

میزان مونومر باقیمانده به روش طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوری در نمونه‌های تهیه شده از آکریل آکروپارس

دکتر امیر حسن نوارچیان*، دکتر فریبا گلبدی**، دکتر کتان یاراحمدی***

چکیده

سابقه و هدف: رزین‌های آکرلیک خصوصیات مطلوب زیادی دارند، اما بسیاری معتقدند که پس از پخت همیشه مقداری از مونومر به صورت واکنش نداد در آکریل باقی مانده که می‌تواند موجب تضعیف خصوصیات فیزیکی و مکانیکی رزین و بروز واکنش‌های آلرژیک در بیماران شود. هدف از انجام این مطالعه بررسی میزان مونومر باقیمانده در نمونه‌های تهیه شده از آکریل آکروپارس با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و مقایسه آن با استاندارد ISO بود.

مواد و روشها: تحقیق حاضر یک مطالعه آزمایشگاهی بود که مطابق با استاندارد شماره ۱۵۶۷ ISO انجام شد. ابتدا ۵ محلول با غلظت‌های وزنی معلوم ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد از مونومر متیل متاکریلات در حلال متیل ایزوبوتیرات (MIBT) تهیه و از آنها طیف FTIR به دست آمد. سپس دو نمودار کالیبراسیون رسم گردید. نمونه‌های اصلی که چهار دیسک از جنس آکریل آکروپارس به قطر ۵۰ و ضخامت ۳ میلی‌متر بودند، پس از انحلال در حلال MIBT تحت طیف‌سنجی FTIR قرار گرفتند. با مقایسه طیف‌های حاصله و نمودارهای کالیبراسیون میزان مونومر باقیمانده در نمونه‌ها تعیین شد. نتایج حاصل با استفاده از آزمون One sample t-student بررسی شده و $P < 0/05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت مونومر باقیمانده در نمونه‌های تهیه شده از آکریل گرماسخت آکروپارس، ۰/۴۲۸ درصد وزنی بود. نتیجه‌گیری: میانگین میزان مونومر باقیمانده در نمونه‌های تهیه شده از آکریل آکروپارس در محدوده استاندارد ISO ($> 2/2$ درصد) می‌باشد. بررسی آماری انجام شده توسط آزمون t-student نشان داد که تفاوت معنی‌دار مثبتی بین نتایج به دست آمده در این مطالعه و استاندارد ISO وجود دارد ($P < 0/001$).

کلید واژگان: رزین آکرلیک، متاکریلات متیل مونومر، FTIR.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۱۱/۲ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۳۸۷/۶/۱۱ تاریخ تأیید مقاله: ۱۳۸۷/۹/۸

مجله دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دوره ۲۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۷، ۴۳۴-۴۲۶

مقدمه

به طور کلی براساس خصوصیات ذکر شده در استاندارد ISO ۱۵۶۷، میزان مونومر باقیمانده در آکریل نباید بیشتر از ۲/۲٪ وزنی باشد(۱).

تاکنون تحقیقات زیادی برای تعیین میزان مونومر باقیمانده در انواع مختلف آکریل انجام شده است و تاثیر عوامل گوناگون از جمله دما و زمان پلیمریزاسیون (۱۳-۵،۹)، روش اندازه‌گیری(۱۶-۸) و نوع آکریل (۴،۷،۸) بر روی محتوای مونومر باقیمانده مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

امروزه رزین‌های آکرلیک به طور گسترده در ساخت مواد دندان‌سازی استفاده می‌شوند، اما بسیاری از پژوهشگران معتقدند که همیشه مقداری از مونومر به صورت واکنش نداد در آکریل باقی می‌ماند(۲،۱). وجود مونومر پلیمریزه نشده چنانچه بیش از حد مجاز باشد، بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آکریل مانند وزن ملکولی، میزان تخلخل، استحکام عرضی، جذب آب و قابلیت انحلال تاثیر گذاشته (۵-۲) و موجب بروز واکنش‌های آلرژیک می‌شود(۸-۶،۴،۲).

* استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان.

** نویسنده مسئول: استادیار گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی و مرکز تحقیقات علوم دندانپزشکی دکتر ترابی‌نژاد، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

E-mail: golbidi@dnt.mui.ac.ir

*** دندانپزشک.

دستگاه FTIR (Impact 400D-Nicolet, Offenbach, Germany) تهیه گردید.

برای تهیه منحنی‌های کالیبراسیون ابتدا ۵ محلول که شامل ۵ میلی‌لیتر حلال MIBT و مقادیر ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۰ و ۰/۰۲۵ گرم از مونومر متیل متاکریلات بود ساخته شدند تا محلول‌های با درصد‌های وزنی ۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۳ و ۰/۴ و ۰/۵ حاصل شود. سپس طیف FTIR هر یک از محلول‌های حاصل تهیه گردید.

