



# تهیه فیلم پلی وینیل بوتیرال و بررسی خواص مکانیکی و شفافیت نوری آن

مرتضی حاجیان\*، مهدی راستگو

اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه شیمی، صندوق پستی ۷۳۴۴۱-۸۱۷۴۶

دریافت: ۸۷/۱۷/۱۴، پذیرش: ۸۸/۳/۳

## چکیده

در این پژوهش، پلی وینیل بوتیرال در فرایند آبی از واکنش تراکمی پلی وینیل الکل و بوتانال در مجاورت امولسیون کننده و در محیط اسیدی تهیه شد. پلیمر حاصل به کمک روش های طیف سنجی زیرقرمز، گرماوزن سنجی و گرماوزن سنجی تفاضلی شناسایی شد. درصد گروه وینیل الکل در پلی وینیل بوتیرال به روش شیمیایی و مطابق با استاندارد معین شد. پودر پلی وینیل بوتیرال با ۲۵ درصد وزنی گروه وینیل الکل به کمک نرم کننده های دارای دمای جوش زیاد با استفاده از پرس گرمایی و قالب آلومینیمی به فیلم قابل استفاده در ساخت شیشه های ایمنی تبدیل شد. برای این منظور، نرم کننده های بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات (DOP) و بیس (۲-اتیل هگزیل) ترفتالات (DOTP) به شکل آماده خریداری شد. نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) (TEGB) سنتز و استفاده شد. مطالعه خواص مکانیکی و بررسی شفافیت نوری فیلم های پلی وینیل بوتیرال تهیه شده نشان داد، فیلم حاصل از مخلوط دو نرم کننده TEGB و DOP با ۳۰ درصد وزنی و نسبت ۶۵ به ۳۵ خواص مکانیکی و شفافیت نوری مطلوبی دارد.

## واژه های کلیدی

پلی وینیل بوتیرال، پلی وینیل الکل، شیشه ایمنی، خواص مکانیکی، شفافیت

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

[m.hajjan@chem.ui.ac.ir](mailto:m.hajjan@chem.ui.ac.ir)

## Preparation and Investigation of Mechanical Properties and Optical Clarity of Polyvinylbutyral Film

M. Hajjan\* and M. Rastgo

Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Isfahan, P.O. Box: 81746-73441, Isfahan, Iran

Received 2 February 2009, accepted 24 May 2009

## Abstract

Polyvinyl butyral (PVB) was synthesized by condensation reaction of polyvinyl alcohol (PVA) with butanal in aqueous medium containing an effective emulsifier and an inorganic acid as catalyst. The product was characterized by, IR, TG and DTG techniques. Percentage of vinyl alcohol groups in the PVB was determined by a chemical method according to a standard method. Some clear and soft film samples containing the PVB and some high boiling point plasticizers were made by hot press. For this purpose plasticizers such as bis(2-ethylhexyl)phthalate (DOP) and bis(2-ethylhexyl) terephthalate (DOTP) were purchased and the triethylene glycol bis(2-ethylhexanoate) (TEGB) was synthesized. The film samples containing 30 percent mixture of triethylene glycol bis(2-ethylhexanoate) and bis (2-ethylhexyl)phthalate with ratio 65/35 showed some improved mechanical and optical properties.

## Key Words

polyvinyl butyral, polyvinyl alcohol, safety glass, mechanical properties, clarity

(\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [m.hajjan@chem.ui.ac.ir](mailto:m.hajjan@chem.ui.ac.ir)

## مقدمه

در سال ۱۹۴۴، برای اولین بار پلی‌وینیل بوتیرال (PVB) توسط رابرت برک در یکی از شرکت‌های آمریکایی از واکنش پلی‌وینیل الکل با بوتانال (طرح ۱) در محیط اسیدی و در مجاورت دودسیل بنزن سولفونات تهیه شد [۱]. پلی‌وینیل بوتیرال را می‌توان از دو فرایند محلول و آبی تهیه کرد. در فرایند آبی پلی‌وینیل الکل در آب یا محلول آبی حاوی یک اسید قوی به عنوان کاتالیزور حل شده و با بوتیرآلدهید واکنش می‌دهد. طی واکنش استال دار شدن، پلی‌وینیل بوتیرال از مخلوط واکنش رسوب می‌کند [۲-۴].

