

## تهیه و مطالعه نانوذرات پلی آکریل آمید حکاکی شده برای تشخیص گلوکز در محیط آبی

زهرا حسینی<sup>۱\*</sup>، مینا کشوردوست<sup>۱</sup> و فریده پیری<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد شیمی آلی، گروه شیمی، ساختمان شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استادیار شیمی آلی، گروه شیمی، ساختمان شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۳، بازنگری اول: شهریور ۱۳۹۳، بازنگری دوم: آبان ۱۳۹۳، پذیرش: آذر ۱۳۹۳

**چکیده:** حکاکی مولکولی پلیمرها روشی جدید، ساده و ارزان برای تهیه ترکیب‌هایی است که می‌توانند در کاربردهای پزشکی استفاده شوند. در کار حاضر، نانو ذرات حکاکی شده با گلوکز تهیه و ویژگی‌های آن‌ها مطالعه شد. آکریل آمید به‌عنوان مونومر اصلی و اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات به‌عنوان مونومر پیونددهنده عرضی برای سنتز نانو ذرات پلیمرهای حکاکی شده (MIPs) و غیر حکاکی (NIPs) با روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد تحت گرما استفاده شد. ویژگی‌های پلیمرهای حکاکی شده (MIPs) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی از نوع گسیل میدانی (FE-SEM) و طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FT-IR) بررسی شد. آزمایش جذب نشان داد که نانو ذرات پلیمرهای حکاکی شده (MIPs) با اندازه میانگین ۳۳/۵ نانومتر گزینش پذیری خوبی نسبت به گلوکز در مقایسه با فروکتوز و آسکوربیک اسید دارند.

**واژه‌های کلیدی:** حکاکی مولکولی پلیمرها، گلوکز، نانوذره، پلی آکریل آمید

### مقدمه

موجود در بازار هستند که برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز خون به کار می‌روند.

در سال‌های اخیر زیست حس‌گرهایی برای اندازه‌گیری کیفی و کمی گلوکز با استفاده از روش حکاکی مولکولی پلیمرها تهیه شده‌اند [۳]. حکاکی مولکولی پلیمرها، روشی است به‌منظور ایجاد حفره‌هایی در بستر پلیمری با شکل مولکول‌های موردنظر که از این حفره‌ها برای شناسایی مولکول‌های شیمیایی و زیستی مانند آمینواسید، پروتئین‌ها، مشتقات نوکلئوتیدها، آلاینده‌ها، داروها و... استفاده می‌شود [۴]. در این روش، مولکول هدف به‌عنوان قالب استفاده می‌شود و مونومرهای اصلی و مونومرهای پیونددهنده عرضی اطراف مولکول قالب، از طریق پیوند کووالانسی یا غیر کووالانسی در دمای پایین کمپلکس تشکیل می‌دهند و

گلوکز ماده ضروری و اساسی فرایندهای زیستی و قند موجود در خون است که توسط سلول‌های بدن مصرف شده و تولید انرژی می‌کند. سطح غیرمعمول گلوکز در بدن یک علامت هشداردهنده پزشکی است که از بیماری دیابت ناشی می‌شود. در سال ۲۰۱۲، اعلام شد که ۳۶۶ میلیون انسان مبتلا به این بیماری هستند و این تعداد به‌سرعت در حال افزایش است [۱ و ۲]. جلوگیری از پیشرفت این بیماری تا حد زیادی با کنترل شخصی قند خون امکان‌پذیر است. برای تشخیص و هدایت این بیماری تعیین مقدار دقیق سطح گلوکز خون ضروری است. از آن‌جا که میلیون‌ها فرد دیابتی قند خون خود را روزانه اندازه‌گیری می‌کنند، در حال حاضر حس‌گرهای گلوکز از پرمصرف‌ترین حس‌گرهای

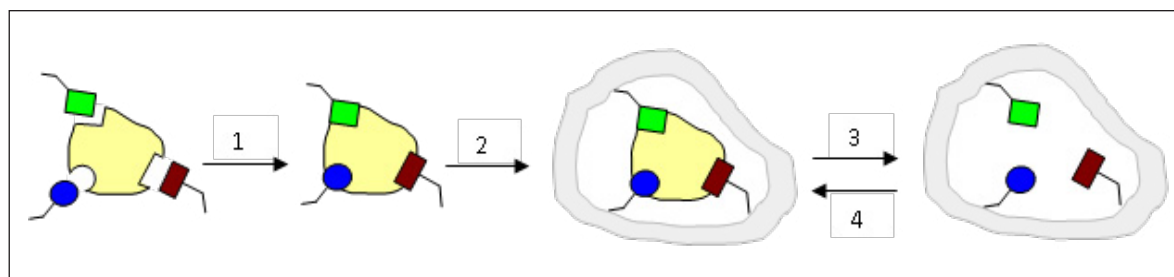
در آب دارند [۱۲]. هانگ و همکارانش از پلی‌آکریل‌آمیدهای دارای پیوند عرضی به وسیله اتیلن‌گلیکول‌دی‌متاکریلات، برای حکاکی مولکول فنل استفاده کردند، زیرا این پلیمرها افزون بر پایداری فیزیکی و دارا بودن ویژگی‌هایی مانند مقاومت در برابر دما، فشار و حلال‌های آلی دارای گروه‌های عاملی مانند آمید، کربوکسیل و هیدروکسیل هستند و پلیمر را آماده ایجاد پیوند هیدروژنی و یونی با مولکول‌های هدف کرده، در نتیجه ایجاد برهم‌کنش به‌منظور جذب مولکول‌های نمونه و فرایند حکاکی امکان‌پذیر می‌شود [۱۳ تا ۱۵].

