



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

گرایش جداسازی

پایان نامه کارشناسی ارشد

حذف یون روی از محلول آبی توسط نانو کامپوزیت مگمایت/ پلی

رودانین در ستون پیوسته

شکوفه قاسمی [۹۱۱۱۱۳۸۰۱۰]

اساتید راهنما:

دکتر محسن مهدی پورقاضی

دکتر محسن قربانی

مهر ۹۳

سپاسگزارى

ميش از هر خير خداوند متعال را شاكرم، كه چشم بر هم زدنى مرا به حال خود رها نكرد.

باسپاس فراوان از زحمات و راهبنامى هاى بى دریغ اساتید ارجمندم جناب آقایان

دکتر محسن قربانى و دکتر محسن مهدى پور قاضى كه در انجام اين پروژه از هیچ كلك و راهبنامى

مضائقه ننمودند و همواره ياور اين جانب بوده اند.

در پايان از همراهِ جناب آقای دکتر احمدى پور، دوستان

,

خانواده عزيزم كه همواره حامى و مشوقم بوده اند، سپاسگزارم.

چکیده

آلودگی آب توسط فلزات سنگین با افزایش سریع فعالیت‌های صنعتی جهانی تبدیل به یک مشکل جدی شده است. در میان تکنیک‌های مختلف جداسازی، جذب یک روش معمولی اما کارآمد برای حذف یون‌های فلزی سمی از آب است. در این تحقیق به سنتز نانوذرات مگمایت ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) پرداخته شده است و سپس به منظور حفظ و نگهداری و جلوگیری از تجمع، اکسیداسیون سطح و افزایش پایداری، نانوذرات مغناطیسی با لایه‌ای از پلی‌رودانین پوشش داده شده اند. در ادامه نانوکامپوزیت تهیه شده به عنوان یک جاذب کارآمد در یک ستون پیوسته جهت جداسازی یون‌های فلز روی از محلول آبی به کار گرفته شده است. به منظور بررسی رفتار و خواص نانوکامپوزیت مگمایت/پلی‌رودانین از آزمون‌های میکروسکوپ الکترونی (TEM&SEM)، طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)، اشعه ایکس (XRD)، مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) و تجزیه وزن‌سنجی گرمایی (TGA) استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که نانوکامپوزیت تشکیل شده دارای ساختار هسته-پوسته با اندازه متوسط حدوداً ۱۸ نانومتر و دارای خاصیت فری مغناطیسی می‌باشد. همچنین این ذرات دارای ساختار کریستالی بوده و از پایداری حرارتی بالایی برخوردار می‌باشند. جهت انجام آزمایش‌های جداسازی از سیستم پیوسته (ستون جذب) استفاده شده و آزمایشات در دمای محیط صورت گرفته است. در این قسمت به تاثیر ارتفاع ستون و غلظت یون فلزی و همچنین مدل‌های سینتیک جذب پرداخته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، ارتفاع ستون و غلظت اولیه تاثیر بسزایی در فرآیند جذب و منحنی رخنه داشته و با افزایش ارتفاع ستون و کاهش غلظت اولیه یون‌های فلزی این میزان افزایش یافته است. به علاوه، در بین مدل‌های بررسی شده، مدل‌های توماس و یون-نلسون با داده‌های آزمایشگاهی سازگارترند.

کلید واژه‌ها: پلی‌رودانین، جذب، روی، مگمایت، نانوکامپوزیت

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۱-۱	کامپوزیت
۲-۱	انواع کامپوزیت
۳-۱	کاربرد کامپوزیت‌ها
۴-۱	فواید مواد کامپوزیت
۵-۱	نانوکامپوزیت
۶-۱	انواع نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری
۷-۱	روش‌های تولید نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری
۶-۱-۷-۱	اختلاط مستقیم
۷-۱-۷-۱	روش حلال
۸-۱-۷-۱	پلیمریزاسیون درجا
۸-۱-۷-۱	روش سل ژل
۹-۱-۷-۱	پلیمریزاسیون امولسیون
۸-۱	خواص و کاربرد نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری
۱-۸-۱	کاربرد نانوکامپوزیت‌های پلیمری در فناوری جداسازی و تصفیه
۹-۱	نانوذرات مغناطیسی
۱۰-۱	خواص مغناطیسی
۱-۱۰-۱	دیامغناطیس
۲-۱۰-۱	پارامغناطیس
۳-۱۰-۱	فرومغناطیس
۴-۱۰-۱	حلقه پسماند