در فرایند محلول پلی‌وینیل بوتیرال در حلال آلی مانند اتانول تهیه می‌شود [۵]. پلی‌وینیل بوتیرال نسبت به پلی‌وینیل استال‌های حاصل از سایر آلدهیدها نظیر فرمالدهید، استالدهید و پروپیونالدهید بهترین گزینه برای شیشه‌های ایمنی است، زیرا این پلیمر در محدوده گسترده دمایی انعطاف پذیر است [۶].

در سال ۱۹۰۳، شیمی دان فرانسوی به نام ادوارد بندیکتوس، با استفاده از نیترات سلولوز نخستین شیشه ایمنی را ساخت [۷]. مشکل این نوع شیشه‌ها، زرد شدن نیترات سلولوز بر اثر گذشت زمان و قرار گرفتن در معرض نور آفتاب بود. در سال ۱۹۳۳ به جای استفاده از نیترات سلولوز به عنوان ماده نگه‌دارنده، از استات سلولوز استفاده شد که در اثر نور خورشید شفافیت و رنگ آن کمتر تغییر می‌کرد. اما، در دماهای متفاوت استحکام نداشت و کدر می‌شد. مطالعات بیشتری که در زمینه مواد

پلاستیکی انجام شد، نشان داد که صمغ پلی‌وینیل بوتیرال از استات سلولوز بهتر است. از سال ۱۹۳۹ تاکنون این ماده جزء اصلی تشکیل دهنده شیشه ایمنی است [۸، ۹].

در حال حاضر، فیلم پلی‌وینیل بوتیرال نرم شده در ایران ساخته نمی‌شود و به شکل آماده از سایر کشورها وارد می‌شود و در ساخت شیشه‌های ایمنی به کار می‌رود. بنابراین، فیلم پلی‌وینیل بوتیرال از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، این فیلم به طور آزمایشگاهی با کیفیت مطلوب برای اولین بار در ایران ساخته شد.

## تجربی

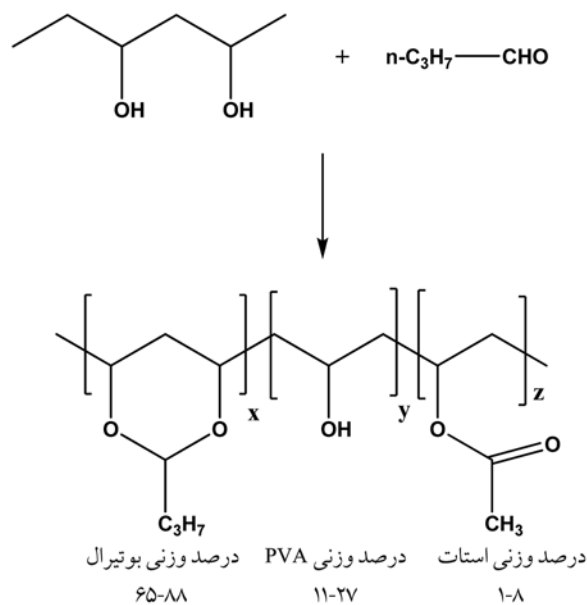
## مواد

از پلی‌وینیل الکل با وزن مولکولی  $72000 \text{ g/mol}$  و درجه آب کافت ۹۸ درصد، بوتانال، سدیم دودسیل بنزن سولفات، پتاسیم هیدروکسید، سولفوریک اسید غلیظ، ۲،۱-دی کلرواتان، پیریدین، انیدریداستیک، استون، متانول، اتانول، دی متیل سولفوکسید، تتراهیدروفوران، استیک اسید، تری اتیلن گلیکول (TEG)، ۲-اتیل هگزانوئیک اسید، بیس (۲-اتیل هگزیل) ترفتالات (DOTP) و بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات (DOP)، استفاده شده است. استیک اسید صنعتی با درجه خلوص ۹۸ درصد از پتروشیمی اراک خریداری شد. سایر مواد مصرفی با درجه خلوص زیاد از شرکت‌های Aldrich، Merck و Fluka خریداری شدند.