با توجه به ویژگی‌های گزینش‌پذیری بالای فن حکاکی مولکولی پلیمرها، در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی بر روی حکاکی انواع مولکول‌های زیستی، پروتئین‌ها، داروها و انواع آلاینده‌های زیست محیطی با استفاده از مشتقات پلی‌آکریل‌آمید انجام شده است [۱۶ تا ۱۹]. برای مثال، سیف و همکارانش ترامادول را با استفاده از مونومر متاکریلیک اسید در مقیاس نانو حکاکی کردند [۲۰]. تاکنون بیشتر پلیمرهای حکاکی شده در زمینه‌های زیستی و پزشکی در حلال‌های آلی مانند تولوئن، استون و کلرفرم انجام شده است [۲۱ و ۲۲] در حالی که در فرایند حکاکی برای تهیه سطح جاذب مناسب برای شناسایی و جذب نمونه از محیط‌های زیستی و شرایطی شبیه محیط آبی بدن، لازم است اندازه حفره ایجاد شده توسط مولکول قالب در اندازه‌ای مناسب با مولکول‌های مورد نظر در سامانه‌های زیستی باشد. در این راستا، پژوهش‌های محدودی به‌تازگی در ارتباط با حکاکی پلیمرها در محیط آبی ارایه شده است [۲۳].

سپس فرایند پلیمریزاسیون انجام می‌شود. در ادامه مولکول قالب از طریق شست‌وشو با حلال مناسب از پلیمر حذف شده و حفره‌هایی متناسب با مولکول قالب تشکیل می‌شوند. این حفره‌ها که جایگاه‌های حکاکی نامیده می‌شوند، از نظر اندازه، شکل و گروه‌های عاملی مکمل مولکول‌های هدف هستند. حفره‌ها دارای مکان‌های پیوندی فعالی بوده که قابلیت برهم‌کنش با گروه‌های عاملی مولکول نمونه را دارند و به‌طور ویژه برای آن مولکول، گزینش‌پذیر هستند. بنابراین، پلیمر حکاکی شده قادر است مولکول هدف موردنظر را در مرحله جذب دوباره حتی در حضور نمونه‌های خیلی شبیه مولکول هدف تشخیص دهد [۵ تا ۷]. شکل ۱ شمایی از این فرایند را نشان می‌دهد.

پلیمرهای حکاکی به دلیل قیمت پایین، پایداری بالا در انواع حلال‌های آلی، محیط‌های اسیدی، بازی و گرما برای استفاده به‌عنوان حس‌گرهای شیمیایی در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی مناسب هستند [۸].

پلی‌آکریل‌آمید (PAA) از جمله پلیمرهای مصنوعی محلول در آب است و به‌صورت تجاری می‌تواند به شکل پودر، محلول و امولسیون یافت شود که شکل جامد آن سریع آب را به خود جذب می‌کند. این پلیمر در تصفیه آب آشامیدنی به‌عنوان یکی از انواع مواد پاک‌کننده و حذف‌کننده مواد زائد به کار می‌رود [۹ و ۱۰]. افزون بر آن در تهیه چسب، کاغذ، پلاستیک‌ها، مواد آرایشی و باز یافت نفت استفاده می‌شود [۱۱]. والتینا و همکارانش دریافتند که پلی‌آکریل‌آمیدهای دارای پیوند عرضی، استحکام و مقاومت بیش‌تر و انحلال‌پذیری کم‌تری نسبت به پلی‌آکریل‌آمیدهای غیر شبکه‌ای،



شکل ۱ مرحله‌های حکاکی مولکولی: ۱- مرحله تشکیل کمپلکس، ۲- مرحله پلیمریزاسیون، ۳- مرحله استخراج مولکول قالب، ۴- مرحله جذب مولکول هدف با جایگاه‌های حکاکی.

فراصوت مدل Bandelin (DT102H) ساخت کشور آلمان دارای قدرت 120/480W و فرکانس عملکرد ۳۵ KHz برای ایجاد امواج فراصوت و ایجاد پلیمرهایی در مقیاس نانو استفاده شد. برای شناسایی نانوذرات پلیمری از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) و طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) مدل zeiss (sigma- $\nu$ ) ساخت کشور آلمان و طیف سنج تبدیل فوریه فرو سرخ FT-IR Bruker Vector 22 برای قرص‌های فشرده KBr به کار گرفته شد. برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز از دستگاه UV-Visible تک پرتوی Hach (DR 2800) ساخت کشور آلمان استفاده شد.

