

# سنتر و شناسایی مونومر بیس فنول A - گلیسیدیل متاکریلات و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت دندانیه تهیه شده از آن

Synthesis and Characterization of Bisphenol A - glycidyl Methacrylate  
Monomer and Study of the Physical and Mechanical Properties of Its Dental  
Composite

محمد عطایی\*، فهیمه عسکری، مهدی نکومنش حقیقی، سید علی هاشمی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۰/۴/۲۰، پذیرش: ۸۱/۴/۱۸

## چکیده

در این پژوهش، مونومر دو عاملی بیس فنول A - گلیسیدیل متاکریلات (Bis-GMA) با استفاده از اپوکسی بر پایه بیس فنول A و متاکریلیک اسید در مجاورت کاتالیزور مناسب ساخته شد. پیشرفت و اکتش با اندازه گیری تغییرات پیکهای مشخصه در مواد اولیه و محصول به وسیله طیف سنجی FTIR تعقیب شد. همچنین، اثر روند دما روی زمان و اکتش مطالعه شد. محصول خالص سازی و با روشهای طیف سنجی FTIR و  $^1\text{H NMR}$ ، تجزیه عنصری و تیتراسیون شناسایی شد. نتایج نشان می دهد که محصول خلوص بالایی دارد. در مرحله بعد، یک نمونه کامپوزیت دندانیه با استفاده از این مونومر ساخته و خواص فیزیکی و مکانیکی آن اندازه گیری شد. از نتایج معلوم می شود که کامپوزیت ساخته شده خواص خوبی دارد.

(مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال پانزدهم، شماره ۵، صفحه ۲۲۱-۲۱۵، ۱۳۸۱)

## واژه های کلیدی

مواد دندانیه، کامپوزیت دندانیه،  
فاز ماتریس،  
مونومر بیس فنول A - گلیسیدیل متاکریلات،  
خواص فیزیکی و مکانیکی

## مقدمه

خوب، راحتی کاربرد و نداشتن آثار بد جانبی برای بیمار و دندانپزشک باعث شده است تا این کامپوزیتها بویژه در ترمیم دندانهای پیشین با سرعت جایگزین مواد سنتی ترمیم دندان شوند [۱،۲]. این کامپوزیتها در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط

استفاده از کامپوزیتهای دندانیه (رزین کامپوزیت) در دندانپزشکی ترمیمی در سالهای اخیر افزایش چشمگیری داشته است و امروزه این مواد کاربرد زیادی در ترمیم پوسیدگی دندانها یافته اند. زیبایی فوق العاده، خواص فیزیکی و مکانیکی

## Key Words

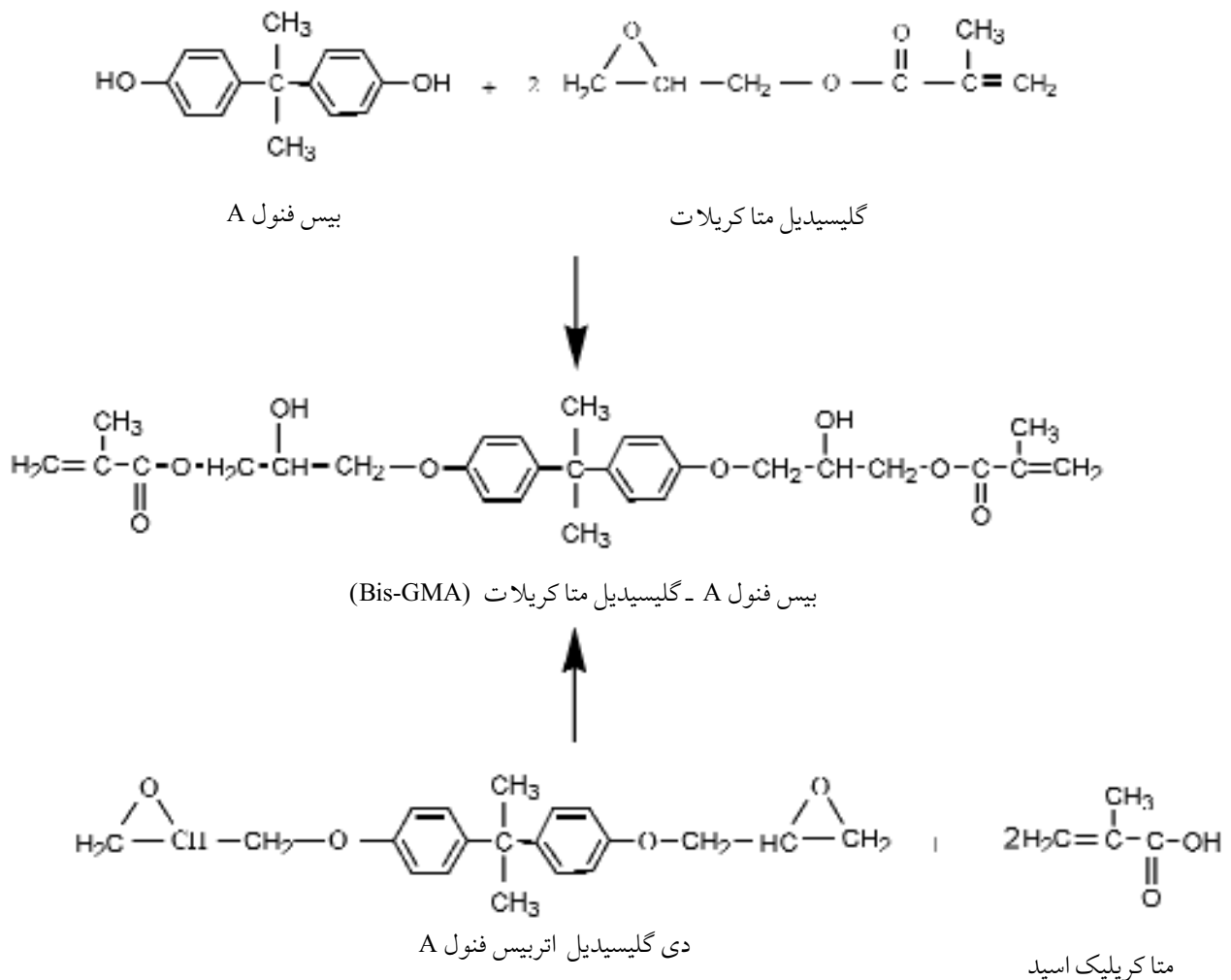
dental materials,  
dental composite,  
matrix phase,  
bisphenol A-glycidyl methacrylate  
monomer,  
physical and mechanical properties

