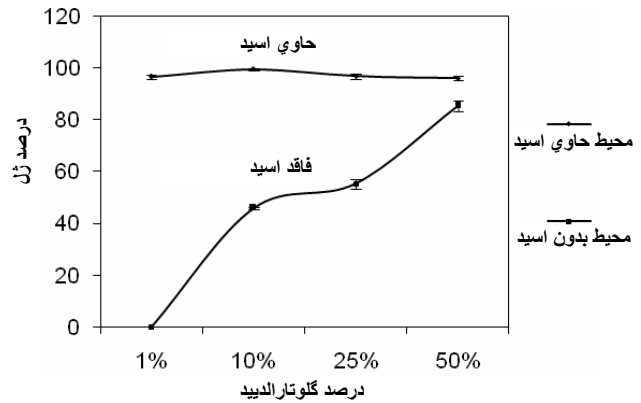
شکل ۲- نمایش تغییرات درصد بیشینه تورم پلی‌وینیل‌الکل برحسب دز جذب شده.



شکل ۳- نمایش تغییرات درصد بیشینه تورم پلی‌وینیل‌الکل برحسب درصد گلو تارالدید در محیط‌های حاوی و بدون اسید.

جدول ۱- خواص کششی فیلم‌های پلی‌وینیل‌الکل شبکه‌ای شده.

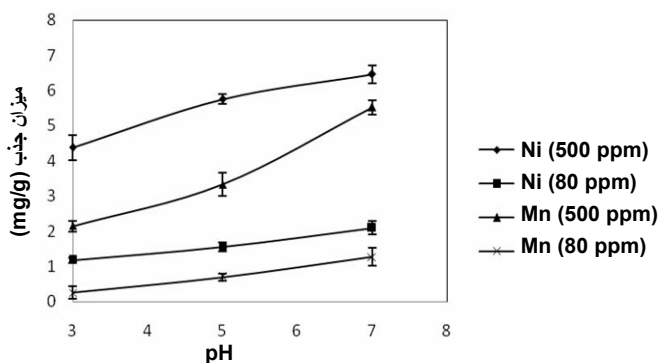
نمونه	حالت خشک		حالت تر	
	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست (%)	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست (%)
فیلم پلی‌وینیل‌الکل شبکه‌ای شده پرتوی	29.1 ± 1.39	398.67 ± 6.1	0.9022 ± 0.05	352 ± 5.67
فیلم پلی‌وینیل‌الکل شبکه‌ای شده شیمیایی در محیط حاوی اسید	42.59 ± 0.6	34 ± 2.8	1.80 ± 0.28	7.5 ± 0.7



شکل ۴- نمودار تغییرات درصد ژل پلی‌وینیل‌الکل برحسب درصد گلو تارالدید در محیط‌های حاوی و بدون اسید.

بنابر نتایج فوق حداکثر درصد ژل در روش شیمیایی و در محیط حاوی گلو تارالدید و برابر با ۹۹/۴۹ به دست آمد. نتایج به دست آمده برای تورم بیشینه‌ی ژل در هر دو روش پرتوی و شیمیایی، در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تورم بیشینه با افزایش دز کاهش می‌یابد، این مسئله به افزایش چگالی شبکه‌ی پلی‌وینیل‌الکل در اثر افزایش دز تابشی مربوط است که سبب تراکم ساختاری در پلی‌مر می‌شود. لذا تعداد مولکول‌های آب کم‌تری در ژل جای می‌گیرد که این امر سبب کاهش تورم می‌شود. در شکل ۴ نتایج به دست آمده برای تورم بیشینه‌ی ژل در آب با تغییر درصد گلو تارالدید گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در محیط حاوی اسید به دلیل سرعت بالای واکنش تشکیل ژل که پیش‌تر بدان اشاره شد، با افزایش غلظت گلو تارالدید تغییر چندانی در میزان تورم رخ نمی‌دهد. در محیط بدون اسید نیز درصد تورم ژل با افزایش غلظت گلو تارالدید افزایش می‌یابد که به دلیل تشکیل تدریجی و تکامل ساختاری ژل است. به طوری که مشاهده می‌شود در درصد‌های بالاتر گلو تارالدید به دلیل تکمیل ساختار ژل و کاهش تحرک زنجیره‌ها تغییرات درصد تورم کم می‌شود.