- ۱۱-۱ نانوذرات مغناطیسی مگمایت ۱۵
- ۱۲-۱ روش‌های سنتز نانوذرات مگمایت ۱۶
- ۱۳-۱ اصلاح سطح نانوذرات ۱۷
- ۱۴-۱ پلیمرهای هادی ۱۷
- ۱۵-۱ پلی‌رودانین ۱۸
- ۱۶-۱ تهیه نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی ۱۸
- ۱-۱۶-۱ تهیه پلیمر مغناطیسی از طریق نمک‌های فلزی ۱۸
- ۲-۱۶-۱ پلیمریزاسیون تحت نانوذرات مغناطیسی ۱۹
- ۱۷-۱ آب و اهمیت موضوع تحقیق ۱۹
- ۱۸-۱ انواع آب ۲۰
- ۱-۱۸-۱ آب‌های سطحی ۲۰
- ۲-۱۸-۱ آب‌های زیرزمینی ۲۰
- ۱۹-۱ خصوصیات فیزیکی آب آشامیدنی ۲۱
- ۲۰-۱ خصوصیات شیمیایی آب آشامیدنی ۲۲
- ۲۱-۱ فلزات سنگین ۲۳
- ۲۲-۱ روی ۲۴
- ۲۳-۱ تصفیه آب ۲۶
- ۲۴-۱ روش‌های کلی تصفیه آب ۲۶
- ۱-۲۴-۱ پدیده تبادل یونی ۲۷
- ۲-۲۴-۱ فرآیند غشایی ۲۷
- ۳-۲۴-۱ ته‌نشینی شیمیایی ۲۷
- ۴-۲۴-۱ جذب سطحی ۲۸

- ۲۵-۱ تاریخچه فرآیند جذب سطحی در صنعت تصفیه آب ۳۰
- ۲۶-۱ انواع جذب سطحی ۳۰
- ۱-۲۶-۱ جذب سطحی تبادلی ۳۰
- ۲-۲۶-۱ جذب سطحی فیزیکی ۳۰
- ۳-۲۶-۱ جذب سطحی شیمیایی ۳۱
- ۲۷-۱ جاذب ها ۳۲
- ۲۸-۱ مکانیزم جذب ۳۲
- ۲۹-۱ عوامل مؤثر بر سرعت جذب سطحی ۳۳
- ۱-۲۹-۱ میزان اغتشاش در فاز سیال ۳۳
- ۲-۲۹-۱ نوع و خصوصیات جسم جاذب ۳۳
- ۳-۲۹-۱ اندازه مولکول های جزء جذب شونده ۳۳
- ۴-۲۹-۱ حلالیت ماده جذب شونده ۳۳
- ۵-۲۹-۱ اثر وزن، شکل و ساختمان مولکولی جسم جذب شونده ۳۴
- ۶-۲۹-۱ درجه حرارت ۳۴
- ۷-۲۹-۱ pH ۳۴
- ۳۰-۱ اهداف عمده تحقیق ۳۵
- ۲ مروری بر سوابق مطالعاتی و پژوهشی ۳۷
- ۳ مواد و روش ها ۴۵
- ۱-۳ مقدمه ۴۵
- ۲-۳ مشخصات دستگاه ها ۴۵
- ۳-۳ مشخصات مواد ۴۶
- ۴-۳ شرح انجام آزمایش ها ۴۷