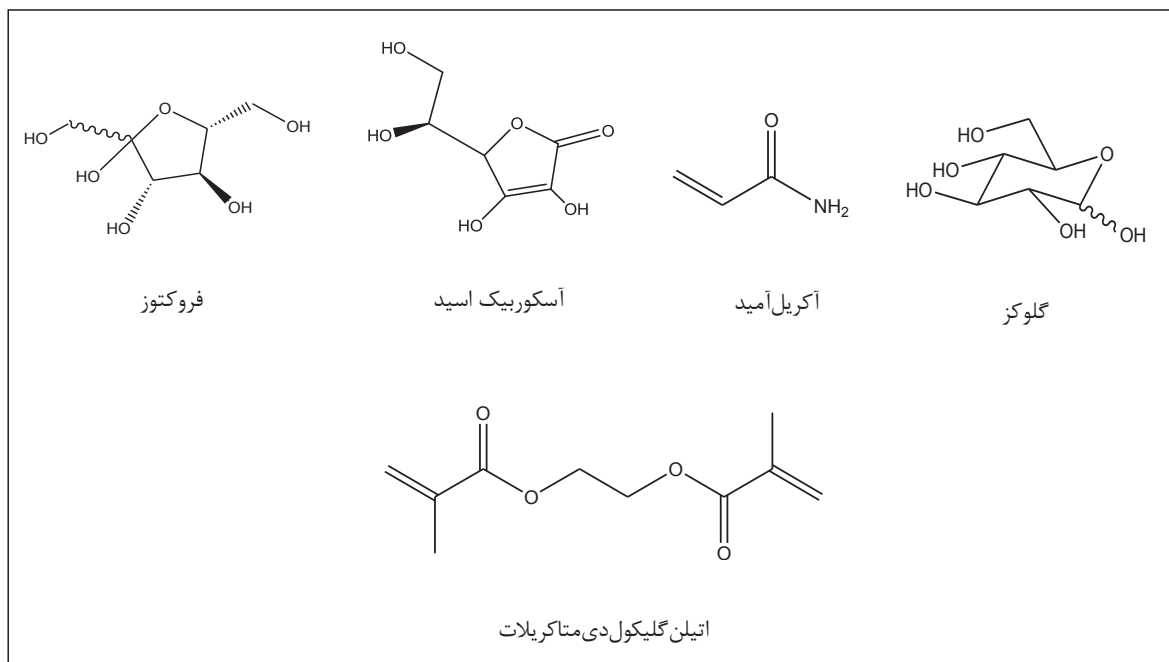
در این پژوهش، برای تهیه نانو ذرات پلی‌آکریل‌آمید حکاکی شده با مولکول قالب گلوکز برای استفاده‌هایی از جمله سطح جاذب مناسب، از آکریل‌آمید به عنوان مونومر اصلی، اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات به عنوان مونومر پیونددهنده عرضی، آمونیم پرسولفات به عنوان اکسنده در حلال آب و اتانول استفاده شد. ویژگی‌های گزینش‌پذیری این نانو پلیمر با دو ماده فروکتوز و آسکوربیک اسید که از لحاظ ساختاری مشابه گلوکز هستند، بررسی شد. فرایند حکاکی که در روند این پژوهش انجام شد، بی‌سابقه است زیرا تاکنون پژوهشی در زمینه حکاکی پلی‌آکریل‌آمید در محیط آبی انجام نشده است.

### بخش تجربی

مواد و روش‌ها

سنتز نانوپلی‌آکریل‌آمید حکاکی شده با گلوکز (MIP) محلولی شامل ۰٫۷ گرم (۹٫۸۵ میلی‌مول) آکریل‌آمید، ۰٫۴۸ میلی‌لیتر از اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات (۲٫۴۶ میلی‌مول) و ۰٫۹۷ گرم از گلوکز (۲٫۴۶ میلی‌مول) در ۱۰ میلی‌لیتر آب به‌افزوده ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶٪ به مدت ۱۵ دقیقه در حمام فراصوت

در این پژوهش آکریل‌آمید، اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات، گلوکز، آمونیم پرسولفات و سولفوریک اسید از شرکت مرک و آنترون از شرکت فلوکا و اتانول از شرکت غدیر خریداری شد. از حمام



شکل ۲ ساختارهای شیمیایی استفاده شده در این مطالعه

هیدروکربن‌ها به نام آزمون آنترون استفاده شد. در این روش به محلول گلوکز در حضور سولفوریک اسید، آنترون افزوده می‌شود. منوساکارید گلوکز در محیط اسیدی غلیظ، آب از دست می‌دهد (دهیدراته شدن) و تبدیل به هیدروکسی متیل فورفورال می‌شود و سپس با آنترون برهم‌کنش کرده و ترکیبی رنگی ایجاد می‌کند که در ناحیه مرئی قابل شناسایی است. رنگ سبز محلول، ناشی از ایجاد ترکیب چند حلقه‌ای آروماتیک (طبق شکل ۳) است که جذب آن در ناحیه ۶۳۰ نانومتر قابل تشخیص است [۲۴].