برای رسم نمودارهای کالیبراسیون، از روش استاندارد خارجی استفاده شد. بدین منظور در طیف FTIR نمونه‌های معلوم، یک پیک جذبی به عنوان شاخص مونومر و یک پیک جذبی به عنوان شاخص حلال MIBT انتخاب گردید. طیف‌های FTIR برای حلال خالص و مونومر خالص در شکل ۱ آورده شده‌اند. با مقایسه این دو طیف، پیک‌های شاخص هر دو ماده به گونه‌ای انتخاب شدند که محل جذب آنها با یکدیگر همپوشانی نداشته، شدت آنها نیز به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد. در جدول ۱ پیک‌های جذبی انتخابی معرفی شده‌اند. برای اطمینان بیشتر، دو پیک شاخص برای حلال MIBT در نظر گرفته شد و در نتیجه دو منحنی کالیبراسیون تهیه گردید. شکل ۲ یک نمونه از طیف‌های محلول‌های کالیبراسیون را نشان می‌دهد. با استفاده از پنج طیف بدست آمده، یک نمودار از رسم نسبت $A1/A2$ بر حسب غلظت مونومر و یک نمودار دیگر از رسم نسبت $A1/A3$ بر حسب غلظت مونومر ترسیم شد (شکل ۳). نتایج حاصل از این دو نمودار می‌توانند تایید کننده یکدیگر باشند. در تحلیل کمی طیف‌های FTIR، استفاده از نسبت پیک‌ها می‌تواند اثر تفاوت ضخامت نمونه‌ها در حین اندازه‌گیری طیف‌ها که در رابطه بیرلامبرت Beer-Lambert وارد می‌شود، را خنثی نماید (۱۶).

برای تعیین غلظت مونومر واکنش نداده در نمونه‌های مجهول، نسبت شدت جذب $A1$ مربوط به مونومرهای خارج شده از نمونه‌ها، به شدت جذب $A2$ مربوط به حلال در هر کدام از نمونه‌های اصلی آزمایش به دست آمد و با مراجعه به نمودار کالیبراسیون اول میزان مونومر باقیمانده در هر کدام از نمونه‌های اصلی تعیین شد. همچنین برای تایید غلظت مونومر، نسبت شدت جذب $A1$ به شدت جذب $A3$

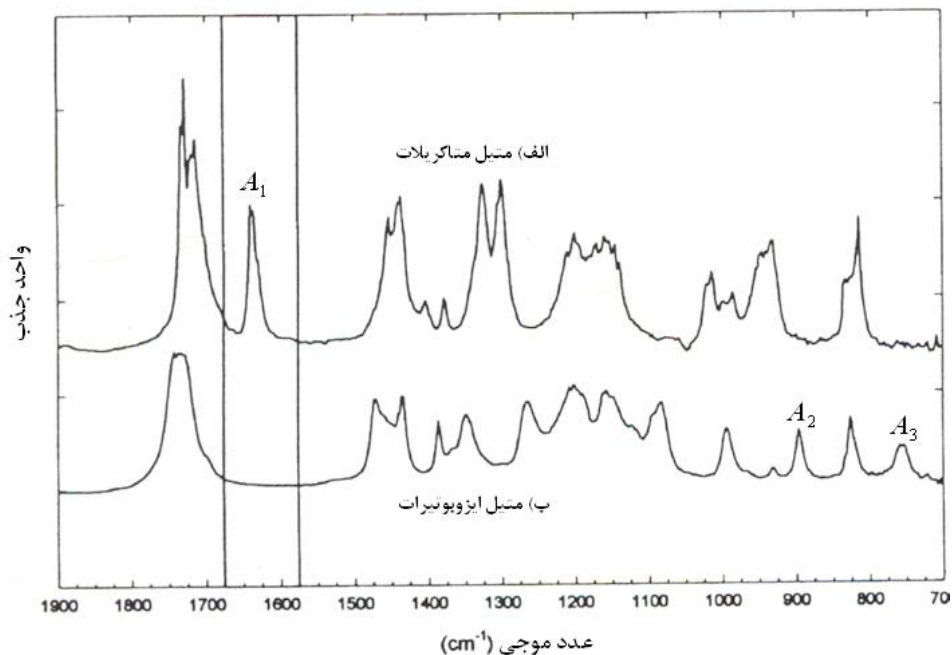
روش‌های متعددی برای تعیین میزان مونومر باقیمانده وجود دارد که عمومی‌ترین آنها طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (Fourier Transform Infrared: FTIR) و کروماتوگرافی گاز (Gas Chromatography: GC) می‌باشد (۱۶-۱۰۱، ۸۰). روش‌های تجزیه کمی توسط FTIR خود به سه دسته روش استاندارد داخلی، روش استاندارد خارجی و روش استاندارد افزایشی تقسیم می‌شوند (۱۶). در روش استاندارد خارجی ابتدا یک نمودار کالیبراسیون براساس شدت جذب در طیف FTIR برای نمونه‌های با غلظت معلوم از مونومر در حلال تهیه می‌شود، سپس مقدار جذب برای نمونه‌های مجهول در حلال اندازه‌گیری شده، میزان مونومر باقیمانده از طریق منحنی کالیبراسیون با دقت زیاد تعیین می‌شود. با توجه به اینکه طی سال‌های گذشته آکریل آکروپارس (شرکت مارلیک، تهران، ایران) به میزان زیادی توسط دندانپزشکان و دندان‌سازان برای ساختن بیس دنچر مورد استفاده قرار گرفته است، این تحقیق با هدف تعیین میزان مونومر باقیمانده موجود در این آکریل با استفاده از روش طیف‌سنجی FTIR و مقایسه آن با استاندارد ISO صورت پذیرفت.