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار: M.Atai@ipi.ac.ir

دندانی ایجاد شده است و مونومرهای گوناگونی برای استفاده به عنوان ماتریس در کامپوزیتهای دندانی ارائه شده اند [۹-۱۳]، اما هنوز هم مونومری که در اکثر کامپوزیتهای تجاری بکار می رود مونومر دی آکریلاتی ۲،۲ - بیس [ ۴ ( ۲ - هیدروکسی - ۳ - متاکریلوکسی) پروپیلوکسی فنیل ] پروپان یا بیس فنول A - گلیسیدیل متاکریلات (Bis-GMA) است که توسط بوین معرفی و از آن در ساخت کامپوزیت استفاده شد [۵-۳].

همان طور که در طرح نشان داده شده است، این مونومر را می توان از دو روش ساخت. در روش اول محصول از واکنش بیس فنول A و گلیسیدیل متاکریلات بدست می آید [۳] و در روش دوم، محصول واکنش اپوکسی بر پایه بیس فنول A (دی گلیسیدیل اتر بیس فنول A، DGEBA) و متاکریلیک اسید، مونومر Bis-GMA است [۱۴]. این مونومر به وسیله پیوندهای دو گانه دو انتهای خود وارد واکنش

بوین معرفی شدند [۵-۳]. کامپوزیت دندانی یک کامپوزیت ذره ای (particulate composite) است که از اجزای گوناگونی تشکیل شده است. این اجزا شامل مونومرهای مختلف، پرکننده، عوامل جفت کننده، آغازگر، شتاب دهنده، پایدار کننده و افزودنیهای دیگر است [۶، ۷]. بطور کلی، یک کامپوزیت دندانی را می توان شامل سه فاز ماتریس، پراکنده و سطح مشترک دانست. فاز ماتریس شامل مونومرها و ترکیبات آلی و فاز پراکنده شامل ذرات تقویت کننده مانند کوارتز، سیلیکا و سیلیکاتهای مختلف است که برای افزایش استحکام، مقاومت سایشی و سختی به ماتریس اضافه می شوند. فاز سطح مشترک در واقع یک عامل جفت کننده مانند ترکیبات آلی سیلانهاست که به پراکندگی و اتصال فاز پراکنده در ماتریس کمک می کند و خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت حاصل را بهبود می بخشد [۸]. طی سالیان گذشته تغییرات زیادی در فرمولبندی کامپوزیتهای



طرح ۱- روشهای تهیه مونومر Bis-GMA.