برای بررسی گزینش‌پذیری نانوپلیمر حکاکی شده، جذب دو ماده فروکتوز و آسکوربیک اسید به وسیله جاذب در شرایطی یکسان با جذب گلوکز انجام شد و نتیجه‌ها با هم مقایسه شد.

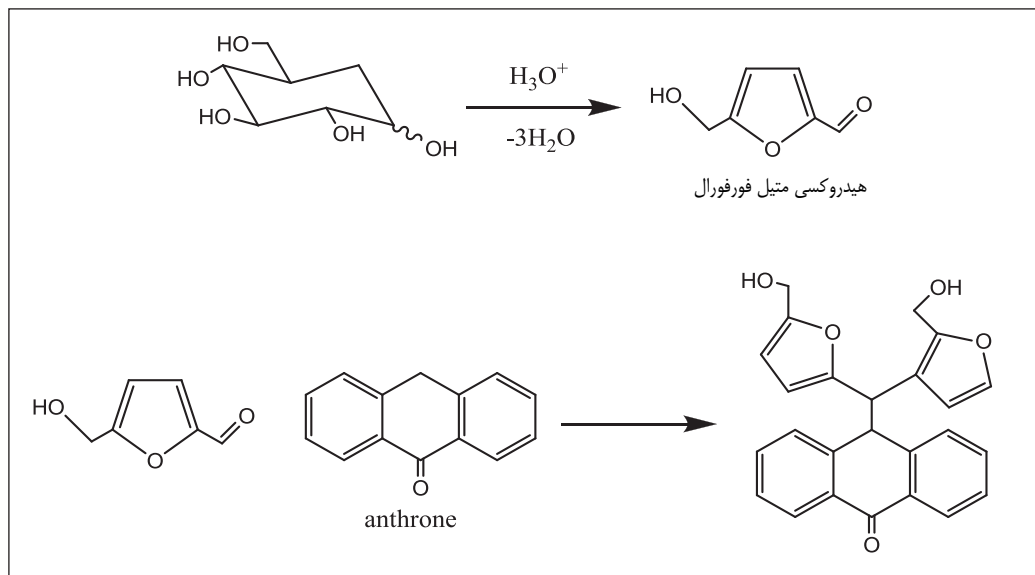
### نتیجه‌ها و بحث

در طیف فروسرخ پلی آکریل آمید خطی که در ساختار آن فقط مونومر آکریل آمید موجود است، پیک ناحیه  $3377 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی N-H در پیوند آمید پلیمر، پیک ناحیه  $2812 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی C-H، پیک ناحیه  $1671 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی کربونیل C=O، پیک ناحیه  $1612 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی C=N و پیک ناحیه  $1136 \text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به

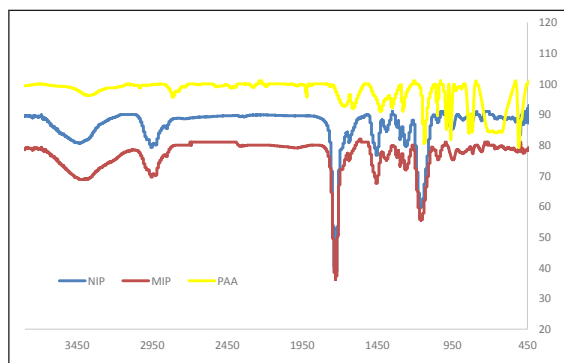
تهیه شد. سپس در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ۰/۱ گرم (۰/۴۴ میلی‌مول) اکسند آمونیم پر سولفات تحت امواج فراصوت افزوده شد. پس از ۱۵ دقیقه رسوب سفیدی به دست آمد. رسوب به دست آمده با دستگاه سانتریفیوژ با قدرت ۲۸۰۰ دور در دقیقه طی ۲ دقیقه از محلول رویی جدا شد و پس از ۳ بار شست‌وشو با آب مقطر و تکرار سانتریفیوژ در هر بار شست‌وشو، رسوب جداسازی و خشک شد. برای حذف گلوکز از پلیمر، رسوب چندین مرتبه با آب مقطر شست‌وشو شد.

نانوپلی آکریل آمید غیرحکاکی (NIP)، به شیوه مشابه پلیمر حکاکی شده ولی در عدم حضور مولکول قالب گلوکز سنتز می‌شود.

