Archive of SID

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال دوم، شماره‌ی۸
پاییز ۱۳۹۰، صفحات۲۷-۱۷

سنتز، ساختمان و ویژگی‌های مونت موریلونیت/ پلی وینیل سولفونیک اسید و نانوکامپوزیت آکریل آمید-اتیل آکریلات به روش کوپلیمریزاسیون اینترلاملار

روشنک رحیم زاده
دانش‌آموخته شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

امیر سپهریان آذر
دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

چکیده

مونت موریلونیت (MMT) به علت دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد خود، کاربرد فراوانی در تولید نانوکامپوزیت‌ها دارد. در این پژوهش با توجه به خاصیت طبیعی آبدوستی MMT، ابتدا عمل اصلاح آن با پلیمر کاتیونی پلی وینیل سولفونیک اسید (PVSA Na) در زمان های اختلاط مختلف، انجام شد و سپس مناسب ترین زمان اصلاح، توسط آنالیز FTIR تعیین گردید. در مرحله ی بعدی پژوهش، کوپلیمریزاسیون میان لایه ای آکریل آمید و اتیل آکریلات به روش پلیمریزاسیون درجا در MMT انجام شده و نانوکامپوزیت، تهیه گردید. ساختار نانوکامپوزیت حاصل، با آنالیز FTIR و آرایش آن با XRD، مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده گردید بیشترین درصد تبدیل، برای نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/1AcrylAmide/ 1EthylAcrylate که در آن، مونومرها دارای نسبت مولی برابر بودند به دست آمد.

کلید واژه‌ها: آکریل آمید، اتیل آکریلات، پلی وینیل سولفونیک اسید، مونت موریلونیت، نانوکامپوزیت.

www.SID.ir

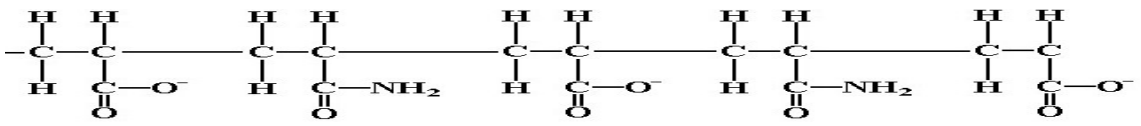
Archive of SID

مقدمه

فناوری نانو علمی است که با شناسایی، تولید و دستکاری ساختارهای بیولوژیکی و غیر بیولوژیکی با ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر سروکار دارد. فناوری نانو به علت تعامل نزدیکی که با سایر رشته‌های علوم دارد به سرعت در حال گسترش است. امروزه در صنعت، استفاده از نانوکامپوزیت‌ها، خصوصا نانوکامپوزیت‌های پلیمری که جزء افزودنی در آن‌ها مقدار جزئی سیلیکات‌های لایه‌ای می‌باشد مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این نانو کامپوزیت‌ها در مقایسه با کامپوزیت‌های متناظر، خواص حرارتی، مکانیکی و شیمیایی بهتری را در مقابل پرتوهای یون ساز از خود نشان می‌دهند. قیمت مناسب، فراوری آسان و در دسترس بودن سیلیکات-های لایه‌ای افزوده شده به زمینه ی پلیمرها منجر به افزایش روزافزون کاربرد این مواد در صنعت گردیده است.

سنتز انواع کوپلیمرها با وزن مولکولی کنترل شده، توزیع وزن مولکولی و ساختار ماکرومولکولی با طراحی مشخص، یکی از زمینه‌های رو به رشد و مورد توجه در علم پلیمر به حساب می‌آید. کوپلیمرها با ساختار کاملا معین، دارای خصوصیات عالی و ویژه هستند و به خاطر کاربرد آن‌ها در تحقیقات علمی و نیز در صنعت، در رده جالب‌ترین ترکیبات شیمیایی قرار دارند.