### دستگاهها

دستگاههای استفاده شده در این پژوهش به قرار زیر است:

طیف سنج زیر قرمز بروکر مدل IFS 48 برای برداشت طیف زیر قرمز، طیف سنج رزونانس مغناطیسی هسته تبدیل فوریه بروکر ۵۰۰MHz با استفاده از  $CDCl_3$  به عنوان حلال و TMS به عنوان مرجع برای برداشت طیف  $^1H$  NMR، طیف سنج فرابنفش - مرئی فیلیپس مدل PU8800 برای برداشت طیف UV-Vis، دستگاه Elemental Analyser System برای تجزیه عنصری، دستگاه اینسترون مدل ۶۰۲۵ برای آزمونهای استحکام خمشی و استحکام کششی قطری (diametral tensile strength, DTS)، گرانروی سنج Selecta مدل St-Digit R با اسپیندل TR10 برای اندازه گیری گرانروی محصول و آسیاب هرزوغ مدل 100 HSM A برای آسیاب کردن سنگ کوارتز.

### روشها

#### تهیه مونومر Bis-GMA

برای تهیه Bis-GMA، ۵۰g اپوکسی DGEBA، ۲۵g متاکریلیک اسید و ۱/۲۵g کاتالیزور DMPT به یک راکتور شیشه ای به حجم  $250\text{cm}^3$  و مجهز به همزن مکانیکی، مبرد، دما سنج و ورودی گاز نیتروژن منتقل شد. پس از افزایش مواد به راکتور، واکنش تحت گاز نیتروژن و در دمای مناسب انجام گرفت. برای بررسی پیشرفت واکنش در فواصل یک ساعت از مخلوط واکنش نمونه گیری و میزان پیشرفت واکنش به وسیله طیف سنجی زیر قرمز معین شد. پیک جذب در عدد موجی  $917\text{cm}^{-1}$  مربوط به جذب گروه اپوکسی است که در طول واکنش تغییر می کند. پیک جذب پیوند دوگانه آروماتیک در ناحیه عدد موجی  $1608\text{cm}^{-1}$  نیز به عنوان پیک مرجع در کلیه طیفها در نظر گرفته شد. درجه تبدیل واکنش نسبت به زمان با اندازه گیری ارتفاع پیکها و تعیین نسبت آنها از معادلات زیر محاسبه شد:

(۱)

$$\text{شدت جذب گروه اپوکسی (ارتفاع پیک } 917\text{ cm}^{-1}) = \frac{\text{جذب نسبی اپوکسی}}{\text{شدت جذب پیوند دوگانه آروماتیک (ارتفاع پیک } 1608\text{ cm}^{-1})}$$

$$(2) \quad \text{جذب نسبی اپوکسی در زمان } t \times 100 = \frac{\text{جذب نسبی اپوکسی در زمان صفر}}{\text{جذب نسبی اپوکسی در زمان صفر}}$$

$$(3) \quad \text{درصد اپوکسی} - 100 = \text{درجه تبدیل}$$

پس از پایان یافتن واکنش، کاتالیزور باقیمانده با محلول کلریدریک اسید خنثی و مخلوط چند بار با آب مقطر شسته شد و سپس محصول واکنش

پلیمر شدن می شود و پس از پلیمر شدن (بخت) محصولی سخت با ساختاری شبکه ای بدست می آید. وجود گروههای حجیم در ساختار شیمیایی و اندازه بزرگ مولکول این مونومر باعث فراربت کمتر، جمع شدگی کمتر پس از پلیمر شدن و سخت شدن سریعتر می شود و کامپوزیتی مقاومتر حاصل می کند. از سوی دیگر، گرانروی زیاد این مونومر باعث می شود که در ساخت کامپوزیت نتوان پرکننده های معدنی را براحتی و در مقادیر زیاد به آن اضافه کرد، بنابراین برای بهبود فرایند اختلاط رزین و پرکننده ها و همچنین بهتر خیس شدن ذرات پرکننده با ماتریس، از مونومرهای رقیق کننده که وزن مولکولی کمتری دارند، مانند متیل متاکریلات، اتیلن گلیکول دی متاکریلات (EGDMA) یا تری اتیلن گلیکول دی متاکریلات همراه Bis-GMA استفاده می کنند [۹، ۶، ۱]. از پلیمر شدن این مونومرهای دی آکریلاتی یک شبکه پلیمری حاصل می شود که دارای خواص فیزیکی و مکانیکی لازم و ظاهر مناسب برای یک ترمیم نیست. بنابراین، با افزودن ذرات تقویت کننده و تشکیل کامپوزیت ذره ای خواص فیزیکی و مکانیکی رزین بهبود می یابد و ظاهر ماده ترمیمی به دندان نزدیک می شود. همچنین، خواصی چون مقاومت در برابر سایش، جمع شدگی ناشی از پلیمر شدن و صافی سطح ترمیم به نوع، مقدار و اندازه ذرات تقویت کننده بستگی دارد [۸، ۱۵، ۶].