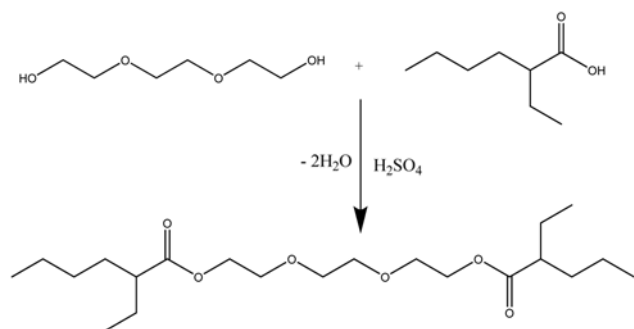
## دستگاه‌ها

طیف‌های زیر قرمز (IR) پلی‌وینیل الکل، پلی‌وینیل بوتیرال و نرم‌کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) (TEGB) در محدوده  $4000$  تا  $400 \text{ cm}^{-1}$  در دمای محیط به کمک طیف‌سنج زیرقرمز مدل PU 9716 ساخت شرکت Philips ثبت شد. به منظور تهیه لایه‌ای شفاف از پلی‌وینیل بوتیرال، پودر این پلیمر در حلال متانول به حالت ژل در آمده و ژل حاصل روی سطح شیشه‌ای صاف و تمیز کشیده شد. پس از خارج شدن حلال لایه شفاف و نازک پلیمر از سطح شیشه جدا شد.

برای تهیه لایه شفاف از پلی‌وینیل الکل، ابتدا پودر این پلیمر در آب حل و سپس محلول روی سطح ورقه آلومینیمی به شکل نازک پخش شد. پس از تبخیر حلال در دمای  $70^\circ\text{C}$  لایه‌ای نازک و شفاف از پلی‌وینیل الکل به جای ماند. از لایه‌های شفاف این دو پلیمر برای برداشت طیف زیرقرمز استفاده شد. برای برداشت طیف زیرقرمز نرم‌کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) قرص شفافی از KBr تهیه و سپس قطره‌ای از نرم‌کننده روی قرص پخش شد.



طرح ۱- واکنش سنتز پلی‌وینیل بوتیرال غیر شبکه‌ای.



طرح ۲- واکنش کلی سنتز نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات).

انجام شد. آب حاصل از واکنش استری شدن به کمک تقطیر آژوتروپ با حلال تولوئن خارج شد. در مرحله بعد، واکنش تکمیلی در خلاء و دمای  $150^{\circ}\text{C}$  برای ۳ h انجام شد. طیف IR نرم کننده نشان داد ماده اولیه به طور تقریباً کامل به محصول تبدیل شده‌اند.

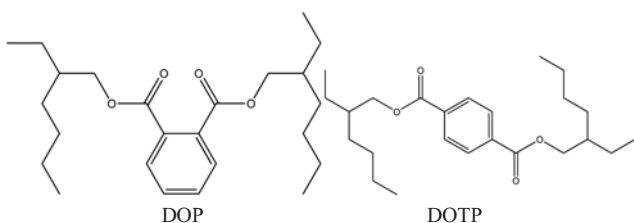
(کششی C-O)  $1171$ ، (کششی C=O)  $1737$  (KBr,  $\text{cm}^{-1}$ ) IR  
(کششی  $\text{CH}_3$ )  $1383$ ، (کششی  $\text{CH}_2$ )  $1458$ ، (کششی CH آلیفاتیک)  $2964$ .

### تهیه فیلم نرم شده پلی وینیل بوتیرال

برای تهیه فیلم پلی وینیل بوتیرال، نرم کننده مورد نظر یا مخلوطی از نرم کننده‌ها با نسبت‌های وزنی مشخص همراه با درصد وزنی مشخصی از ضداکسنده ایرگانوکس  $1010$  با پودر پلیمر مخلوط شد. مخلوط حاصل در قالب پخش و درپوش آن گذاشته شد. قالب در زیر پرس گرمایی قرار داده شد. فیلم پلی وینیل بوتیرال در مدت زمان  $15$  min و در دمای  $190^{\circ}\text{C}$  تهیه شد. از سه نوع نرم کننده زیر برای تهیه فیلم استفاده شد:

- ۱- بیس (۲-اتیل هگزیل) ترفتالات (DOTP)، (طرح ۳).
- ۲- بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات (DOP)، (طرح ۳).
- ۳- تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) (TEGB).

نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) با نسبت‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد وزنی استفاده شد. هم چنین، نرم کننده مزبور به



طرح ۳- ساختار نرم کننده‌های بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات (DOP) و بیس (۲-اتیل هگزیل) ترفتالات (DOTP).

طیف‌های تجزیه گرمایز (TGA) و تجزیه گرمایز سنجی (DTG) به کمک دستگاه تجزیه گرمایز سنجی متلر مدل TA4000 در محیط نیتروژن و با سرعت افزایش دمای  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ثبت شد. آزمون کشش روی فیلم‌های پلی وینیل بوتیرال با ضخامت  $0.8$  mm مطابق استاندارد ASTM D638 و با استفاده از دستگاه کشش مدل SMT-20 ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام انجام شد [۱۰]. شفافیت نوری فیلم‌های پلی وینیل بوتیرال به کمک طیف سنج مرئی - فرابنفش ساخت شرکت Shimadzu مدل UV-160 بررسی شد.