نتایج آزمون کشش نمونه‌های شبکه‌ای شده به روش شیمیایی و پرتوی در جدول ۱ نشان داده شده است. در این بررسی، نمونه‌ی تهیه شده به روش شیمیایی در محیط فاقد اسید به علت داشتن جمع‌شدگی و عدم بر خورداری از قابلیت کشش انتخاب نشد. بر اساس اطلاعات جدول ۱، در هر دو نمونه‌ی شبکه‌ای شده‌ی پرتوی و شیمیایی، خواص کششی در حالت تر نسبت به حالت



شکل ۴- نمودار تغییرات میزان جذب نیکل و منگنز در غلظت‌های مختلف بر حسب pH، بر روی جاذب‌های پلی‌وینیل الکل شبکه‌ای شده‌ی پرتوی.

#### ۴- نتیجه‌گیری

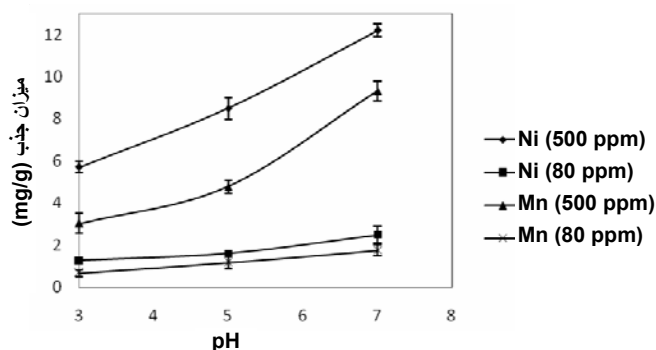
در این تحقیق، شبکه‌ای شدن پرتوی و شیمیایی فیلم‌های پلی‌وینیل الکل برای تهیه‌ی نوعی جاذب پلی‌مری برای یون‌های فلزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با تابش‌دهی فیلم پلی‌وینیل الکل تا دز ۱۰۰ کیلوگری در محیط خشک هیچ‌گونه زلی تشکیل نمی‌شود، ولی تابش‌دهی فیلم در محیط آبی حاوی اسید منجر به تشکیل ژل گردید که با افزایش دز تابش‌دهی میزان ژل افزایش یافت.

در روش شیمیایی، حضور اسید باعث افزایش قابل توجه ژل گردید و در محیط بدون اسید میزان ژل تشکیل شده به مقدار گلو تارالدید مصرفی بستگی داشت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که درصد تورم ژل حاصل از روش پرتوی بسیار بیش‌تر از ژل تهیه شده به روش شیمیایی است.

نتایج آزمون کششی نشان داد که روش شبکه‌ای شدن شیمیایی باعث تهیه‌ی فیلمی مستحکم و خشک و روش پرتوی منجر به تهیه‌ی فیلم انعطاف‌پذیر می‌گردد بنابراین با توجه به کاربرد مورد نظر می‌توان روش مناسب را برگزید.

نتایج هم‌چنین نشان داد که میزان جذب توسط جاذب تابعی از pH، غلظت اولیه و نوع فلز موجود در محلول و نیز نوع جاذب می‌باشد، به طوری که با افزایش pH محلول میزان جذب توسط هر دو نوع جاذب افزایش یافت. هم‌چنین مشخص شد که در شرایط عملیاتی کاملاً یکسان (دما، حجم محلول، غلظت اولیه، pH، میزان جاذب) میزان جذب نیکل بسیار بیش‌تر از منگنز بود. لذا علاوه بر شرایط محیطی، ویژگی‌ها و مشخصات یون موجود در محلول نیز بر میزان جذب تأثیرگذار است.