- ۴۷ ۳-۴-۱ تهیه نانوذرات مغناطیسی مگمایت
- ۴۸ ۳-۴-۲ تهیه پلی‌رودانین
- ۴۸ ۳-۴-۳ تهیه نانوکامپوزیت مگمایت / پلی‌رودانین
- ۴۸ ۳-۴-۴ آماده‌سازی محلول روی مورد آزمایش در آب
- ۴۹ ۳-۴-۵ آزمایش‌های جذب در ستون پیوسته
- ۵۰ ۳-۴-۵-۱ تاثیر ارتفاع ستون
- ۵۰ ۳-۴-۵-۲ تاثیر غلظت اولیه
- ۵۰ ۳-۴-۶ آنالیز داده‌ها در سیستم پیوسته
- ۵۳ ۳-۴-۷ مدل‌سازی منحنی رخنه
- ۵۴ ۳-۴-۷-۱ مدل آدامز-بوهارت
- ۵۴ ۳-۴-۷-۲ مدل توماس
- ۵۵ ۳-۴-۷-۳ مدل یون-نلسون
- ۵۷ ۴ نتایج و بحث
- ۵۷ ۴-۱-۱ شکل‌شناختی
- ۵۷ ۴-۱-۱-۱ بررسی شکل‌شناختی با استفاده از تصاویر SEM
- ۵۸ ۴-۱-۲ بررسی شکل‌شناختی با استفاده از تصاویر TEM
- ۵۹ ۴-۲ بررسی ساختمان شیمیایی نانوذرات، پلیمر و نانوکامپوزیت
- ۶۰ ۴-۳ بررسی ساختار نانوذرات و نانوکامپوزیت توسط تصویر X-ray
- ۶۲ ۴-۴ بررسی خواص مغناطیسی
- ۶۲ ۴-۴-۱ منحنی حلقه پسماند برای نانوذرات و نانوکامپوزیت
- ۶۴ ۴-۵ آنالیز حرارتی پلیمر و نانوکامپوزیت توسط آنالیز TGA
- ۶۵ ۴-۶ جداسازی فلزات روی از محلول آبی با استفاده از نانوکامپوزیت مگمایت / پلی‌رودانین

۶۵.....	۱-۶-۴ تاثیر ارتفاع ستون
۶۷.....	۲-۶-۴ تاثیر غلظت اولیه
۶۹.....	۷-۴ بررسی مدل‌های منحنی رخنه
۶۹.....	۱-۷-۴ مدل آدامز- بوهارت
۷۰.....	۲-۷-۴ مدل توماس
۷۰.....	۳-۷-۴ مدل یون- نلسون
۷۳.....	۵ نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۳.....	۱-۵ جمع‌بندی نتایج
۷۵.....	۲-۵ پیشنهادات
۷۷.....	۶ منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. شماتیکی از روش حلال ۷
- شکل ۲-۱. شماتیکی از روش پلیمریزاسیون درجا ۸
- شکل ۳-۱. شماتیکی از روش سل-ژل ۹
- شکل ۴-۱. شماتیکی از روش پلیمریزاسیون امولسیون ۱۰
- شکل ۵-۱. شماتیکی از مواد دیامغناطیس ۱۲
- شکل ۶-۱. شماتیکی از مواد پارامغناطیس ۱۳
- شکل ۷-۱. شماتیکی از مواد فرومغناطیس ۱۴
- شکل ۸-۱. منحنی حلقه پسماند ۱۴
- شکل ۱-۳. نمای سیستم پیوسته جذب مورد استفاده در آزمایشگاه ۴۹
- شکل ۲-۳. شماتیک ستون جذب استفاده شده ۵۰
- شکل ۳-۳. منحنی رخنه و زمانهای خستگی و رخنه ۵۲
- شکل ۱-۴. تصویر SEM (a) نانوذرات مگمایت و (b) نانوکامپوزیت مگمایت/پلی‌رودانین ۵۸
- شکل ۲-۴. تصویر TEM نانوکامپوزیت مگمایت/پلی‌رودانین ۵۸
- شکل ۳-۴. طیف FTIR (a) نانوذرات مگمایت، (b) پلی‌رودانین و (c) نانوکامپوزیت مگمایت / پلی‌رودانین ۵۹
- شکل ۴-۴. منحنی XRD مربوط به (a) نانوذرات مگمایت و (b) نانوکامپوزیت مگمایت/پلی‌رودانین ۶۱
- شکل ۵-۴. منحنی حلقه پسماند (a) نانوذرات مگمایت و (b) نانوکامپوزیت مگمایت/پلی‌رودانین .. ۶۲
- شکل ۶-۴. آنالیز حرارتی پلیمر و نانوکامپوزیت ۶۴
- شکل ۷-۴. نمودار رخنه برای حذف فلز روی در ارتفاع (a) ۱۰ cm (b) ۱۵ cm (c) ۲۰ cm ۶۵
- شکل ۸-۴. نمودار رخنه حذف روی با غلظتهای اولیه (a) ۵۰ ppm (b) ۱۰۰ ppm (c) ۱۵۰ ppm ... ۶۷