### روش‌ها

#### تهیه پلی وینیل بوتیرال

مقدار  $7$  g پلی وینیل الکل با وزن مولکولی  $72000$  g/mol و  $2$  درصد باقی مانده گروه استات در محلولی از آب و استیک اسید ( $50:50$ ) حاوی  $1/5$  درصد وزنی سدیم دودسیل بنزن سولفات و چند قطره سولفوریک اسید غلیظ در دمای  $10^{\circ}\text{C}$  در حدود  $30$  min هم زده شد. مقدار  $4/06$  g بوتانال به مخلوط اضافه شد. مخلوط برای مدت زمان  $120$  min در دمای  $10^{\circ}\text{C}$  هم زده شد. پس از آن با افزایش دما به  $70^{\circ}\text{C}$  واکنش برای  $90$  min در این دما ادامه یافت. با اضافه کردن آب مقطر پلی وینیل بوتیرال به طور کامل رسوب داده شد. با محلول پتاس  $50$  درصد، pH به  $10$  تا  $11$  رسانده شد. محصول صاف و با آب مقطر شسته شد و پودر سفید رنگ پلی وینیل بوتیرال برای  $30$  min در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در آب مقطر هم زده شد تا pH به  $8$  کاهش یافت. pH قلیایی برای پایداری گرمایی رزین ضروری است [۱۱، ۱۲]. محصول صاف و در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  درون گرم خانه ثابت ماندن وزن خشک شد.

(کششی OH)  $3409$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) محلول ریخته‌گری، (PVB) IR  
(کششی  $\text{CH}_3$ )  $1377$ ، (کششی CH آلیفاتیک)  $2947$ ،  
(کششی CO)  $999$ ، (کششی C-O-C)  $1136$ ، (کششی  $\text{CH}_3$ )

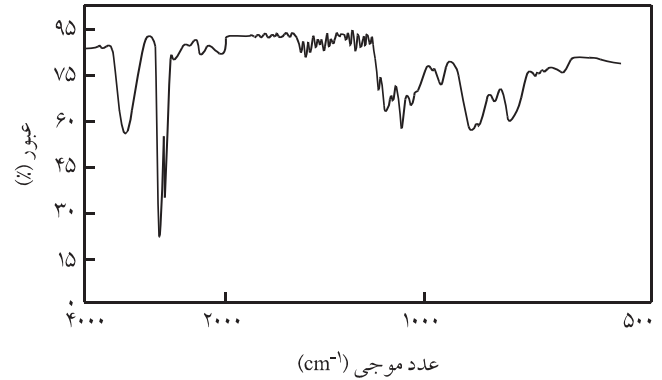
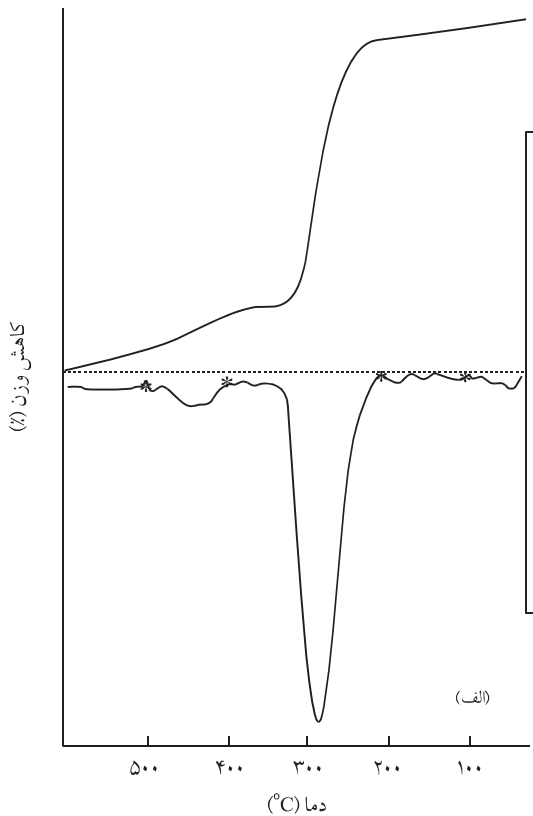
(کششی OH)  $3350$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) محلول ریخته‌گری، (PVA) IR  
(کششی CO)  $1087$ ، (کششی  $\text{CH}_2$ )  $1423$ ، (کششی CH آلیفاتیک)  $2931$ .