پلیمر پلی آکریل آمید که اختصارا PAM نامیده می‌شود، هیدروکربنی با زنجیر طویل می باشد که وزن ملکولی بالایی دارد. پلی آکریل آمید از مهم‌ترین و رایج‌ترین پلیمرهای مصنوعی محلول در آب است و مصرف آن در سال‌های اخیر به دلیل سهولت فرایند تهیه مونومر آکریل آمید، رشد فراوانی داشته است. از ویژگی‌های این پلیمر قابلیت دستیابی به وزن-های مولکولی بالا و متفاوت، قیمت مناسب، حلالیت در آب تحت شرایط گوناگون و قابلیت تهیه آن به صورت غیریونی، آنیونی و کاتیونی است. این پلیمر را می‌توان از گاز طبیعی بدست آورد. همچنین پلی آکریل آمید از طریق پلیمر شدن زنجیری رادیکالی با استفاده از آغازگرهای پروکسیدی، پرسولفاتی، آزو، اکسایشی- کاهشی وتابشی به روشهای محلول، رسوبی، توده و نیز تعلیقی، امولسیونی، میکروامولسیونی وارون تهیه می‌شود. پلی آکریل آمید، دارای مصارف صنعتی و محیطی می‌باشد. مصرف پلی آکریل آمید در ۳۵ سال گذشته، رشد فراوانی داشته است. یکی از دلایل استفاده روز افزون این پلیمر، سهولت فرایند تهیه پلی آکریل آمید با استفاده از کاتالیزورهای پیشرفته است. پلی آکریل آمید به روش پلیمر شدن رادیکالی طی مراحل شروع، رشد، انتقال زنجیر و اختتام با انواع آغازگرها تهیه می شود. برخی از تولیدات تجاری آن به صورت کوپلی آکریل آمید آنیونی و کاتیونی است که با آبکافت کنترل شده، واکنش با آمین و واکنش مانیش تهیه می‌شود. [۲,۱] ساختار شیمیایی پلی آکریل آمید مطابق شکل ۱-۱ است.



شکل ۱-۱: ساختار شیمیایی پلی آکریل آمید

www.SID.ir

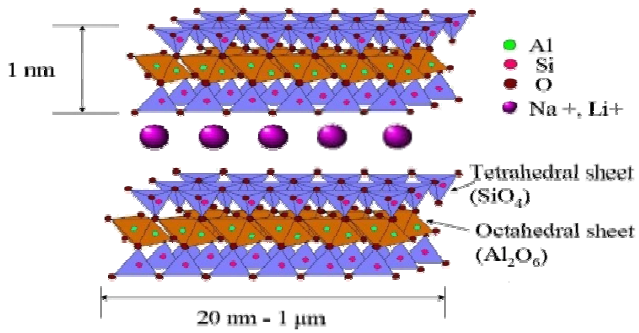
Archive of SID

در صنعت تصفیه پساب، به منظور تسریع در ته نشینی مواد معلق در آب خام، کاهش و حذف کدورت آب از منعقد کننده‌های معدنی و آلی بطور جداگانه یا تواماً استفاده می شود. منعقد کننده‌های معدنی نمک‌های فلزات آلومینیوم و آهن مانند کلرورفریک، سولفات آهن، سولفات آلومینیوم و دیگر ترکیبات شیمیایی مشابه هستند که بطور وسیع در جداسازی مواد معلق، زلالسازی آب خام و تصفیه پساب بکار برده می‌شوند. با توجه به محدود بودن محدودهٔ دامنهٔ فعالیت منعقد کننده‌های اصلی و به منظور بالا بردن راندمان فرآیند و کاهش قابل ملاحظهٔ کدورت، پلی مرهای پلی آکریل آمید به‌عنوان کمک منعقد کننده یا منعقد کننده مستقل استفاده می‌گردند. پلیمرهای منعقد کننده، ترکیباتی پلی مری با وزن ملکولی بالا، بر پایه پلی آکریل آمید، محلول در آب هستند که بطور وسیعی به‌عنوان منعقد کننده، افزایش دهنده سرعت ته نشینی مواد جامد معلق و کلوئیدها و رنگ بری در فرآیندهای تصفیه و تولید مایعات بکار برده می‌شوند. برخی کاربردهای این دسته از مواد به طور خلاصه عبارتند از:

- کمک منعقد کننده در فرآیند زلال سازی آب خام در تولید آب آشامیدنی و صنعتی.
- جداسازی جامدات، روغن و گریس و اکسیدهای نامحلول در تصفیه آب برگشتی از بخش نورد در صنعت فولاد.
- منعقد کننده در سیستم‌های تصفیه پساب‌های صنعتی و بهداشتی [۴,۳].

لخته سازهای بر پایه پلی آکریل آمید در مراحل مختلف تصفیه آب شامل مراحل مقدماتی، اولیه، ثانویه و تغلیظ به شکل لجن و آبگیری از لجن به کار می‌روند و باعث بهبود جداسازی ذرات معلق BOD می‌گردند. [۲] در مورد افزایش پایداری خاکدانه و کاهش فرسایش خاک‌های کشاورزی، استفاده از پلی اکریل آمید، کارآیی نسبتاً زیادی در کاهش رسوب تولیدی پس از باران در زمین نشان می‌دهد. مقاومت برشی سطح خاک داخل فلوم نیز با اضافه کردن پلی اکریل آمید به خاک در اثر افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص پایداری خاک‌دانه و میانگین وزنی قطر نشان می‌دهد که می‌توان با تیمار خاک توسط پلی اکریل آمید در اثر بهبود خواص فیزیکی آن تشکیل سله سطحی را کاهش داد. به کاربردن پلیمرهای پلی اکریل آمیدی در تیمار اراضی بعد از بارش‌های سنگین، بسیار مقرون به صرفه خواهد بود[۵].