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱. برخی خصوصیات نانوذرات مغناطیسی مگمایت ۱۶
- جدول ۱-۳. مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق ۴۶
- جدول ۲-۳. اسامی و مشخصات مواد مورد استفاده در این تحقیق ۴۷
- جدول ۱-۴. پارامترهای مغناطیسی حاصل از تست VSM ۶۳
- جدول ۲-۴. پارامترهای حاصل از منحنی رخنه در ستونها با ارتفاع ۱۰، ۱۵ و ۲۰ cm ۶۶
- جدول ۳-۴. پارامترهای حاصل از منحنی رخنه در غلظتهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ ppm ۶۸
- جدول ۴-۴. پارامترهای حاصل از مدل آدامز- بوهارت ۶۹
- جدول ۵-۴. پارامترهای حاصل از مدل توماس ۷۰
- جدول ۶-۴. پارامترهای حاصل از مدل یون- نلسون ۷۱

فهرست علائم و اختصارات

FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy	طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه
SEM	Scanning Electron Microscope	میکروسکوپ الکترونی روبشی
TEM	Transmission Electron Microscope	میکروسکوپ الکترونی عبوری
TGA	Thermo gravimetric analysis	تجزیه وزن‌سنجی گرمایی
VSM	vibrating sample magnetometer	مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش
XRD	X-ray diffraction	طیف‌سنج پراش پرتو ایکس

فصل اول:

۱ مقدمه

۱-۱ کامپوزیت

واژه کامپوزیت^۱ از کلمه انگلیسی to compose به معنای ترکیب کردن و مخلوط کردن، مشتق شده است. کامپوزیت از ترکیب و اختلاط دو یا چند ماده اصلی حاصل می‌شود. در اینجا منظور از اختلاط، ترکیب فیزیکی می‌باشد. بطوریکه اجزاء تشکیل دهنده ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را کاملاً حفظ کنند. اگرچه در بعضی از کامپوزیت‌ها برای پیشرفت در بهبود خواص، اطلاعات شیمیایی جزئی و سطحی در مورد مواد تشکیل دهنده مورد نیاز می‌باشد [۱].

کامپوزیت‌ها به دو نوع لیفی^۲ و ذره ای یا پودری^۳ معروفند. کامپوزیت‌هایی که در آنها فاز ضعیف یا ماتریس^۴ توسط الیاف گوناگون تقویت شده باشد، کامپوزیت‌های لیفی و چنانچه به جای الیاف از پودر (

^۱ composite

^۲ Fiber composites

^۳ Particulate composites

^۴ Matrix

معمولا معدنی) استفاده شود، کامپوزیت‌های ذره‌ای یا پودری نامیده می‌شوند. همچنین الیاف و پودر تقویت‌کننده را فاز تقویت‌کننده^۱ می‌نامند. گاهی ماتریس را فاز پیوسته و فاز تقویت‌کننده را غیرپیوسته نیز می‌نامند. ممکن است هر دو فاز الیاف و پودری در ماتریس وجود داشته باشد [۲].

استفاده از کامپوزیت‌های مدرن از اوایل دهه ۱۹۴۰ شروع شده که برای اولین بار از الیاف شیشه برای تقویت پلاستیک‌های مصرفی استفاده شده است. همچنین اولین قایق فایبرگلاس در سال ۱۹۴۲ ساخته شده است [۳].

در دهه اخیر، مواد مرکب، کامپوزیت‌ها، پیشرفت شایانی داشته‌اند و این به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی است که در این مواد به چشم می‌خورد. امکان به کارگیری کامپوزیت‌ها در بسیاری از زمینه‌ها به ویژه در صنعت هوا-فضا به خاطر خواص استثنایی از قبیل مقاومت، سختی، سبکی، پایداری گرمایی و غیره است که این مواد از خود نشان می‌دهند و این امکان را فراهم می‌سازند که بتوان به افزایش کارایی و عملکرد یک ساختار هوا-فضا کمک کرد [۲].

از طرفی دیگر تنوع فرآیندها و فرآورده‌ها باعث شده است که چشم انداز توسعه و پیشرفت در این زمینه هرچه بیشتر وسیع شود. امروزه، توانایی استفاده از مواد مرکب به عنوان یک هنر محسوب می‌شود زیرا بسیاری از مسائل که در مورد کاربرد فلزات سنتی هرچند پیشرفته وجود داشته و دارند از طریق یک ترکیب مناسب از این مواد و انتخاب فرآیندی مطلوب حل شدنی به نظر می‌رسد [۲].