#### تعیین درصد گروه وینیل الکل در پلی وینیل بوتیرال

درصد گروه وینیل الکل در پلی وینیل بوتیرال سنتز شده به روش شیمیایی، مطابق با استاندارد ASTM D1396 معین شد [۱۳].

#### تهیه نرم کننده TEGB

واکنش استری شدن بین ۲-اتیل هگزانوئیک اسید و تری اتیلن گلیکول با نسبت‌های مولی ۲ به ۱ در مجاورت سولفوریک اسید غلیظ به عنوان کاتالیزور (طرح ۲)، ابتدا در دمای  $120^{\circ}\text{C}$  و محیط نیتروژن به مدت  $3$  h



شکل ۱ - طیف زیرقرمز پلی وینیل بوتیرال در دمای محیط.

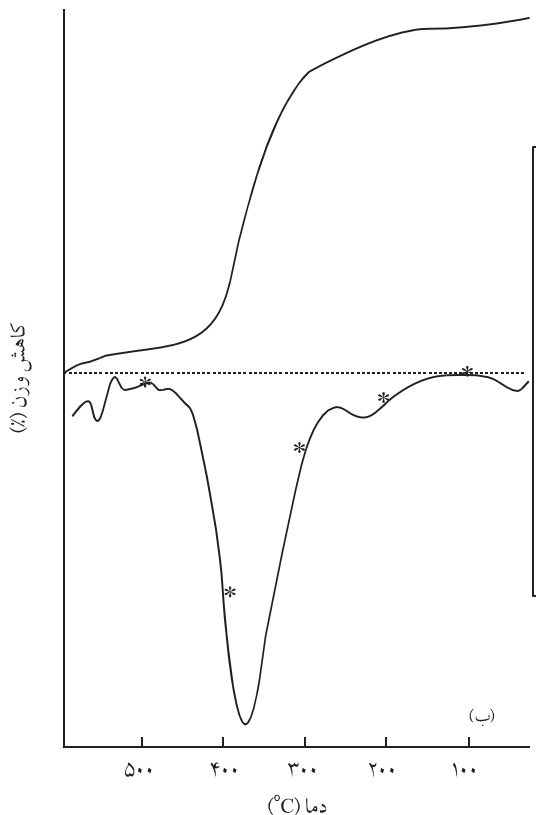
شکل مخلوط با DOP با ۳۰ درصد وزنی استفاده شد که نسبت‌های وزنی این نرم کننده با DOP به ترتیب ۷۰ به ۳۰، ۶۵ به ۳۵ و ۶۰ به ۴۰ بود.

## نتایج و بحث

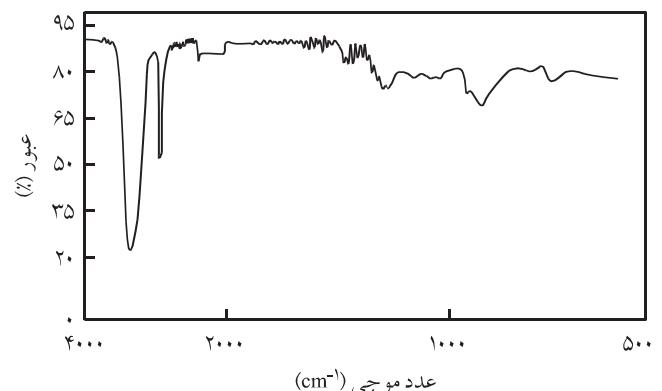
### شناسایی پلی وینیل بوتیرال

تشکیل حلقه بوتیرال و سایر گروه‌ها در اثر استال‌دار شدن پلی وینیل‌الکل با طیف زیرقرمز تأیید شد که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. گروه بوتیرال در ناحیه  $1136 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد که در طیف زیرقرمز پلی وینیل‌الکل در شکل ۲ قابل مشاهده نبود [۱۶-۱۴].

طیف‌های TGA و DTG پلی وینیل‌الکل و پلی وینیل بوتیرال در شکل ۳ آمده است. در طیف پلی وینیل‌الکل کاهش وزن در دمای  $285^\circ\text{C}$  مشاهده شد که مربوط به گروه وینیل‌الکل است. این کاهش وزن در طیف پلی وینیل بوتیرال تا حد زیادی از بین رفته و یک کاهش وزن زیاد در دمای  $373^\circ\text{C}$  مشاهده شد که مربوط به گروه



شکل ۳ - منحنی‌های TGA و DTG برای: (الف) پلی وینیل‌الکل (PVA) و (ب) پلی وینیل بوتیرال (PVB).