مونت موریلونیت که از مهم‌ترین کانی‌های رسی مورد استفاده در سنتز نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌باشد، ساختار لایه‌ای داشته و شامل یک لایه ی هشت وجهی هیدروکسید آلومینیوم (آلومینا) است که در بین دو لایه چهار وجهی سیلیکا قرار می‌گیرد. ضخامت این لایه‌ها در حدود ۱nm می‌باشد. ساختمان یک مولکول مونت موریلونیت، در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود.



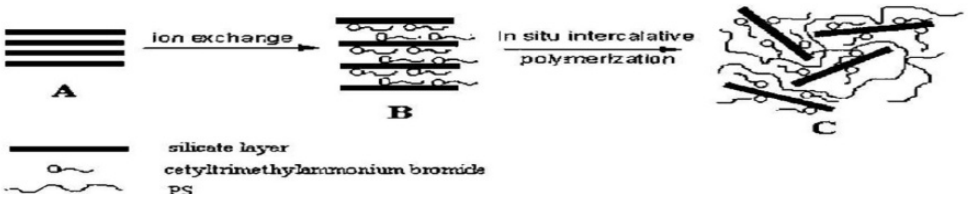
شکل ۱-۲: ساختمان مولکول مونت موریلونیت

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به خاصیت طبیعی آبدوستی مونت موریلونیت، اصلاح آن، مرحله‌ی مهمی در تهیه هیبریدهای پلیمر-مونت موریلونیت، جهت تولید یک محیط میکروشیمیایی برای پخش نمودن پلیمر یا مونومر، می‌باشد[۶]. از نقطه نظر ترمودینامیکی، ارزیابی تغییرات ایجاد شده در انرژی سطحی مواد نیز دلیلی بر اصلاح شیمیایی مونت موریلونیت می‌باشد[۷]. همچنین، مونت موریلونیت اصلاح شده، پایداری خوبی در طول زمان، از خود نشان می‌دهد[۸]. رس‌های آلی اصلاح شده را با افزودن زنجیره‌های طویل چهار وجهی آلیفاتیک کاتیون‌های آمونیوم به ورقه‌های رس‌های معدنی از قبیل مونت موریلونیت، تهیه می‌کنند. یکی از روش‌ها، عمل تعویض یونی برای جانشین نمودن کاتیون‌های معدنی (مثل سدیم) با کاتیون های آلی می‌باشد تا بتوان سازگاری سیلیکات آلی را با محیط آلی، تقویت نمود[۹].

در روش پلیمریزاسیون درجا، خاک رس در مایع مونومر یا یک محلول پلیمر متورم می‌شود که نهایتا پلیمریزاسیون در بین صفحات اینترکلیت شده رخ می‌دهد. نقطه آغاز پلیمریزاسیون می‌تواند با دادن گرما یا توسط تابش، افزودن یک آغازگر مناسب یا آغازگر آلی و یا کاتالیستی که در زمان فرایند تعویض کاتیون قبل از متورم شدن، درون فضای میان لایه‌ای قرار می‌گیرد شروع شود. نکته کلیدی در این روش نحوه توزیع مواد نانو در مونومر است. با کنترل پیوند بین مواد نانو و ماده زمینه می‌توان توزیع مورد نظر را بدست آورد. بسیاری از نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری را می‌توان با این روش تولید نمود. مکانیسم تولید ساختار نانوکامپوزیت‌ها را در این روش می‌توان اینگونه توجیه کرد که در ابتدا پلیمریزاسیون میان لایه ای رخ می‌دهد. در مرحله بعدی فاصله میان لایه‌ای با سرعت خطی یکنواختی زیاد می شود که زیاد شدن این فاصله به مقدار زیادی در این مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله آخر، روند افزایش این فاصله به کندی می‌گراید تا اینکه متوقف گردد. این توقف زمانی صورت می‌گیرد که مدول میان لایه ای پلیمر با مدول خارج از لایه ها برابر شود و در نهایت با توجه به مقدار پخش شدگی خاک رس در زمینه، ساختار اینترکلیت، توده ای یا اکسفولیت حاصل می‌شود[۱۰].