مواد و روشها

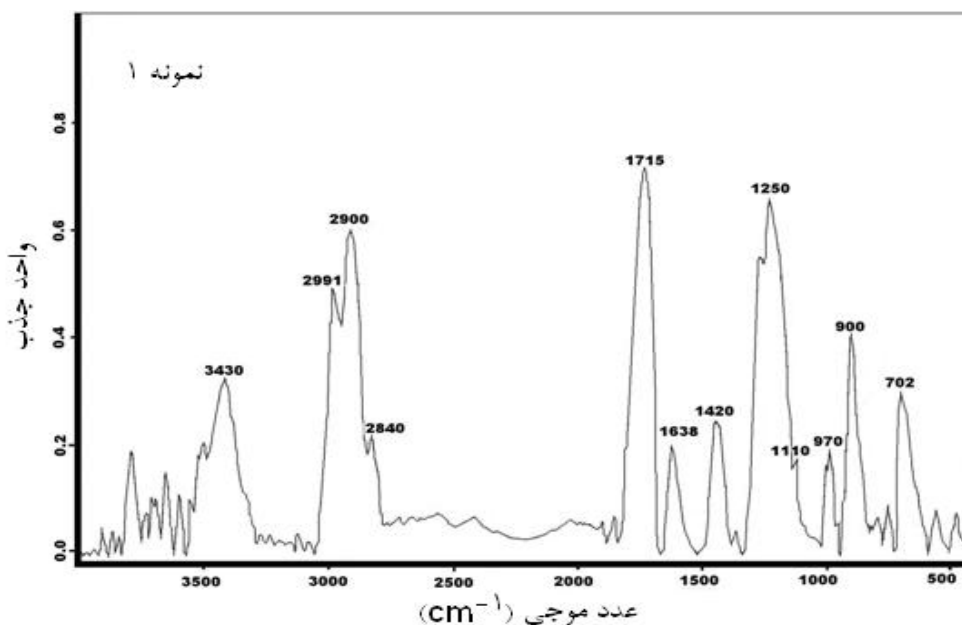
در این مطالعه آزمایشگاهی، با توجه به تحقیق مشابه قبلی (۱۶)، حجم نمونه ۴ عدد تعیین شد. ابتدا ۴ عدد دیسک مسی به قطر ۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر تهیه و مفل گذاری شدند. آکریل آکروپارس (شرکت مارلیک، تهران، ایران) نیز مطابق دستور کارخانه سازنده و با روش معمول تهیه و مفل گذاری گردید و ۱/۵ ساعت در درجه حرارت ۷۴ درجه سانتی‌گراد و یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته شد. به این ترتیب ۴ عدد دیسک آکریلی تهیه شد. هر کدام از دیسک‌ها در بالون ژوژه‌ای که ۶۵ گرم حلال MIBT (متیل ایزوبوتیرات، شرکت مرک، دارمشتات، آلمان) در آن ریخته شده بود، قرار داده شدند تا با تورم دیسک، مونومر متیل متاکریلات واکنش نداده که درون دیسک‌ها باقیمانده بود، از آن خارج شده، به درون حلال نفوذ کند. ظروف کاملاً مسدود شده، به مدت ۷ روز در جای کاملاً تاریک نگهداری شدند. پس از این مدت طیف نمونه‌های مایع توسط

میانگین حسابی غلظت مونومر باقیمانده در نمونه‌های تهیه شده از آکریل گرماسخت آکروپارس با استاندارد ISO مقایسه شد.

مربوط به حلال در هر کدام از نمونه‌های اصلی آزمایش نیز به دست آمد و با مراجعه به نمودار کالیبراسیون دوم، میزان مونومر باقیمانده در هر کدام از نمونه‌های اصلی آزمایش تعیین شد. با استفاده از آزمون آماری one sample t