نتایج جذب یون‌های فلزی توسط فیلم‌های شبکه‌ای شده در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که با افزایش pH محلول میزان جذب افزایش می‌یابد. این بدان علت است که در pH‌های پایین یون هیدروژن به دلیل غلظت بالا برای ایجاد پیوند با جای‌گاه‌های موجود روی جاذب با فلز رقابت می‌کند و از آن‌جا که گروه‌های عاملی روی جاذب اسیدهای ضعیفی مانند گروه‌های هیدروکسیل هستند که در pH‌های پایین پروتونه می‌شوند، میزان جذب کاهش می‌یابد. اما همان‌طور که pH افزایش می‌یابد غلظت یون‌های هیدروژن کاهش یافته و گروه‌های عاملی بیش‌تری برای پیوند با فلز در دسترس قرار می‌گیرند. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهند که تحت شرایط عملیاتی کاملاً یکسان (دما، میزان جاذب، حجم محلول، غلظت اولیه و pH) میزان جذب نیکل بیش‌تر از منگنز می‌باشد. لذا مشخص می‌شود که علاوه بر شرایط عملیاتی، ویژگی‌ها و مشخصات یون مانند شعاع یون، طبیعت یون، ساختار مولکولی و... نیز در میزان جذب مؤثر می‌باشد. از آن‌جا که نیکل دارای شعاع یونی کوچک‌تری نسبت به منگنز است، راحت‌تر می‌تواند خود را به گروه‌های جذب‌کننده ساختار جاذب که در این‌جا گروه‌های اکسیژن‌دار می‌باشد برساند. در نتیجه پیوند بیش‌تری با جاذب برقرار کرده و میزان جذب آن بیش‌تر می‌شود. علاوه بر این با افزایش غلظت یون از ۸۰ ppm به ۵۰۰ ppm میزان جذب افزایش می‌یابد. علت این امر آن است که با افزایش غلظت یون‌های فلزی احتمال برخورد این یون‌ها با جاذب افزایش یافته و در نتیجه میزان پیوند بین جاذب و یون فلزی افزایش می‌یابد.



شکل ۵- نمودار تغییرات میزان جذب نیکل و منگنز در غلظت‌های مختلف بر حسب pH، بر روی جاذب‌های پلی‌وینیل الکل شبکه‌ای شده‌ی شیمیایی در محیط حاوی اسید.



## References:

1. W.H. Philipp, L.C. Hsu, "Three methods for in situ cross-linking of Polyvinyl alcohol films for application as ion-conducting membranes in potassium hydroxide electrolyte," NASA Technical Paper 1407, Scientific and Technical Information Office (1979).
2. S.L. Bourke, et al, "A photo-crosslinked poly (vinyl alcohol) hydrogel growth factor release vehicle for wound healing applications," AAPS Pharm. Sci, **5 (4)**, 33-48 (2003).
3. S.Y. Park, S.T. Jun, K.S. Marsh, "Physical properties of PVOH/Chitosan blended films cast from different solvents, Food Hydrocolloids," **15**, 499-502 (2001).
4. S.B. Bahrami, S.S. Kordestani, H. Mirzadeh, P. Mansoori, "Poly (vinyl alcohol)-chitosan blends: preparation, mechanical and physical properties," Iran. Polym. J, **12**, 139-146 (2003).
5. D.A. Devi, B. Smitha, S. Sridhar, T.M. Aminabhavi, "Dehydration of 1, 4-dioxane through blend membranes of poly (vinyl alcohol) and chitosan by prevaporation," J. Membr. Sci, **280**, 138-147 (2006).
6. A. Svang-Ariyaskul, et al, "Blended chitosan and polyvinyl alcohol membranes for the prevaporation dehydration of isopropanol," J. Membr. Sci, **280**, 815-823 (2006).
7. J.M. Wasikiewicz, N. Nagasawa, M. Tamada, H. Mitomo, F. Yoshii, "Adsorption of metal ions by carboxymethylchitin and carboxymethylchitosan hydrogels," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, **B 236**, 617-623 (2005).
8. E.A. Hegazy, A.M. El-Nagar, M.M. Senna, A.H. Zahran, "Removal of industrial pollutants from wastewaters by graft copolymers," International Conference on hazardous waste: sources, effect and management, Cairo-Egypt (1998).
9. J.A. Kiernan, "Formaldehyde, formalin, paraformaldehyde and glutaraldehyde: what they are and what they do," Microscopy Today, **1**, 8-12 (2000).

به طور کلی مشخص شد که جاذب شبکه‌ای شده به روش پرتوی برای فرایندهای جذب از آب مناسب‌تر بوده و جاذب شبکه‌ای شده به روش شیمیایی در فرایندهای جذب یون فلزی موفق‌تر عمل می‌کند.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از خانم سولماز تقوی، کارشناس آزمایشگاه محیط زیست پژوهشکده، به جهت انجام آزمون‌های جذب اتمی تشکر و قدردانی می‌گردد.