شکل ۱-۳: طرحی از پلیمریزاسیون میان لایه ای درجا

روش تهیه قرص KBr برای ثبت طیف‌های IR استفاده گردید. دستگاه XRD مدل D8ADVANCE

مواد و روش ها

دستگاه ها و مواد مورد استفاده

طیف سنج FTIR مدل Nicolet ، در طول موج محدوده‌ی $700\ cm^{-1}$ تا ۴۰۰۰ و طیف سنج FTIR دستگاه FTIR مدل Nexas 670 در طول موج محدوده $500\ cm^{-1}$ تا ۴۰۰۰ به

ساخت شرکت Burker آلمان در ۲۰ در محدوده $3-80^{o}$ با طول موج (Cu Kα) $1/5406\ A^{o}$ و تیوب آندی Cu و فیلتر Ni ، برای رسم الگوی XRD نانوکامپوزیت سنتز

www.SID.ir

Archive of SID

شده، مورد استفاده قرار گرفت. مونومرهای آکریل آمید (AcrylAmide)و اتیل آکریلات (EthylAcrylate) و پلیمر پلی وینیل سولفونیک اسید (Polyvinylsufonicacid) که از شرکت (germany) Fluka تهیه شده‌اند. آزو ایزو بوتیرو نیتریل (Azoisobutyronitril) که از شرکت Merc (germany) تهیه شـده‌است و به عنـوان آغـازگـر در واکنش کـوپلیمـریزاسیون مورد استفاده قرار می گیرد. مـونت مـوریلونیت (montmorillonite) به عنوان پرکننده از شرکت merc و حلال اتیل متیل کتون (Ethylmethylketone) تهیه شده از شرکت fluka در این روش، مورد استفاده قرار گرفتند.

سنتز مونت موریلونیت اصلاح شده با پلی وینیل سولفونیک اسید- سدیم

۱/۵ گـرم از مـونت مـوریلـونیت، با ۴۰ میـلی لیـتر آب مقطر، مخلوط می‌شود. (MMT نامحلول در آب می باشد.) مخلوط تهیه شده، به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط، توسط همزن مغناطیس، هم زده شد. سپس مقدار ۰/۷۵ گرم پلی وینیل سولفونیک اسید-سدیم، در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر، حل شده و به سوسپانسیون MMT- آب مقطر، افزوده می شود. مخلوط حاصل، درون بالن رده دار، ریخته شده و تحت حرارت غیر مستقیم در حالیکه متصل به دستگاه تقطیر می باشد، توسط همزن مغناطیس، در مدت زمان‌های ۰/۵ ساعت، ۱ ساعت، ۳ ساعت و ۵ ساعت، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، هم زده می شود. در انتها، مخلوط بدست آمده، درون آون و در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، خشک می‌شود و مونت موریلونیت اصلاح شده، حاصل می‌شود.

سنتز نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/ AcrylAmide/ EthylAcrylate

در ابتدا، مخلوط اتیل متیل کتون و MMT اصلاح شده با PVSNaدربالن ریخته می‌شود و تحت دستگاه تقطیر و دمای محیط، به مدت ۱۵ دقیقه، هم زده می‌شود. مونومرهای آکریل آمید و اتیل آکریلات، به نسبت‌های مولی ۱:۱، ۱:۲و ۲:۱ انتخاب و در حلال اتیل متیل کتون، حل شده و سپس آغازگر آزو ایزو بوتیرو نیتریل به محلول، افزوده می‌شود. محلول حاصل، به درون بالن حاوی مخلوط MMT اصلاح شده ریخته می‌شود و بالـن به دستگـاه تقطیر وصل می شود. عمل هم زدن مخلوط مورد نظر به مدت ۳ ساعت و تحت حرارت غیر مستقیم ۵۰ درجه سانتیگراد انجام می گیرد. پس از مدت زمان تعیین شده، مخلوط در درون آون و دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، خشک می‌شود و نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/AcrylAmide/ EthylAcrylate حاصل می‌شود.

اندازه گیری درصد تبدیل نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/AcrylAmide/ EthylAcrylate

درصد تبدیل نانوکامپوزیت، از ویژگی‌های مهم آن است که برای تعیین بهترین نسبت اختلاط مونومرها، محاسبه می‌شود. درصد تبدیل نانوکامپوزیت، از طریق گراویمتری اندازه گیری می‌شود. در این روش، وزن مجموع مواد اولیه به جز حلال(W) و وزن نانوکامپوزیت سنتز شده (W_0) تعیین شده و درصد تبدیل، از طریق رابطه زیر، محاسبه می‌شود.