در این مقاله، ابتدا مونومر Bis-GMA از واکنش DGEBA و متاکریلیک اسید در مجاورت کاتالیزور N، N' - دی متیل پاراتولوئیدین در دمای مناسب تهیه شد و مورد شناسایی قرار گرفت. سپس، یک نمونه کامپوزیت دندانی با استفاده از این مونومر ساخته شد و خواص فیزیکی و مکانیکی آن اندازه گیری شد.

## تجربی

### مواد

اپوکسی بر پایه بیس فنول A (دی کلیسیدیل اتر بیس فنول A)، با نام تجاری آرالدیت GY224 از شرکت سیباگایگی، متاکریلیک اسید (MAA) از شرکت فلوکا، N، N' - دی متیل پاراتولوئیدین (DMPT) و تری اتیلن گلیکول دی متاکریلات (TEGDMA) از شرکت آلدریچ، بنزوئیل پروکسید (BP) از شرکت مرک، ۲- متاکریلوسکی پروپیل تری متوکسی سیلان (۲-MPS) از شرکت فلوکا و پودر نرم سیلیکا (fumed) از شرکت دگوسا تهیه شدند. سنگ کوارتز از معادن داخل تهیه و پس از آسیاب به عنوان پرکننده از آن استفاده شد. کلیه حلالها از شرکت مرک تهیه و بدون خالص سازی اضافی مصرف شدند.

که در آن P بار در نقطه شکست، D قطر نمونه و L ارتفاع آن است. در این آزمون سرعت حرکت فکها 10 mm/min و حداکثر بار 2 kN بود. برای اندازه گیری میزان جذب آب نیز کامپوزیت در قالبهای فلزی استوانه ای به قطر 20mm و ضخامت 1mm بین صفحات شیشه ای و در شرایط دمایی قبل پخت شد. سپس، نمونه ها در آب مقطر قرار داده شد و میزان جذب با دقت 4-10<sup>-4</sup>g در زمانهای مختلف از معادله زیر محاسبه شد:

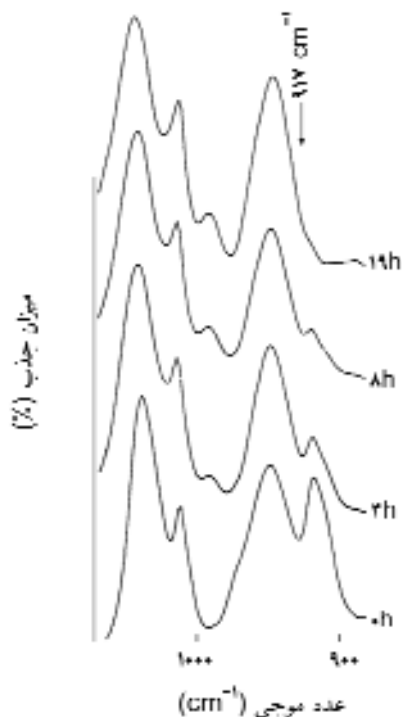
$$W = \frac{W_w - W_0}{W_0} \quad (6)$$

که در آن W<sub>0</sub> وزن اولیه نمونه و W<sub>w</sub> وزن آن پس از جذب آب در زمانهای مختلف است. در کلیه آزمونها مقادیر گزارش شده میانگین 5 اندازه گیری هستند.

## نتایج و بحث

### ساخت و شناسایی Bis - GMA

در شکل 1 طیفهای زیر قرمز مخلوط واکنش در دمای 60°C در زمانهای



شکل 1- طیفهای FTIR مخلوط واکنش تهیه Bis-GMA در زمانهای مختلف در دمای 60°C.

به وسیله دکانتور جدا شده و پس از آن به مدت 24 ساعت تحت خلاء قرار گرفت تا آب و حلال اضافی آن خارج شود. پس از آن، محصول برای آزمونهای شناسایی، تهیه نمونه کامپوزیت و تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مورد استفاده قرار گرفت.

### ساخت کامپوزیت

با استفاده از Bis-GMA تهیه شده یک نمونه کامپوزیت مطابق مقادیر جدول 1 فرمولبندی شد. پرکننده مورد استفاده (کوارتز) پس از آسیاب از الک با مش 500 عبور داده شد. پودر کوارتز با عامل جفت کننده سیلانی MPS-7 به میزان 1 درصد وزنی و همچنین پودر نرم سیلیکا به میزان 3 درصد مطابق روش مرجع [8] سیلان دار شد.