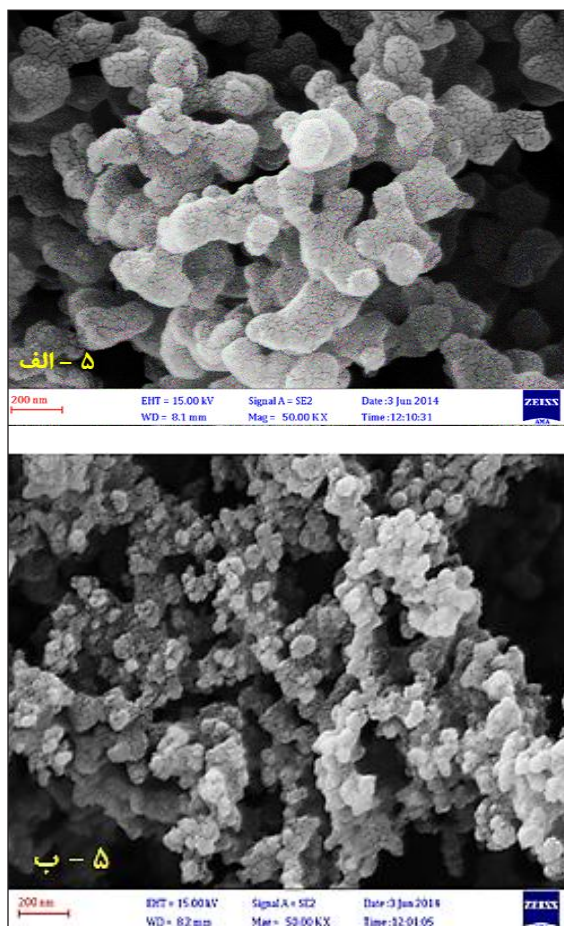
روش بررسی فرایند جذب گلوکز به وسیله پلی آکریل آمید حکاکی شده برای بررسی ویژگی جذب پلیمرهای سنتز شده، نخست مقدار مشخصی از پلیمر حکاکی شده که مولکول قالب آن به وسیله شست‌وشو با آب حذف شده بود، در ۱۰ میلی‌لیتر محلول گلوکز با غلظت‌های مشخص ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر ریخته و به مدت متوسط ۳ ساعت هم‌زده شد. سپس محلول رویی با استفاده از سانتریفیوژ از پلیمر جاذب جدا شد و جذب آن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز از آزمایش مربوط به تشخیص



شکل ۳ شمایی از واکنش گلوکز با شناساگر آنترون



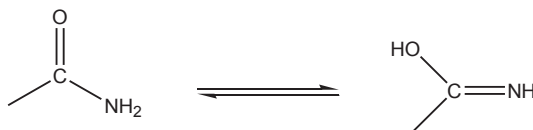
شکل ۴ طیف فروسرخ پلی‌آکریل‌آمید خطی (PAA)، نانوپلیمر غیرحکاکی (NIP)، نانو پلیمر حکاکی (MIP)



شکل ۵ الف تصویر FE-SEM نانوپلیمر غیرحکاکی (NIP) و (ب) نانوپلیمرهای حکاکی شده با قالب گلوکز (MIP)

پیوند آلوکوسی C-O است.

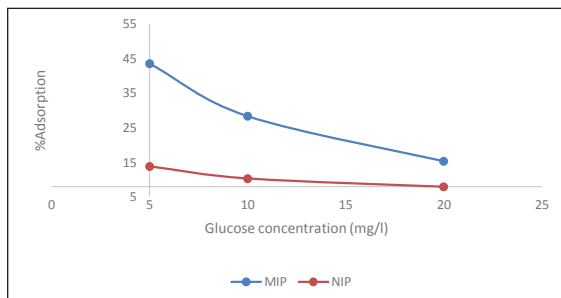
در طیف فروسرخ نانوپلی‌آکریل‌آمید غیرحکاکی (NIP) افزون بر پیک‌های ذکر شده، یک ارتعاش کششی کربونیل تیز در ناحیه  $1732\text{ cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود که وجود گروه کربونیل مربوط به مونومر پیونددهنده عرضی را در ترکیب تأیید می‌کند. با مقایسه طیف‌های پلیمر خطی و شبکه‌ای می‌توان دریافت که در پلی‌آکریل‌آمید سنتز شده به صورت خطی، سطوح پلیمر به دلیل این که شبکه‌ای نیستند، به هم نزدیک‌تر و گروه‌های آمیدی با هم پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند و بنابراین، براساس رزونانس زیر هر دو پیک  $C=O$  و  $C=N$  در کنار هم مشاهده می‌شوند که ارتفاع هر دو پیک کوتاه است.



در ساختار پلیمر دارای پیوند دهنده عرضی افزون بر این دو پیک، یک پیک تیز کربونیل در ناحیه  $1730\text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شود که مربوط به وجود گروه کربونیل اتیلن‌گلیکول‌دی‌متاکریلات در ساختار پلیمر است که گروه کربونیل آن رزونانسی نمی‌دهد افزون بر آن وجود پیوند هیدروژنی باعث شیفت به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر می‌شود و در نتیجه پلی‌آکریل‌آمید شبکه‌ای نسبت به پلیمر خطی کمی شیفت به سمت طول موج‌های بلندتر دارد.