شکل ۲ - طیف زیرقرمز پلی وینیل‌الکل در دمای محیط.

کششی OH الکلی مربوط به تری اتیلن گلیکول در طیف IR مشاهده نشد که تأییدی بر واکنش کامل مواد اولیه بود.

### نتایج حاصل از تهیه فیلم با نرم کننده‌ها

نرم کننده بیس (۲-اتیل هگزیل) ترفتالات به دلیل داشتن ساختار آروماتیک قابلیت اختلاط خوبی با زنجیرهای پلی‌وینیل بوتیرال نداشت. این نرم کننده در دمای فرایند از پلیمر جدا شده و فیلم حاصل پس از سرد شدن حالتی خشک و شکننده داشت. هم‌چنین، فیلم حاصل دارای کیفیت و شفافیت نوری کمی بود. نرم کننده بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات با وجود داشتن ساختار آروماتیک، به دلیل شباهت ساختاری با زنجیرهای پلی‌وینیل بوتیرال اختلاط نسبتاً خوبی با آن داشت. نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) به دلیل داشتن ساختار آلیفاتیک به خوبی با پلی‌وینیل بوتیرال مخلوط شد و فیلم حاصل کیفیت و شفافیت نوری بسیار خوبی داشت.

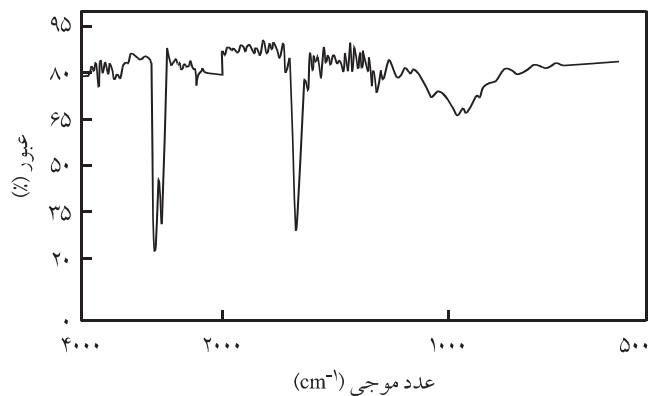
### نتایج حاصل از بررسی خواص مکانیکی فیلم پلیمر

فیلم های پلی‌وینیل بوتیرال با درصدهای وزنی متفاوت از نرم کننده‌ها تهیه و خواص مکانیکی آنها با آزمون کشش مطالعه شد. فیلم های حاصل از نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) شفافیت نوری و افزایش طول خوبی نشان دادند. اما، مقاومت کششی این فیلم ها کم بود. فیلم های دارای نرم کننده بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات مقاومت کششی بسیار زیاد اما افزایش طول کم نشان دادند. پس از مطالعه خواص مکانیکی و شفافیت نوری فیلم های پلی‌وینیل بوتیرال مقدار بهینه نرم کننده در ساخت فیلم ۳۰ درصد وزنی معین شد. برای این که فیلم حاصل مقاومت کششی و افزایش طول خوبی داشته باشد، مخلوط تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) و بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات به ترتیب با نسبت وزنی ۶۵ به ۳۵ به عنوان نرم کننده به کار رفت که نتایج حاصل از آزمون کشش در شکل ۵ و جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱ - نتایج حاصل از انجام دومرتبه آزمون کشش برای فیلم تهیه شده با ۳۰ درصد وزنی از مخلوط نرم کننده‌های TEGB و DOP با نسبت ۶۵ به ۳۵ (نقطه شکست و تسلیم یکسان هستند).

انرژی* (J)	مدول (MPa)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	تنش کششی (MPa)	مقدار کشش نمونه (mm)	نیروی کششی (N)
۴۷۸۹/۱۷۶	۹/۴۲۴۸	۲۰۳/۶۱۹۷	۱۹/۱۹۰۸	۱۳۲/۳۵۲۸	۹۲/۱۱۵۹

\* انرژی جذب شده به وسیله نمونه زیر تنش در ناحیه کشسان.