۲-۱ انواع کامپوزیت

کامپوزیت‌ها به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند:

۱- کامپوزیت‌های پایه پلیمری (بیش از ۹۰٪ کل کامپوزیت‌ها)

۲- کامپوزیت‌های پایه فلزی

۳- کامپوزیت‌های پایه سرامیکی

^۱ Reinforcing phase

کامپوزیت‌های پلیمری به دسته‌ای از مواد اطلاق می‌شود که برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی در آنها یک یا چند نوع پرکننده^۱ درون پلیمر پخش شده است [۴].

۳-۱ کاربرد کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌ها در صنعت و زندگی روزمره انسان کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند که در اینجا به طور خلاصه اشاره‌ای به آنها خواهد شد.

ورود کامپوزیت در صنعت هوا-فضا به خاطر فراهم نمودن نیازهای استثنائی و بارزی است که موجب شده‌اند از اهمیت بالایی برخوردار شوند و به جرأت می‌توان گفت که موفقیت‌های حاصل و تداوم پیشرفت صنایع هواپیمایی در گرو پیشرفت و تکامل کامپوزیت‌ها و تکنیک‌های مربوط به آن است. به طور کلی پروژه طراحی و ساخت یک هواپیما با یک اتومبیل تفاوت زیادی دارد. محسوس‌ترین آن تفاوت وزن و نسبت وزن و مقاومت است زیرا یک هواپیما باید سبک باشد اما در عین حال مقاومت خوبی در قبال انواع تنش‌ها و نیروهای وارده نشان بدهد. سبک بودن هواپیما باعث می‌شود که نیازی به نیروی جلوبرنده نباشد به این ترتیب در مصرف سوخت صرفه‌جویی شود [۲].

در جراحی قلب مسائل سازگاری مواد زیستی، به دلیل طبیعت پیچیده واکنش متقابل خون با مواد خارجی با استفاده از موادی که کمتر مورد اجابت خون قرار می‌گیرند، منجر به تغییر الگوی جریان خون می‌شود. امروزه یک نوع پیرولیتیک به نام کربن ایزوتروپیک دما پایین^۲ که بوسیله نشست بخارات کربن ناشی از هیدروکربنها بر روی یک سطح کربنی حاصل می‌شود در دریچه قلب به کار می‌رود که بیش از ۲۰۰۰۰۰ عدد از آنها در افراد مریض بکار برده شده است [۵].

و بالاخره کامپوزیت‌های مغناطیسی که ترکیبی از پودر هیدروکسید آهن با پلیمر هستند مسیر روشنی در تجهیزات شنوایی، تجهیزات اتوماتیک اداری بوجود آورده‌اند، وسایل الکتریکی خانگی نیاز به اجزاء با اندازه کوچکتر، وزن سبک‌تر، شکل بهتر، ساختاری مناسب‌تر و مدت زمان استفاده طولانی‌تر دارند.

^۱ filler

^۲ Low Temperature Isotropic Carbon

بنابراین بعلت پایداری شیمیایی، جذب کم آب پلیمرها و خواص بسیار خوب پلیمرهای مغناطیسی بدست-آمده، این نوع پلیمرهای مغناطیسی توجه محققین را به خود جلب کرده‌است و در سالهای اخیر موارد متعددی از کاربرد این نوع نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی در عرصه زیست دارو مشاهده شده‌است [۶].

۴-۱ فواید مواد کامپوزیت

کامپوزیت‌ها دارای فواید مهندسی زیادی روی پلیمرهای سنتزی و کوپلیمرها هستند. تعدادی از این فواید عبارتند از:

- ۱- استحکام زرین منجر به افزایش مقاومت کششی، مقاومت پیچشی، مقاومت تراکمی، مقاومت ضربه، سختی و ترکیب این خصوصیات می شود
- ۲- افزایش استحکام اندازه
- ۳- کاهش اشتعال پذیری
- ۴- محافظت خوردگی
- ۵- بهبود خصوصیات الکتریکی و کاهش ثابت دی‌الکتریک
- ۶- رنگ پذیری
- ۷- بهبود فرآیندپذیری، ویسکوزیته‌های کنترل شده، اختلاط خوب، جهت‌گیری فیبرهای کنترل شده.

۵-۱ نانوکامپوزیت

نانوکامپوزیت‌ها^۱ به دسته ای از کامپوزیت‌ها اطلاق می‌شود که در آن‌ها ذرات پرکن دست کم در یک جهت دارای ابعاد نانو هستند. پرکن می‌تواند یک بعدی باشد مانند نانوفیبرها و نانولوله‌ها و یا دوبعدی مانند کانی‌های لایه‌ای (مانند خاک رس) و یا حتی سه بعدی باشد مانند ذرات کروی.