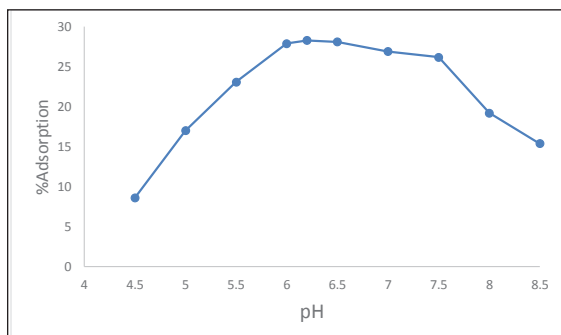
طیف فروسرخ مربوط به نانوپلی‌آکریل‌آمید حکاکی شده با گلوکز، مشابه نانوپلی‌آکریل‌آمید غیرحکاکی است. به دلیل مشابه بودن مونومرهای هر دو پلیمر و با توجه به غلظت کم گلوکز موجود در پلیمر، پیک‌های جذب گلوکز با پلیمر پوشیده می‌شود. بنابراین، پیک‌های گلوکز در این ترکیب مشاهده نمی‌شود.

شکل ۵-الف تصویر FE-SEM نانو پودرهای پلیمر غیرحکاکی را که اندازه ذرات آن در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر است را نشان می‌دهد. شکل ۵-ب تصویر FE-SEM نانوپلی‌آکریل‌آمیدهای حکاکی شده با گلوکز را که نشان‌دهنده تشکیل ذره‌ها در اندازه تقریبی ۲۰ تا ۵۰ نانومتر است را نشان می‌دهد. هم چنین همگن بودن ذره‌ها در شکل مشاهده می‌شود.



شکل ۷ نمودار جذب گلوکز با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر به وسیله ۰٫۳۵ گرم MIP و NIP

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذارنده بر میزان فرایند جذب، pH محلول است. برای بررسی اثر pH بر جذب نمودار جذب محلول ۱۰ میلی گرم بر لیتر گلوکز در pHهای متفاوت در گستره ۴٫۵ تا ۸٫۵ رسم شد. شکل ۸ نشان می‌دهد که بالاترین مقدار جذب گلوکز به وسیله نانو پلیمرهای حکاکی شده در pH برابر با ۶٫۲ است. مطابق توضیحاتی که پیش‌تر ارائه شد، گلوکز در محیط‌های با غلظت بالای اسید، آب از دست می‌دهد و تبدیل به هیدروکسی متیل فورفورال می‌شود و در نتیجه به وسیله حفره‌های حکاکی شده مربوط به پلیمر جذب نخواهد شد. هم‌چنین در محیط‌های بازی، گلوکز تبدیل به مخلوط‌های پیچیده‌ای از ایزومرهای متفاوت مانند فروکتوز، ربوهگزولوس، ۳-کتوهگروز و ... تبدیل می‌شود [۲۵] و در نتیجه بازده جذب کاهش می‌یابد.

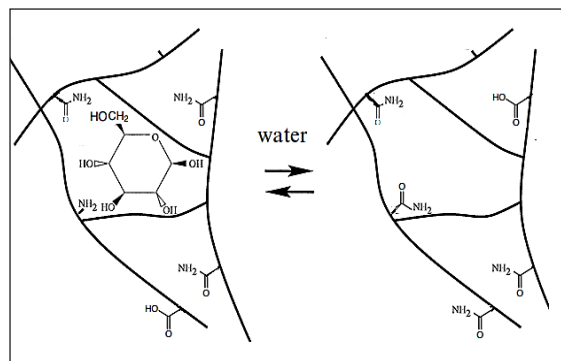


شکل ۸ نمودار تأثیر pH بر میزان جذب گلوکز به وسیله MIP

به منظور بررسی اثر مقدار جاذب نانوپلیمر آکریل آمید حکاکی شده (MIP) در جذب گلوکز، مقدارهای متفاوت جاذب در گستره ۰٫۵۵ تا ۰٫۱ گرم در تماس با محلول گلوکز با غلظت اولیه ۱۰ میلی گرم

باید توجه داشت که در فرایندهای حکاکی مه‌ترین مرحله، شست‌وشوی مناسب پلیمر جهت حذف مولکول‌های قالب است. حذف این قالب‌ها از بستر پلیمری مشکل است و نیاز به شست‌وشو با حلال مناسب دارد. هرچه مقدار بیشتری از این مولکول‌ها از پلیمر حذف شوند، حفره‌های بیشتری تشکیل شده و در نتیجه درصد جذب بالاتر می‌رود.

شکل ۶ ساختار پلی آکریل آمید حکاکی شده با قالب گلوکز شکل حفره‌ی ایجاد شده بعد از شست‌وشوی این پلیمر را نشان می‌دهد.