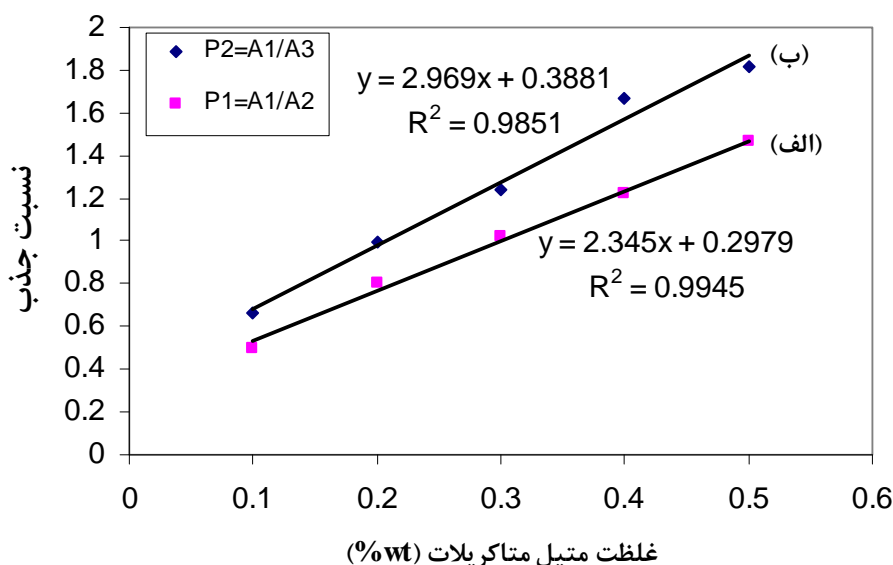
شکل ۱- مقایسه طیف‌های FTIR برای نمونه‌های مونومر متیل متاکریلات خالص (الف) و حلال MIBT (ب).
پیک A1، مشخصه متیل متاکریلات و پیک‌های A2 و A3 مشخصه‌های حلال هستند (۱۶).



شکل ۲- یک نمونه از طیف‌های محلول‌های کالیبراسیون (غلظت مونومر ۰/۱ درصد)

جدول ۱- معرفی پیک‌های در نظر گرفته شده برای مونومرهای واکنش نداده و حلال MIBT

محل گستره جذب (cm ⁻¹)	نام پیک	معرفی پیک
۱۶۲۵-۱۶۴۵	A1	پیک جذبی مونومر واکنش نداده (C=C)
۸۹۵-۹۱۰	A2	پیک جذبی شماره ۱ معرف MIBT
۶۹۵-۷۱۰	A3	پیک جذبی شماره ۲ معرف MIBT



شکل ۳- نمودارهای کالیبراسیون تغییرات نسبت‌های جذبی (در طیف‌های نمونه‌های معلوم) با غلظت مونومر. نمودار (الف) A1/A2، و نمودار (ب) A1/A3

یافته‌ها

طیف‌های نمونه‌های کالیبراسیون (نمونه‌های ۱ تا ۵) نشان داد که پیک مونومر باقی مانده (A1) در محدوده عدد موجی $1625-1645 \text{ cm}^{-1}$ و با شدت جذب $0.6-0.7$ و همچنین پیک‌های مربوط به MIBT در محدوده اعداد موجی $895-910 \text{ cm}^{-1}$ و با شدت‌های جذب $0.41-0.49$ و $0.33-0.37$ به ترتیب قابل مشاهده هستند. برای رسم نمودارهای کالیبراسیون نسبت‌های عددی P1 و P2 برای هر یک از پنج نمونه که دارای غلظت معلوم از مونومر در حلال بودند، محاسبه شد (جدول ۲). دو نمودار کالیبراسیون حاصل در شکل ۳ رسم شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود یک رابطه خطی بین نسبت‌های شدت جذب (P1 و P2) با غلظت مونومر (CM) وجود دارد، که می‌توان آنها را به صورت زیر بیان کرد:

$$P1 = 2.345CM + 0.2979 \quad (1)$$

$$P2 = 2.969CM + 0.3881 \quad (2)$$

از آنجا که ضریب همبستگی هر دو نمودار به عدد یک بسیار نزدیک است، می‌توان گفت هر دو نمودار کالیبراسیون از دقت بسیار بالایی در تعیین میزان مونومر باقیمانده برخوردارند، ضمن اینکه نتایج بدست آمده از هر نمودار، با نتایج حاصل از نمودار دیگر قابل تأیید است.