^۱ Nanocomposite

در نانوکامپوزیت‌ها اجزاء ریز (در ابعاد نانو) باعث به وجود آمدن بلوک‌هایی در ابعاد نانو می‌گردند که این نانوبلوک‌ها دارای مساحت فوق‌العاده زیادی خواهند بود که در نتیجه آن‌ها نیروی بین سطحی بسیار بالایی بین سطوح در فاز به وجود می‌آید [۷].

خواص مخصوص و استثنایی نانوکامپوزیت‌ها نتیجه افزایش اثر نیروهای بین سطحی فازها می‌باشد و برعکس کامپوزیت‌های معمولی که براساس افزودنی‌هایی در ابعاد میکرو می‌باشند (مانند کامپوزیت‌های شامل الیاف کربن) نیروهای بین سطحی مابین افزودنی و ماتریس انتخاب شده بسیار کمتر از مقدار نیروهای درون مولکولی ماده خالص ماتریس می‌باشد که در نتیجه تأثیر آن بر خواص، دامنه بسیار کمتری دارد. اما در افزودنی‌های با ابعاد نانو این نیروهای بین سطحی در بین فازها به حدی است که می‌تواند بنیان‌گذار یک فیزیک جدید و در نتیجه خواص جدید باشد [۸].

ابعاد نانو، ابعاد مولکولی است و در این ابعاد وقتی دو جسم به یکدیگر نزدیک شده و آمیخته می‌شوند نیروهای بین سطحی مانند نیروهای درون مولکولی عمل نموده و نیروی عظیمی مابین سطوح برقرار می‌گردد، این روش استفاده بهینه از انرژی‌های ذاتی مواد است که به صورت طبیعی و بالقوه در مواد وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان به استخوان، که یک نانوکامپوزیت طبیعی است اشاره نمود. این نانوکامپوزیت طبیعی مقاومت و چقرمگی بسیار بالایی دارد. استخوان از صفحات کریستالی بسیار زیادی در ابعاد نانو از هیدروکسی آپاتیت^۱ و الیاف کلاژن^۲ که در ماتریس پراکنده شده‌اند تشکیل شده است که هیچ کدام از هیدروکسی آپاتیت و کلاژن به خودی خود ساختار موادی و خواص فیزیکی قابل ملاحظه‌ای ندارند، اما هنگامی که آن‌ها به همراه دیگر اجزاء در طبیعت با یکدیگر مخلوط شده، در اختیار قرار می‌گیرند کمپلکسی در ابعاد میکرو تشکیل می‌دهند که مجموعاً یک نانوکامپوزیت با خواص عالی خواهد بود که خواص منتجه از آن را به سختی می‌توان با استفاده از مواد مصنوعی ایجاد نمود [۹].

^۱ Hydroxy apatite

^۲ Collagen

۶-۱ انواع نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری

- نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری حاوی نانوذرات [۱۰]
- نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری حاوی نانولایه‌ها [۱۱]
- نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری حاوی الیاف کربنی [۱۲]
- نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری حاوی نانولوله‌های کربنی [۱۳]

۷-۱ روش‌های تولید نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری

روش‌های متعددی برای تولید نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری وجود دارد. این روش‌ها شامل اختلاط مستقیم^۱، روش حلال^۲، پلیمریزاسیون درجا^۳، سل-ژل^۴ و ... می‌باشد. در نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری از نانوذرات، نانوصفحات^۵، نانوالیاف و همینطور نانولوله‌ها به عنوان ماده تقویت کننده و همچنین از پلیمرهای ترموست^۶ نظیر اپوکسی، پلی‌ایمید و پلیمرهای ترموپلاستیک نظیر نایلون، پلی‌اترکتون، پلی-پروپیلن و پلی‌استایرن به عنوان ماده زمینه این کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود [۱۴].

۱-۷-۱ اختلاط مستقیم

در این روش ابتدا نانوذرات تهیه شده به صورت سوسپانسیون در یک حلال حل شده و سپس به محلول پلیمری اضافه و مخلوط حاصل به وسیله‌ی یک پرس هیدرولیک در یک قالب تزریق می‌شود و در نهایت صفحات نازک به دست می‌آیند. در این روش انتخاب بستر پلیمری، انتخاب نوع ذرات و سازگاری این دو گونه با یکدیگر و نحوه توزیع ذرات از نکات حائز اهمیت هستند که بایستی مورد توجه قرار گیرند [۱۵].