برای تهیه نمونه های آزمون استحکام و مدول خمشی، کامپوزیت یادشده بین دو صفحه شیشه ای در قالبهای فلزی به ابعاد 25x25x2 mm قرار داده شد. این نمونه ها به مدت 2 ساعت در دمای 80°C و 4 ساعت در دمای 120°C پخت شدند. سپس، نمونه ها تحت آزمون خمش سه نقطه ای (3 point bending) قرار گرفتند و مقادیر استحکام خمشی (bending strength , BS) از معادله زیر محاسبه شد:

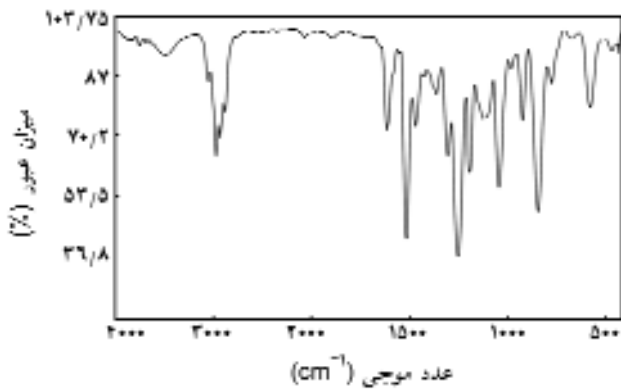
$$BS = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

که در آن P بار در نقطه شکست ، L فاصله تکیه گاهها، b پهنا و d ضخامت (ارتفاع) نمونه است. در آزمون خمش سرعت حرکت فکهای دستگاه 0.5 mm/min و حداکثر بار معادل 1 kN بوده است. برای آزمون استحکام کششی قطری، کامپوزیت در قالبهای فلزی استوانه ای به قطر 6mm و ارتفاع 3mm بین دو صفحه شیشه ای و در دمای بالا پخت شد. مقادیر استحکام کششی قطری (DTS) از معادله زیر محاسبه شد:

$$DTS = \frac{2P}{\pi DL} \quad (5)$$

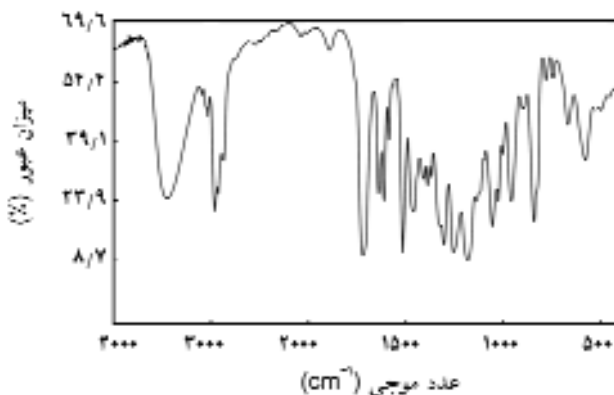
جدول 1- ترکیب درصد اجزای کامپوزیت.

درصد ماده	ماده مصرف شده	جزء تشکیل دهنده
20	Bis-GMA	رزین (مونومر اصلی)
9	TEGDMA	مونومر رقیق کننده
67	کوارتز	پرکننده
3	پودر نرم سیلیکا	پرکننده
1	بنزوئیل پروکسید	آغازگر

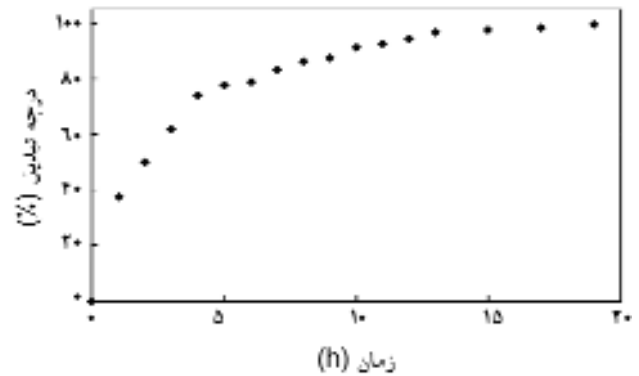


شکل ۴- طیف FTIR رزین اپوکسی مورد استفاده.