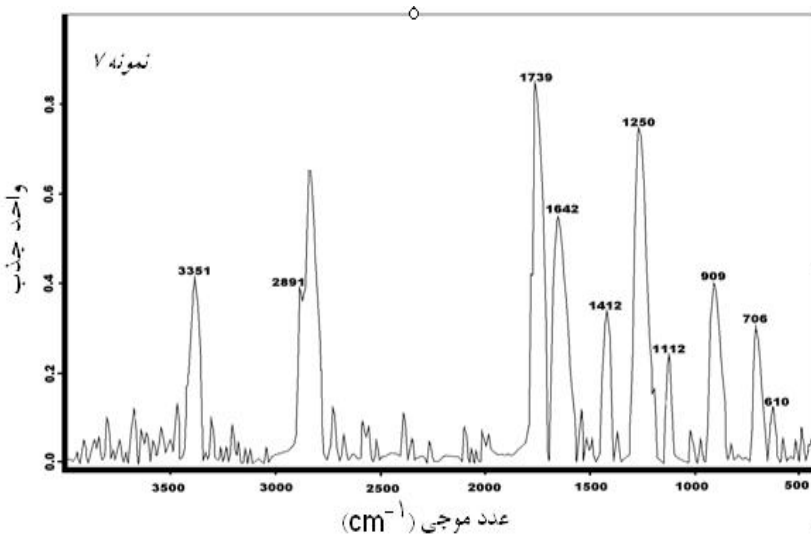
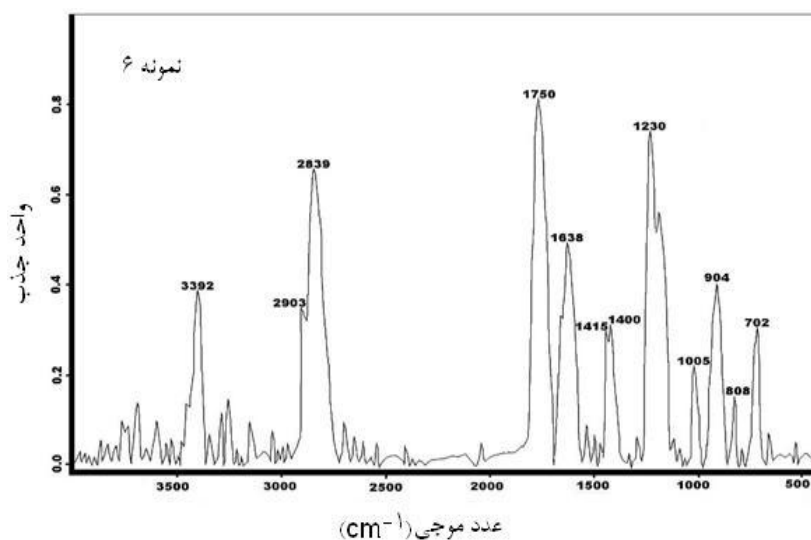
پس از رسم نمودارهای کالیبراسیون (شکل ۳)، با استفاده از طیف‌های FTIR نمونه‌های اصلی در آزمایش (نمونه‌های ۶ تا ۹) (شکل‌های ۴ و ۵)، غلظت مونومر باقیمانده در نمونه‌های اصلی از روی معادلات (۱) و (۲) محاسبه شدند. طیف‌های موجود در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که شدت جذب پیک مربوط به A1 در محدوده 0.5 تا 0.05 ، و شدت جذب‌های A2 و A3 مربوط به MIBT به ترتیب در محدوده 0.4 تا 0.42 و 0.3 تا 0.33 است. برای مقایسه

تناسبات به دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

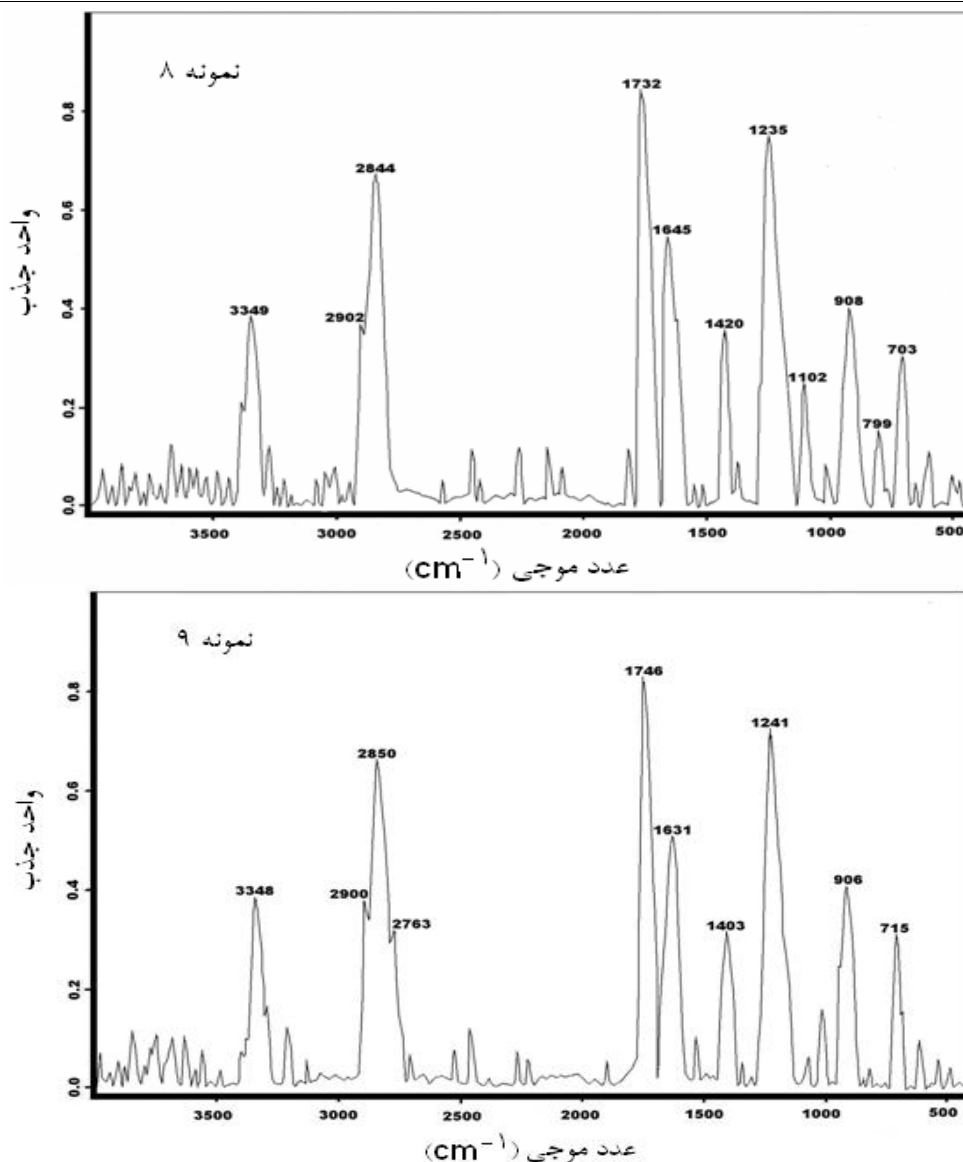
یکسانی جواب‌های حاصل از کالیبراسیون، Cronbach Alpha محاسبه شد که برابر ۰/۷۷۸ بود خلاصه اعداد و