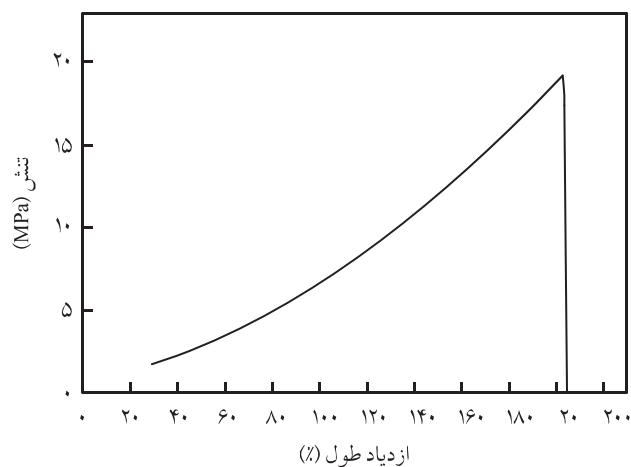


شکل ۴ - طیف زیرقرمز نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) در دمای محیط.

بوتیرال است [۱۷]. از آن جا که در پلی‌وینیل بوتیرال گروه‌های هیدروکسی باقی مانده به طور تصادفی بین گروه‌های بوتیرال توزیع شده‌اند، بنابراین، پیوند هیدروژنی از بین رفته و گروه الکلی در دمای پایین تری نسبت به پلی‌وینیل الکل خارج شده است.

### شناسایی نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات)

در طیف IR نرم کننده (شکل ۴) ارتعاش کششی پیوند C=O استری در  $1737\text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی پیوند اتری در  $1171\text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی پیوند C-H آلیفاتیک در  $2964\text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش خمشی  $\text{CH}_2$  آلیفاتیک در  $1458\text{ cm}^{-1}$  و ارتعاش خمشی  $\text{CH}_3$  در  $1383\text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد. ارتعاش



شکل ۵ - منحنی تنش - ازدیاد طول فیلم تهیه شده با مخلوط نرم کننده‌های تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانات) و DOP با ۳۰ درصد وزنی و نسبت ۶۵ به ۳۵.

## نتیجه گیری

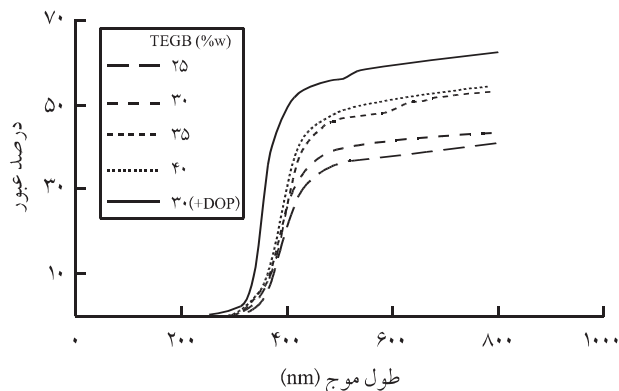
پلی وینیل الکل با بوتیر آلدهید به دو شکل درون مولکولی و بین مولکولی می تواند واکنش دهد. در واکنش درون مولکولی، دو گروه هیدروکسی مجاور در زنجیر پلی وینیل الکل با یک مولکول آلدهید واکنش داده و یک گروه بوتیرال حاصل می شود. در واکنش بین مولکولی دو گروه هیدروکسی از دو زنجیر مجزای پلی وینیل الکل با آلدهید واکنش می دهد. محصول حاصل از واکنش بین مولکولی شبکه ای است و قابل فرایند نیست.

در این پژوهش، ابتدا پلی وینیل بوتیرال غیر شبکه ای با ۲۵ درصد وزنی گروه وینیل الکل باقی مانده تهیه شد. محصول به کمک طیف سنجی زیرقرمز و تجزیه گرمایی شناسایی شد. هم چنین، نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) تهیه و با طیف سنجی زیرقرمز شناسایی شد. خواص مکانیکی و شفافیت نوری فیلم های ساخته شده از مخلوط رزین پلی وینیل بوتیرال با نرم کننده های مناسب با درصدهای وزنی مختلف بررسی شد. مقدار کلی نرم کننده برای ساخت فیلم ۳۰ درصد وزنی معین شد. برای این که فیلم پلی وینیل بوتیرال استحکام کششی و افزایش طول مطلوب داشته باشد، از مخلوط دو نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) و DOP با نسبت ۶۵ به ۳۵ استفاده شد.