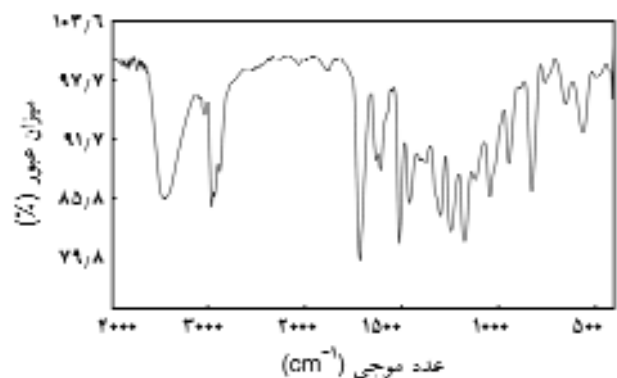
این کاهش ناشی از افزایش تحرک مولکولی و کاهش گرانیروی مخلوط واکنش و همچنین، افزایش انرژی لازم برای انجام واکنش است. پس از حذف پیک ناحیه  $917\text{ cm}^{-1}$  مربوط به جذب گروه اپوکسی و پایان واکنش، محصول شسته و خالص سازی شد و مورد شناسایی قرار گرفت. شکل ۳ طیف FTIR محصول واکنش، Bis-GMA، را نشان می دهد. ظاهر شدن پیک گروه کربونیل در ناحیه حدود  $1720\text{ cm}^{-1}$  و همچنین، پیک پهن مربوط به گروه هیدروکسی در ناحیه حدود  $3500\text{ cm}^{-1}$  نیز علاوه بر حذف پیک ناحیه  $917\text{ cm}^{-1}$  تأییدی بر انجام واکنش است. برای مقایسه، طیفهای رزین اپوکسی مورد استفاده و طیف یک نمونه Bis-GMA تجاری در شکلهای ۴ و ۵ آمده است. در شکل ۶ نیز طیف  $^1\text{H NMR}$  محصول آمده است. جابه جایی شیمیایی مربوط به پروتونهای موجود در ساختار Bis-GMA در این شکل با توجه به فرمول شیمیایی داده شده در طرح ۱ مشخص شده است، محصول پس از خالص سازی مایعی شفاف و بی رنگ با گرانیروی بالاست. مقدار  $7 \times 10^5\text{ cP}$  برای گرانیروی محصول بدست آمد.



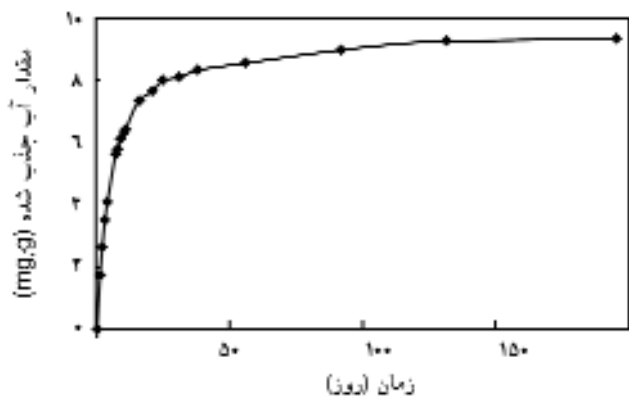
شکل ۵- طیف FTIR مونومر Bis-GMA تجاری.

شکل ۲- نمودار تغییرات درجه تبدیل در واکنش تهیه Bis-GMA نسبت به زمان در دمای  $60^\circ\text{C}$ .

مختلف آورده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود، با افزایش زمان واکنش میزان تبدیل گروههای اپوکسی افزایش می یابد. پیشرفت واکنش با کاهش ارتفاع پیک مربوط به گروه اپوکسی در ناحیه  $917\text{ cm}^{-1}$  و در نهایت با ناپدید شدن آن قابل تعقیب است. زمان ناپدید شدن این پیک به عنوان زمان پایان واکنش در نظر گرفته شد. در شکل ۲ درجه تبدیل واکنش، که با استفاده از طیفهای زیر قرمز محاسبه شد، نسبت به زمان آمده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، در ساعات اولیه واکنش به علت فراوانی گروههای واکنش دهنده و نیز گرانیروی کمتر مخلوط واکنش سرعت تبدیل بیشتر است. اما، در انتهای واکنش غلظت گروههای واکنش دهنده کاهش یافته و همچنین گرانیروی مخلوط واکنش بشدت افزایش می یابد، بنابراین سرعت واکنش کندتر می شود. برای کاهش زمان واکنش در مراحل انتهایی دمای واکنش افزایش یافت. در جدول ۲ زمان پایان واکنش در روند دمایی مختلف آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش دما در انتهای واکنش زمان کامل شدن واکنش کاهش می یابد.



شکل ۳- طیف FTIR مونومر Bis-GMA تهیه شده.



شکل ۷- نمودار تغییرات جذب آب کامپوزیت ساخته شده نسبت به زمان در دمای معمولی.

طیف جذب UV-Vis محصول نیز یک جذب قوی در ناحیه حدود ۲۳۰ nm مربوط به پیوند دو گانه گروه متاکریلات و یک جذب ضعیفتر در ناحیه حدود ۲۷۵ nm مربوط به گروه آروماتیک را نشان می دهد، نتایج بدست آمده برای  $^1\text{H NMR}$  و UV-Vis با داده های تمارسلوی و همکاران [۱۶] تطابق دارد.

نتایج تجزیه عنصری محصول و نیز مقادیر محاسبه شده بر مبنای ساختار شیمیایی آن در جدول ۳ آمده است. همان طور که مشاهده می شود، تطابق خوبی بین مقادیر تجربی و نظری وجود دارد.