جدول ۲- نسبت شدت پیکها در طیف‌های FTIR برای هر یک از محلول‌ها با غلظت معلوم

نسبت شدت جذب P2= A1 / A3	نسبت شدت جذب P1= A1 / A2	غلظت مونومر در حلال (درصد وزنی)	شماره نمونه
۰/۲ — ۰/۳	۰/۲ — ۰/۴	۰/۱	۱
۰/۳۲ — ۰/۳۲	۰/۳۲ — ۰/۴	۰/۲	۲
۰/۴۱ — ۰/۳۳	۰/۴۱ — ۰/۴	۰/۳	۳
۰/۵ — ۰/۳	۰/۵ — ۰/۴۱	۰/۴	۴
۰/۶ — ۰/۳۳	۰/۶ — ۰/۴۱	۰/۵	۵



شکل ۴- طیف‌های FTIR نمونه‌های مورد آزمایش (مجهول) شماره‌های ۶ و ۷



شکل ۵- طیف‌های FTIR نمونه‌های مورد آزمایش (مجهول) شماره‌های ۸ و ۹

استاندارد ISO (۲/۲٪) آزمون آماری one sample t انجام گرفت. نتایج این بررسی آماری نشان داد که اختلاف این دو معنی‌دار است ($P < 0.001$).

بحث

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های بسیاری در زمینه تولید مواد دندانپزشکی به ویژه آکريل در ایران انجام شده است. امروزه بیش از ۹۵٪ دنچه‌های متحرک از جنس رزین‌های آکريلیک هستند (۲). یکی از شاخص‌های ارزیابی آکريل، کامل بودن پلیمریزاسیون و عدم وجود مونومر باقی‌مانده

با توجه به اطلاعات بدست آمده در جدول ۳، میانگین غلظت مونومر باقی‌مانده در ۴ نمونه آکريلی آکروپارس با توجه به نمودار کالیراسیون ۳- الف مساوی ۰/۴۲۵ درصد و با توجه به نمودار کالیراسیون ۳- ب مساوی ۰/۴۳۲ درصد وزنی می‌باشد، که نشان‌دهنده نزدیکی جواب‌های حاصل از دو نمودار کالیراسیون می‌باشد. میانگین کل غلظت مونومر باقی‌مانده در چهار نمونه آکريلی آکروپارس با توجه به هر دو نمودار کالیراسیون، ۰/۴۲۸ درصد و انحراف معیار آن ۰/۰۲۳ می‌باشد. برای مقایسه میانگین غلظت مونومر باقیمانده (۰/۴۲۸٪) در چهار نمونه آکريل آکروپارس با

جدول ۳- نسبت شدت پیک‌های مربوطه در طیف‌های FTIR و غلظت‌های تعیین شده مونومر در نمونه‌های مجهول

نمونه ۶	نمونه ۷	نمونه ۸	نمونه ۹	پارامتر تعیین شده
۰/۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	نسبت $A1/A2 = P1$
۰/۴۲	۰/۴	۰/۴۱	۰/۳۳	
۰/۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۱	نسبت $A1/A3 = P2$
۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲	
۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۳	غلظت مونومر در نمونه براساس نمودار ۳-الف
۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۴۱	غلظت مونومر در نمونه براساس نمودار ۳-ب
۰/۳۹۵	۰/۴۴	۰/۴۵۵	۰/۴۲	میانگین غلظت مونومر برای هر نمونه (درصد وزنی)

طی ۳ روز اول و یا ۴ یا ۵ سال اول اتفاق می‌افتد. پس از این مدت، میزان مونومر باقی‌مانده همچنان با سرعت کمتری کاهش می‌یابد (۱۸،۲۰، ۱۰). عوامل متعددی که در میزان مونومر باقیمانده در آکریل‌های گرماسخت موثر هستند عبارتند از: ضخامت آکریل (۸)، مدت زمان نگهداری در آب (۷، ۱۸)، سرعت دریل کردن (۸، ۱۵)، روش اندازه‌گیری (۱۶-۱۴، ۱۰، ۱۴)، نوع آکریل (۴، ۷، ۸)، مدت زمان استفاده از دنچر (۱۰) و دما و زمان پلیمریزاسیون (۱۳، ۲۱-۵، ۹). در مطالعه حاضر پارامترهای فوق برای کلیه نمونه‌ها یکسان بودند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری میزان مونومر باقیمانده در آکریل وجود دارد، مانند روش‌های طیف‌سنجی مادون قرمز (۳، ۱۳، ۱۶)، کروماتوگرافی گاز (۶، ۷، ۱۰)، HPLC (۲۲)، استفاده از برومین (۶) و روش طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (۲۳). با توجه به این که روش FTIR روشی موثر و قابل اعتماد برای تعیین میزان مونومر باقی‌مانده است، در این مطالعه نیز از همین روش استفاده شد.