نرم کننده DOP به دلیل داشتن ساختار آروماتیک، زمانی که به حالت مخلوط با نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) استفاده شد، باعث افزایش استحکام کششی فیلم حاصل شد. هم چنین، نرم کننده مزبور مقاومت گرمایی را افزایش داد که در نتیجه فیلم پلی وینیل بوتیرال در دمای فرایند تخریب نشد و شفافیت نوری مطلوبی داشت.

## مراجع

1. Penfold A.R., *Plastics and Synthetic Fibers*, Government Printer, Sydney, 1956.
2. Stamatoff G.S., Preparation of Polyvinyl Acetal Resins, *US Pat. 2,422,754*, 1947.
3. Stamatoff G.S., Manufacture of Polyvinyl Acetal Resins, *US Pat. 2,400,957*, 1946.
4. Rombach L.H., Condensation Process for Polyvinyl Acetals, *US Pat. 3,153,009*, 1964.
5. Lavin E., Marinaro L.H., and Richard W.R., Preparation of



شکل ۶- منحنی های بررسی شفافیت نوری فیلم های پلی وینیل بوتیرال با مخلوط نرم کننده های TEGB و DOP.

## نتایج حاصل از مطالعه شفافیت نوری فیلم های پلیمری

برای تعیین شفافیت نوری مقدار عبور نور در محدوده طول موج ۲۵۰ تا ۸۰۰ nm اندازه گیری شد. مقدار عبور نور بر حسب طول موج به شکل منحنی رسم شد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، با افزایش درصد نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) از ۲۵ به ۴۰ درصد وزنی، مقدار عبور نور و در نتیجه شفافیت نوری فیلم های پلیمری افزایش یافت.

نرم کننده بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات به دلیل داشتن ساختار آروماتیک مقاومت گرمایی بیشتری نسبت به نرم کننده های آلیفاتیک دارد. این نرم کننده وقتی به حالت مخلوط با نرم کننده تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) استفاده شد، مقاومت گرمایی فیلم پلیمر را افزایش و تخریب گرمایی را در زمان فرایند تا حد قابل توجهی کاهش داد. فیلم تهیه شده با ۳۰ درصد وزنی از مخلوط نرم کننده های تری اتیلن گلیکول بیس (۲-اتیل هگزانوات) و بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات به ترتیب با نسبت ۶۵ به ۳۵ بهترین شفافیت نوری را نشان داد (شکل ۶).

Polyvinyl Acetal Resins of Improved Stability, *US Pat. 2,496,480*, 1950.

6. Wade B., *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, John Wiley and Sons, New York, **8**, 381-399, 2004.
7. Benedictus E., *Trasparent Screen*, *US Pat. 830,398*, 1906.
8. Robert M., *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley and Sons, New York, **13**, 978-993, 1979.
9. Staudinger J. and Keoleian GA., Management of End-of-Life Vehicles (ELVs) in the USA. A Report of the Center for Sus-

- tainable Systems, University of Michigan, 2001.
10. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, Annual Book of ASTM Standard, 08.01, D 638-00, 2000.
  11. Liu R., He B., and Chen X., Degredation of Polyvinyl Butyral and Its Stabilization by Bases, *Polym. Degrad. Stab.*, **93**, 846-853, 2008.
  12. Jeong H.K., Rooney M., David D.J., Macknight W.J. Karasz, F.E., and Kajiyama T., Miscibility of Polyvinyl Butyral/Nylon 6 Blends, *Polymer*, **41**, 6003-6013, 2000.
  13. Standard Test Methods for Chemical Analysis of Poly(vinyl butyral), Annual Book of ASTM Standard, 06.03, D 1396-92, 2000.
  14. Salam L.A., Matthews R.D., and Robertson H., Pyrolysis of Polyvinyl Butyral Binder in Thermoelectric Green Tapes, *J. Eur. Soc.*, **20**, 1375-1383, 2000.
  15. Kingston G.C. and Yuen H.K., Application of Evolved Gas Analysis to the Study of Polyvinyl Butyral Thermal Stability, *Thermochimica Acta*, **116**, 317-327, 1987.
  16. Marklic Z. and Kovacic T., Thermogravimetric Investigation of Volatility of Dioctyl Phthalate from Plasticized Poly(vinyl chloride), *Thermochimica Acta*, **322**, 129-135, 1998.
  17. Dhaliwal A.K. and Hay J.N., The Characterization of Polyvinyl Butyral by Thermal Analysis, *Thermochimica Acta*, **391**, 245-255, 2002.