^۱ Direct Mixing

^۲ Solvent method

^۳ In-situ polymerization

^۴ Sol-gel

^۵ Nanoplate

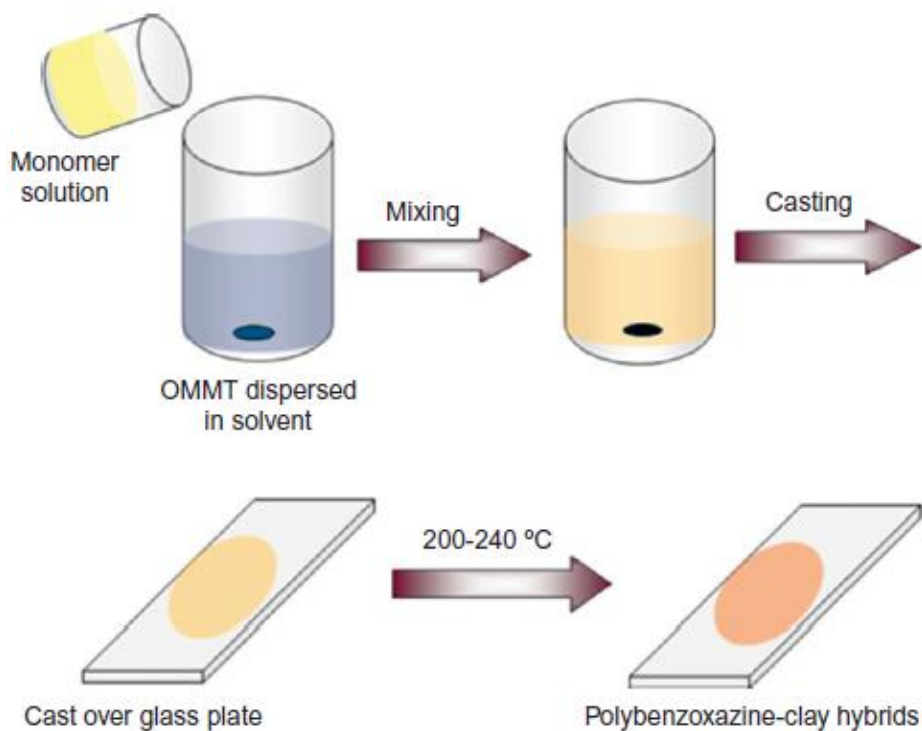
^۶ Thermoset

۱-۷-۲ روش حلال

با استفاده از این روش می‌توان بر بعضی از محدودیت‌های روش اختلاط مستقیم غلبه کرد. در این روش به دو صورت می‌توان نانوکامپوزیت‌های پلیمری را تولید کرد: اگر ماده زمینه پلیمری و نانوذرات تقویت کننده آن در یکدیگر قابل حل شدن باشند، محلول حاصل را می‌توان در یک قالب ریخته‌گری کرده و نانوکامپوزیت تولید نمود، در غیر این صورت مخلوط مواد نانوکامپوزیت در یک حلال حل شده و در نهایت با تبخیر حلال، نانوکامپوزیت مورد نظر به دست می‌آید.

شکل ۱-۱ شماتیکی از روش حلال را برای آماده سازی فیلم های نانوکامپوزیتی پلی‌بنزوکسازین-

کلی^۱ را نشان می‌دهد [۱۶].

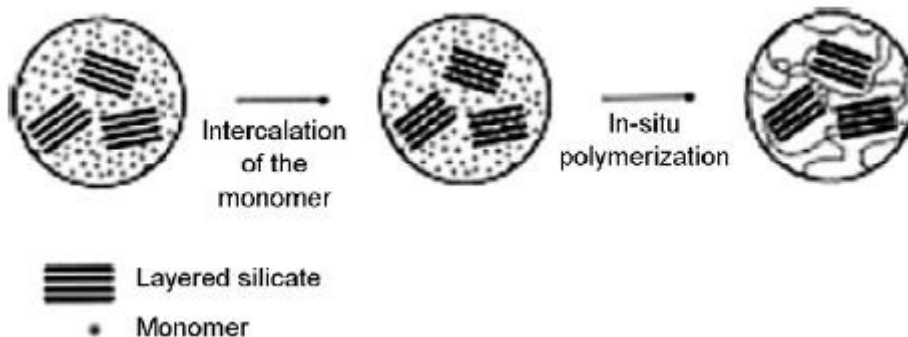


شکل ۱-۱. شماتیکی از روش حلال [۱۶]