تاکنون محققین متعددی میزان مونومر باقیمانده در انواع آکریل‌ها را با روش‌های مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. Austin و Basker (۱۹۸۰) میزان مونومر باقی‌مانده در آکریل‌های پختنی تهیه شده با روش طولانی مدت را ۰/۲۹ درصد (۷)، Shim و Watts (۱۹۹۹) بین ۰/۲ تا ۰/۴ درصد (۱۵)، Craig و همکاران (۲۰۰۰) کمتر از ۱ درصد (۱۸)، Mc Cabe و Basker (۱۹۷۶) بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۸ درصد (۶) و Vallittu و همکاران (۱۹۹۸)، ۰/۰۷ تا ۰/۱۲ درصد (۱۲) محاسبه نمودند. Pfeiffer و Rosenbauer (۲۰۰۴)، میزان مونومر

می‌باشد. بر اساس خصوصیات ذکر شده در استاندارد شماره ISO ۱۵۶۷، میزان مونومر باقی‌مانده در آکریل نباید بیشتر از ۲/۲٪ وزنی باشد (۱). افزایش میزان مونومر باقیمانده نسبت به حد استاندارد موجب تغییر وزن مولکولی و افزایش میزان تخلخل و به دنبال آن کاهش استحکام عرضی آکریل می‌گردد (۲، ۳). مونومر باقی‌مانده در آکریل بر روی استحکام ضربه‌ای و سختی آکریل نیز تاثیر می‌گذارد (۲، ۳، ۵). همچنین هر چه میزان مونومر باقی‌مانده در آکریل بیشتر باشد، میزان جذب آب آکریل بیشتر می‌شود (۴، ۵). افزایش جذب آب، خود موجب تغییر شکل نمونه‌ها می‌گردد (۸، ۱۷، ۱۸). از سوی دیگر در اثر شسته شدن مونومرهای واکنش نداده و مواد افزودنی موجود در آکریل به وسیله مایعات دهان، تحلیل رزین‌های آکرلیک، صورت می‌گیرد (۲، ۱۸، ۱۹). از آنجا که این مواد می‌توانند باعث ایجاد واکنش در بافت نرم دهان شوند آکریل‌ها باید دارای قابلیت انحلال کمی باشند.

حساسیت بافتی به اجزای رزین‌های دنچر همواره موضوع مورد بررسی پژوهشگران بوده است (۸-۶، ۴، ۲). ماده کاملاً پلیمریزه شده پلی‌متیل‌متاکریلات به ندرت موجب واکنش‌های حساسیت‌زا می‌شود (۱۸، ۲۰). واکنش‌های حساسیت‌زا اغلب به دلیل وجود مونومر باقیمانده می‌باشد، که البته مقدار آن در انواع آکریل‌های گرماسخت کمتر از مقدار مونومر باقیمانده در انواع آکریل فوری است (۶، ۸). در هر صورت با گذشت زمان، محتوای مونومر باقیمانده کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش به طور مشخصی در ۱۷ ساعت و یا در ۲۴ ساعت اول پس از پخت آکریل و به طور تدریجی در

Watts (۱۹۹۹) و Huggett و Harrison (۱۹۹۲) (۱۱،۱۵،۱۸) در نمونه‌های آکريل ديگر مطابقت داشته و در محدوده استاندارد ISO می‌باشد. لازم به ذکر است با تورم رزین‌های گرم‌پخت در حلال، حداکثر میزان نفوذ مونومر از داخل نمونه‌ها به داخل حلال اتفاق افتاده است و مسلماً در شرایط و محیط آبی دهان، مقدار مونومر نفوذ کرده کمتر از این مقدار خواهد بود. با توجه به اهمیت میزان مونومر باقیمانده، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نمونه‌ها به صورت دنچر تهیه شده و میزان مونومر باقی‌مانده، در زمان‌های متفاوت پس از استفاده بیمار از دنچر مورد اندازه‌گیری قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر میانگین مونومر باقیمانده در نمونه‌های تهیه شده از آکريل آکروپارس را ۰/۴۲۸ نشان داد که در محدوده استاندارد ISO ($> ۰/۲$) می‌باشد.