شکل ۶ پلی آکریل آمید حکاکی شده با مولکول قالب گلوکز

بررسی ویژگی جذب و گزینش پذیری نانوپلی آکریل آمید حکاکی شده (MIP)

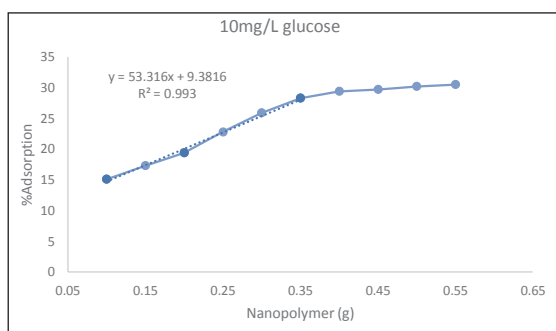
همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، نتیجه آزمایش‌ها گویای این است که درصد جذب گلوکز با افزایش غلظت آن، توسط پلی آکریل آمید حکاکی شده (MIP) کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد در فرایند جذب پلیمرهای حکاکی شده، ابتدا حفره‌های سطحی پلیمرها مولکول نمونه را جذب می‌کنند و با اشباع نواحی سطحی، حفره‌های عمقی پلیمر با سرعت آهسته‌تری گلوکز را جذب کرده و بنابراین، در غلظت‌های بالاتر، درصد جذب مولکول نمونه در مدت زمان معین کاهش می‌یابد. گلوکزی که به وسیله پلیمر غیرحکاکی (NIP) جذب می‌شود اندک بوده و افزون بر آن با تغییر غلظت گلوکز، تغییر چندانی نمی‌کند. ظرفیت جذب این نانوپلیمر برابر با ۰٫۰۶۴ میلی گرم گلوکز به ازای ۱ گرم جاذب است.



آکریل آمید به عنوان مونومر اصلی و اتیلن گلیکول دی متاکریلات به عنوان مونومر پیونددهنده عرضی و اکسند آمونیم پرسولفات در حلال آب و اتانول تحت روش گرمایی در حضور امواج فراصوت سنتز شد. اندازه نانوذره‌های MIP با استفاده از FE-SEM ۲۰ تا ۵۰ نانومتر تشخیص داده شد.

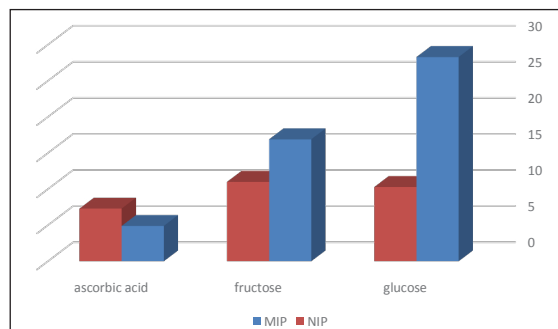
استفاده از این پلیمر به منظور جذب گلوکز در محلول‌های آبی از طریق اندازه‌گیری‌های جذب محلول گلوکز بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که ظرفیت جذب MIP ۰٫۰۶۴ میلی گرم گلوکز به ازای ۱ گرم جاذب است و درصد جذب گلوکز با افزایش غلظت آن کاهش می‌یابد. مؤثرترین حالت برای جذب محلول گلوکز در pH برابر با ۶٫۲ است و با افزایش مقدار جاذب در گستره ۰٫۳۵ تا ۰٫۱ گرم، درصد جذب نیز بیشتر می‌شود ولی در مقدارهای بالاتر، میزان جذب مستقل از میزان جاذب است. همچنین MIP نسبت به گلوکز در مقایسه با آسکوربیک اسید و فروکتوز پذیرش پذیری بهتری دارد.

بر لیتر قرار داده شد. همان‌طور که در نمودار شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار جاذب و در نتیجه افزایش سطح تماس مولکول گلوکز، در گستره ۰٫۳۵ تا ۰٫۱ گرم جاذب، میزان جذب به صورت خطی افزایش می‌یابد ولی در مقدارهای بالاتر از ۰٫۳۵ گرم، مقدار جذب افزایش چشم‌گیری ندارد و به بیان دیگر مستقل از مقدار جاذب می‌شود.



شکل ۹ نمودار جذب محلول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر گلوکز با مقدارهای متفاوت MIP

مقدار جذب ترکیبات فروکتوز و آسکوربیک اسید که از لحاظ ساختاری مشابه گلوکز هستند بر روی نانوپلیمر بررسی شد. شکل ۱۰ نشان دهنده این است این جاذب گزینش‌پذیری خوبی نسبت به گلوکز دارد.