^۱ Polybenzoxazine-Clay

۳-۷-۱ پلیمریزاسیون درجا

در این روش، پلیمریزاسیون بستر پلیمری در حضور نانوذرات انجام می‌شود و مونومر در حین رشد (پلیمرشدن)، ذرات پرکننده را در بر می‌گیرد. نکته کلیدی در این روش، نحوه توزیع نانوذرات در مونومر است. با کنترل پیوند بین نانوذرات و ماده زمینه، می‌توان توزیع مورد نظر را به دست آورد. شکل ۲-۱ شماتیکی از روش پلیمریزاسیون درجا را نشان می‌دهد که رین^۱ و همکارانش جهت تهیه نانوکامپوزیت پلی‌استایرن-پلی‌ایزوپرن^۲ بر پایه سیلیکات‌های لایه‌ای به کار برده‌اند [۱۷].



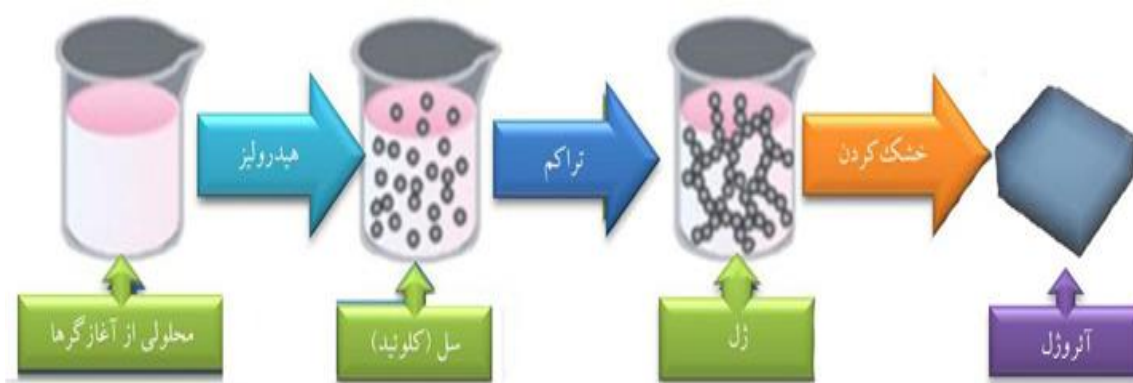
شکل ۲-۱. شماتیکی از روش پلیمریزاسیون درجا [۱۷]

۴-۷-۱ روش سل-ژل

روش سل-ژل یک فرآیند شیمیایی است که مستقیماً در حضور نانوذرات معدنی واکنش پلیمریزاسیون انجام می‌شود. تحت شرایط مناسب پلیمریزاسیون مونومرها روی سطح نانوذرات رخ می‌دهد و ذراتی حاوی یک کپسول متشکل از یک لایه پلیمری با ساختار هسته-پوسته تهیه می‌شوند، در شکل ۳-۱ شماتیکی از روش سل-ژل به نمایش گذاشته شده است [۱۸].

^۱ Ren

^۲ Polystyrene-Polyisoprene



شکل ۱-۳. شماتیکی از روش سل-ژل

۱-۷-۵ پلیمریزاسیون امولسیونی

پلیمریزاسیون امولسیونی به فرآیند منحصر به فردی اطلاق می‌شود که برای پلیمریزاسیون‌های زنجیری رادیکالی به کار گرفته می‌شود. این مورد، پلیمریزاسیون مونومرهایی را که به شکل امولسیون هستند شامل می‌شود. پلیمریزاسیون امولسیونی دربرگیرنده پاشیدگی کلوئیدی است. تصویر زیر شماتیکی از چگونگی واکنش پلیمریزاسیون امولسیونی را نمایش می‌دهد. در یک پلیمریزاسیون امولسیونی، مونومرها به صورت ذرات بسیار ریز (فاز ناپیوسته) در یک فاز پیوسته سیال، توسط عوامل پایدارکننده سطحی (به صورت معلق) از طریق واکنش رادیکال آزاد پلیمریزه می‌شوند. در شکل ۱-۴ می‌توان شماتیکی از پلیمریزاسیون امولسیونی را دید [۱۹].