باقی‌مانده در آکريل‌های گرم‌سخت Sinomer و Polyan را به ترتیب ۰/۳۱ درصد و $۰/۴۴ \pm ۰/۰۱$ درصد گزارش نمودند (۴). Huggett و Harrison (۱۹۹۲) میزان مونومر باقی‌مانده را ۰/۳ درصد (۱۱) و Sadamori و Kotani (۱۹۹۲) ۰/۱۲ تا ۴/۲۲ درصد (۱۰) و باغومیان (۲۰۰۵) میزان مونومر باقی‌مانده در آکريل آکروپارس را کمتر از ۰/۰۲ درصد (۲۴) گزارش کردند. تفاوت موجود بین این نتایج ناشی از انواع مختلف آکريل‌های بررسی شده، روش‌های متفاوت اندازه‌گیری، ابعاد متفاوت نمونه‌ها، زمان و درجه حرارت‌های متفاوت پخت آکريل، نگهداری نمونه‌ها در محیط‌های نگهداری با pHهای مختلف، سرعت‌های متفاوت دریل کردن و ... ناشی است.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین میزان مونومر باقی‌مانده در نمونه‌های تهیه شده از آکريل آکروپارس ۰/۴۲۸ درصد است که با نتایج مطالعات Pfeiffer و Rosenbauer (۲۰۰۴)، Craig و همکاران (۲۰۰۰)، Shim و

References

1. International standard organization (ISO1567): Specification for denture base polymers. Berlin: Beuth;2000:51-63.
2. Anusavice KJ: Phillips science of dental materials: 10th Ed .Philadelphia: W.B. Saunders Co. 1996;Chap12:237-271.
3. Azzarri MJ, Cortizo MS, Allessandrini JL: Effect of the curing Conditions on the properties of an acrylic denture base resin micro wave-polymerized. J Dent Mater 2003;31:463-468.
4. Pfeiffer P, Rosenbauer EU: Residual methyl methacrylate monomer, water sorption and water solubility of hypoallergenic denture base materials. J Prosthet Dent 2004;92:72-78.
5. Dogan A, Bec B: The Effect of preparation Conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. J Dent Mater 1995;23:313-318.
6. McCabe JF, Basker RM: Tissue sensitivity to acrylic resin. Br Dent J 1976;140:347-350.
7. Austin AT, Basker RM: The level of residual monomer in acrylic denture base materials with particular reference to a modified method of analysis. Br Dent J 1980;149:281-286.
8. Fletcher AM, Purnaveja S, Amin WM, Ritchie GM, Moradians S: The level of residual monomer in self curing denture- base materials. J Dent Res 1983;62:118-120.
9. Wong DM, Cheng LY: Effect of processing method on dimensional accuracy and water sorption of acrylic resin denture. J Prosthet Dent 1999;81:300-304.
10. Sadamori S, Kotani H: The usage period of dentures and their residual monomer Contents. J Prosthet Dent 1992; 68:374-376.

11. Harrison A, Huggett R: Effect of the curing cycle on the residual monomer levels of acrylic resin denture base polymers. *J Dent Mater* 1992;20:370-374.
12. Vallittu PK, Ruyter IE, Buykuilmaz S: Effect of polymerization temperature and time on the residual monomer Content of denture base polymers. *Eur J Oral Sci* 1998;106:588-593.
13. Bartoloni JA, Murchison DF: Degree of Conversion in denture base materials for varied polymerization techniques. *J oral Rehabil* 2000;27:488-493.
14. Imazato S, MC Cabe JF, Tarumi H: Degree of Conversion of Composites measured by DTA and FTIR. *J Dent mater* 2001; 17:178-183.
15. Shim JS, Watts DC: Residual monomer Concentration in denture base acrylic resin after an additional, soft-liner, heat-cure cycle. *J Dent Mater* 1999;15:296-300.
16. Duray SJ, Gilbert JL: Comparison of chemical analysis of residual monomer in a chemical- cured dental acrylic material to an FTIR method. *J Dent Mater* 1997;13:240-245.
17. Golbidi F, Ghaznavi GH: Effect of processing on dimensional change of denture. *J of Pajoohesh in Medical Sciences* 1998;4:83-84, [Persian].
18. Craig RG, Brein WI, Power JM: Dental materials properties and manipulation of plastic in prosthetics. 7th Ed. St Louis: The C.V. Mosby Co. 2000;Chap13:257-282.
19. Anusavice KJ: Phillips Science of Dental Materials. 11th Ed. WB Saunders Co. 2003;Chap22:721-747.
20. Craig RG: Restorative Dental Material .11th Ed. St Louis: The C.V. Mosby Co. 2002;Chap7,21:186-192,636-666.
21. Woelfel JB, Paffenbarger GC, Sweeney WT: Some physical properties of acrylic denture base materials. *Am Dent Assoc* 1968;67:489-504.
22. Rose EC, Bumann J, Jonas IE, Kappert HF: Contribution to the biological assessment of orthodontic acrylic materials. *J Orofac Orthop* 2000;61:246-257.
23. Ying Kei CL: Residual monomer in denture base acrylic. Hong Kong University, Msc thesis. Hong Kong China 2003.
24. Golbidi F, Asghari G: The level of residual monomer in acrylic base materials. *Res of Biol Sci* 2009;4:244-249.