برای تأیید تکمیل واکنش، غلظت گروه اپوکسی ( شاخص اپوکسی، epoxide index) در رزین اپوکسی اولیه و نیز محصول واکنش از روش تیتراسیون معین شد [۱۷]. مقدار شاخص اپوکسی برای رزین اپوکسی اولیه برابر  $5/4 \text{ eq/kg}$  بدست آمد (مقدار گزارش شده توسط شرکت سازنده  $5/49-5/60 \text{ eq/kg}$  است) و مقدار بدست آمده برای مونومر ساخته شده ۰/۱ بود.

در مورد محصول با افزایش اولین قطرات کلریدریک اسید، محلول تغییر رنگ داد که نشان دهنده حذف گروه اپوکسی و تکمیل واکنش است و مقدار محاسبه شده  $0/1 \text{ eq/kg}$  در واقع مربوط به خطای محاسبه برای اولین قطرات است.

پس از تهیه و شناسایی مونومر Bis-GMA، نمونه ای از کامپوزیت دندانی مطابق جدول ۱ فرمولبندی شد. خواص مکانیکی کامپوزیت فوق اندازه گیری شد که مقادیر آن در جدول ۴ آمده و برای مقایسه نمونه خواص کامپوزیتهای تجاری نیز آورده شده است.

تغییرات جذب آب نمونه های کامپوزیت نسبت به زمان در شکل ۷ آمده است. همان طور که مشاهده می شود، بیشتر از ۸۰ درصد جذب آب در ۲۰ روز اول انجام می گیرد و سپس سرعت آن بتدریج کم

جدول ۲- زمان پایان واکنش تهیه Bis-GMA در دماهای مختلف.

شماره آزمایش	زمان (h)		
	۱۰۰°C	۸۰°C	۶۰°C
۱	-	-	۱۹
۲	-	۴	۱۰
۳	۲	-	۱۰

\* زمان لازم برای حذف پیک ناحیه  $917 \text{ cm}^{-1}$  که مربوط به جذب گروه اپوکسی است.

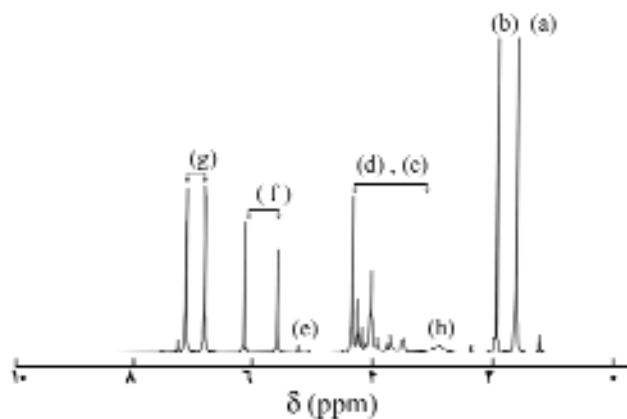
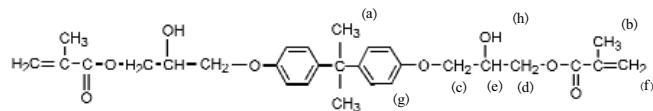
جدول ۳- نتایج تجزیه عنصری مونومر Bis-GMA تهیه شده.

نتایج	درصد وزنی عناصر	کربن	هیدروژن	نیتروژن
تجربی		۶۷/۴	۷/۲۴	۰
نظری		۶۷/۹	۷/۰۳	۰

جدول ۴- خواص مکانیکی کامپوزیت دندانی ساخته شده و نمونه های تجاری.

خواص نمونه	استحکام خمشی (MPa)	مدول خمشی (GPa)	استحکام کششی قطری (MPa)
ساخته شده	$154/5 \pm 7$	$12/5 \pm 0/5$	$47/5 \pm 3/2$
تجاری*	۹۰ - ۱۷۰	۹ - ۲۰	۴۰ - ۶۰

\* مقادیر نمونه برای خواص کامپوزیت دندانی تجاری [۱۸-۲۱].



شکل ۶- طیف  $^1\text{H NMR}$  مونومر Bis-GMA ساخته شده.

- واکنش در ابتدا دارای سرعت بیشتری است و سپس با افزایش گرانی و مخلوط واکنش و کاهش غلظت گروه‌های واکنش دهنده این سرعت کاهش می‌یابد.

- با افزایش دما در انتهای واکنش می‌توان زمان واکنش را کاهش داد.  
- روش‌های طیف سنجی FTIR،<sup>1</sup>H NMR و UV-Vis، تجزیه عنصری و تیتراسیون انجام واکنش را تأیید می‌کنند.  
- کامپوزیت تهیه شده با استفاده از مونومر Bis-GMA و پرکننده کوارتز و پودر نرم سیلیکا، خواص فیزیکی و مکانیکی خوبی دارد.