شکل ۱۰ بررسی گزینش‌پذیری MIP و NIP نسبت به گلوکز در مقایسه با فروکتوز و آسکوربیک اسید

## نتیجه‌گیری

نانوذره‌های حکاکی شده با مولکول گلوکز به عنوان قالب به طور موفقیت‌آمیز به روش پلیمریزاسیون رسوبی با استفاده از

## مراجع

- [1] Park, S.; Boo, H.; Chung, T.D.; J. Anal. Chim. Acta.; 556, 46–57, 2006.
- [2] Oliver, N.S.; Toumazou, C.; Cass, A.E.; Johnston, D.G.; J. Diabet Med., 26, 197-210, 2009.
- [3] Mahbubur-Rahman, M.D.; Saleh-Ahammad, A.J.; Hyung-Jin, J.; J. Sensors., 10, 4855-4886, 2010.
- [4] Liao, J.; Yang, Y.; Du, W.; J. Sensor. Actuator. B-Chem., 208, 457–463, 2014.
- [5] Ruela, A.; Figueiredo, E.; Pereira, G.; J. Chem. Eng., 248, 1-8, 2014.
- [6] Malitesta, E.; Mazzotta, C.; Anal Bioanal. Chem.; 402,1827–1846, 2012.
- [7] Spivak, D.; J. Adv. Drug Delivery. Rev., 57, 1779–1794, 2005.
- [8] Vasapollo, G.; Del-Sole, R.; Mergola, L.; Rosaria-Lazzoi, M.; Int. J. Mol. Sci., 12, 5908-

- 5945, 2011.
- [9] Liao, H.; Nie, Shouzhuo-Yao, L.; J. Biochem. Biophys. Methods., 59, 75–87, 2004.
- [10] Luiz, M.L.; Karina, A.M.; Susana, I.C.; J. Eur. Poly. 45, 1232–1238, 2009.
- [11] Abdollahi, Z.; Gomes, V.G.; Eng. Australia., 18, 2291-2297, 2011.
- [12] Valentinia, M.; Perju, M.; cell. Chem & tech., 45, 197-203, 2011.
- [13] Huang, Y.; Xu, Y.; He, Q.; Du, B.; Cao. Y.; J. Appl. Polym. Sci., 128, 3256–3262, 2013.
- [14] Ou, S.H.; Wu, M.C.; Chou, T.C.; Anal. Chim. Acta., 504, 163–166, 2004.
- [15] Covey. T.R.; Plant Physiol., 60, 300-304, 2001.
- [16] Aswini, K.K.; Vinu-Mohan, A.M.; Biju, V.M.; J. Mater. Sci. Eng., 37, 321–326, 2014.
- [17] Ebrahimzadeh, H.; Dehghani, Z.; Asgharinezhad, A.A.; Shekari, N.; Molaei, K.; Int. J. Pharm.; 21, 67-74, 2013.
- [18] Davoodi, D.; Hassanzadeh, M.; Asgharian-Rezaei, M.; J. Food. Chem.; 158, 421-428, 2014.
- [19] Morais-Ruela, A.; Costa-Figueiredo, E.; Ribeiro-Pereira, G.; Ribeiro Pereira, G.; J. Chim. Eng., 248, 1-8, 2014.
- [20] Seifi, M.; Hassanpour-Moghadam, M.; Hadizadeh, F.; Int. J. Pharm., 471, 37-44, 2014.
- [21] Carter, S.R.; Rimmer, S.; J. Adv. Materials, 14, 667-670, 2002.
- [22] Haginaka, J.; Takehira, H.; Hosoya, K.; Tanaka, N.; J. Chromatography A, 849, 331–339, 1999.
- [23] Liu, Y.; Zhu, L.; Sensors and Actuators B-Chem, 171, 1151–1158, 2012.
- [24] Van-Dam, H.E.; Kieboom, A.P.G.; Bekkum, H. van.; Starch., 38, 95, 101, 2006.
- [25] Watanabe, M.; Aizawa, Y.; Iida, T.; Carbohydrate. Res., 340, 1925–1930, 2005.



## Preparation and study of polyacrylamide molecularly imprinted polymer (MIP) nanoparticles for recognition of glucose in aqueous media

Z. Hoseini<sup>1,\*</sup>, M. Keshvardoost<sup>1</sup> and F. Piri<sup>2</sup>

1. MSc in Organic Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Zanjan University, Zanjan, Iran
2. Assistant prof. of Organic Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: November 2014, Revised: April 2015, Accepted: May 2015

**Abstract:** Preparation of molecularly imprinted polymers is a new, simple, and inexpensive method for preparing materials that can be used in several clinical applications. In this study, glucose imprinted and nonimprinted nanoparticles were synthesized by free radical polymerization under heating method in which acrylamide (AA) acts as a functional monomer and ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as a cross-linker. The obtained molecularly imprinted polymers (MIPs) and non-imprinted polymers (NIPs) nanoparticles characterized by using field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The adsorption test showed that polyacrylamide nanoparticles with average size of 33.5 nm exhibited a good selectivity to glucose compared to fructose, and ascorbic acid.

**Keywords:** Molecularly imprinted polymers, Gglucose, Polyacrylamide, Nanoparticles