## مراجع

1. کریگ ر. ج.، ابرین و. ج.، پورز ج. م.، "مواد دندانی: خواص و کاربرد"، ترجمه اکبر فاضل و همکاران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی تهران، ۱۳۷۶.
2. Sturdevant C.M., Roberson T.M., Heymann H.O. and Sturdevant J.R.; *The Art and Science of Operative Dentistry*; 3rd ed., Mosby, 1995.
3. Bowen R.L., "Dental Filling Material Comprising Vinyl Silane Treated Fused Silica and Binder Consisting of the Reaction Product of Bisphenol and Glycidyl Acrylate", *US Pat. 3,066,112*; Nov 27, 1962.
4. Bowen R.L., "Method of Preparing a Monomer Having Phenoxy and Methacrylate Groups Linked by Hydroxy Glycidyl Groups", *US Pat. 3,179,623*; Apr 20, 1965.
5. Bowen R.L., "Silica-Resin Direct Filling Material and Method of Preparation", *US Pat. 3,194,783*; July 13, 1965.
6. عطایی محمد، نکومنش حقیقی مهدی، "مروری بر کامپوزیت‌های دندانی نور پخت"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نهم، شماره سوم، صفحه ۱۹۷ تا ۲۰۸، ۱۳۷۵.
7. Craig R.G., "Chemistry, Composition, and Properties of Composite Resins", *Dental Clinics of North America*; **25**, 2, 219-239, 1981.
8. باقری مهناز، عطایی محمد، نکومنش حقیقی مهدی، امانی سعید، "مطالعه اثر سیلان و مقدار پرکننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های دندانی"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال یازدهم، شماره سوم، صفحه ۱۸۷ تا ۱۹۵، ۱۳۷۷.
9. Peutzfeldt A., "Resin Composites in Dentistry: The Monomer Systems", *Eur. J. Oral Sci.*; **105**, 97-116, 1997.
10. Ahn K-D., Chung C-M. and Kim Y-H., "Synthesis and Photopolymerization of Multifunctional Methacrylates Derived from Bis-GMA for Dental Applications", *J. Appl. Polym. Sci.*; **71**, 2033-2037, 1999.
11. Nie J., Rabek J. F. and Linden L-A., "Photopolymerization of Poly (melamine-co-formaldehyde) Acrylate for Dental Restorative Resins", *Polym. Int.*; **48**, 129-136, 1999.

می‌شود. جذب آب تا حدود ۴ ماه ادامه می‌یابد و پس از آن به مقداری ثابت می‌رسد.

## نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر عبارتند از:  
- مونومر Bis-GMA از واکنش اپوکسی بر پایه بیس فنول A و متاکریلیک اسید در مجاورت کاتالیزور آمینی DMPT قابل تهیه است.

12. Sankarapandian M., Shobha H. K., Kalachandra S., Taylor D.F., Shultz A. R. and McGrath J.E., "Synthesis of New Dental Composite Matrix Dimethacrylates", *Polym. Prepr.*; **38**, 2, 92-93, 1997.
13. Culberston M., Wan Q. and Tong Y., "Synthesis Characterization and Evaluation of New BPA Based Multi-Methacrylates for Dental Composites", *Polym. Prepr.*; **38**, 2, 100-102, 1997.
14. Sheela M.S., Selvy K.T., Krishnan V.K. and Pal S.N., "Studies on the Synthesis of a Methacrylate-Based Dental Restorative Resin", *J. Appl. Polym. Sci.*; **42**, 561-573, 1991.
15. Htang A., Ohsawa M. and Matsumoto H., "Fatigue Resistance of Composite Restorations: Effect of Filler Content", *Dent. Mater.*; **11**, 7-13, 1995.
16. Tamareselvy K. and Rueggeberg F.A., "Synthesis and Characterization of a Monofunctional Analog to Bis-GMA: A Dental Monomer", *J. Appl. Polym. Sci.*; **57**, 705-716, 1995.
17. Lee H. and Neville K.; *Handbook of Epoxy Resins*; McGraw Hill, New York, 1967.
18. Miyazaki M., Oshida Y., Moore B. K. and Onose H., "Effect of Light Exposure on Fracture Toughness and Flexural Strength of Light-Cured Composites", *Dent. Mater.*; **12**, 328-332, 1996.
19. "Composite Filling Materials" Ivoclar-Vivadent Co. Report, 5, 1990.
20. Covey D.A., Tahaney S.R. and Davenport J.M., "Mechanical Properties of Heat-Treated Composite Resin Restorative Materials", *J. Prosthet. Dent.*; **68**, 458-461, 1992.
21. Baharav H., Brosh T. and Cardash H., "Effect of Irradiation Time on Tensile Properties of Stiffness and Strength of Composites", *J. Prosthet. Dent.*; **77**, 471-474, 1997.