رابطه ۳-۱

$$\text{درصد تبدیل} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100$$

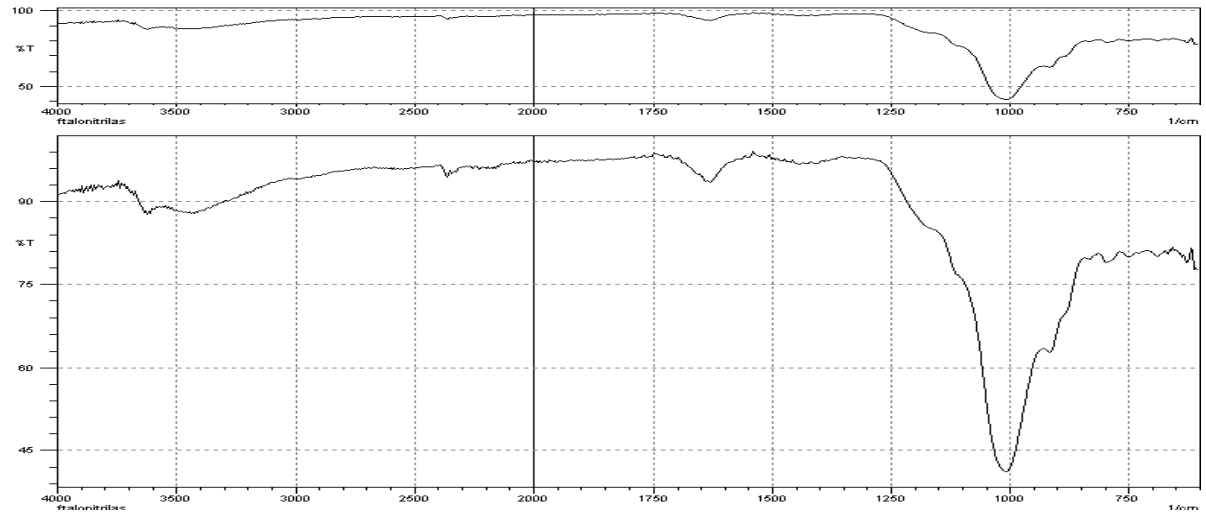
بحث و نتایج

طیف FTIR نمونه مونت موریلونیت

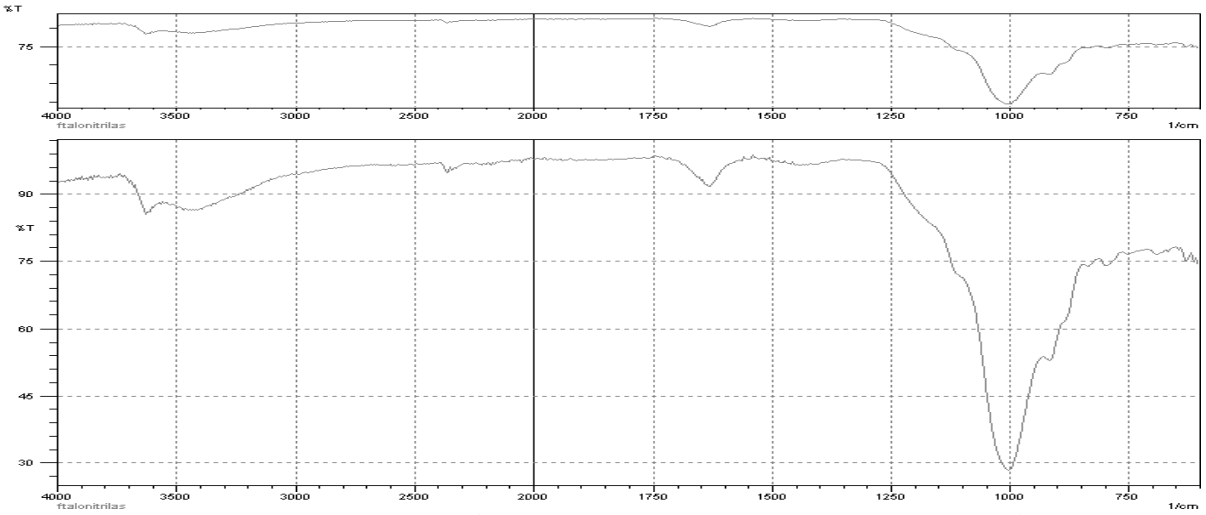
برای تعیین مناسب‌ترین زمان اختلاط برای تهیه مونت موریلونیت اصلاح شده، از طیف‌های FTIR استفاده می کنیم.

www.SID.ir

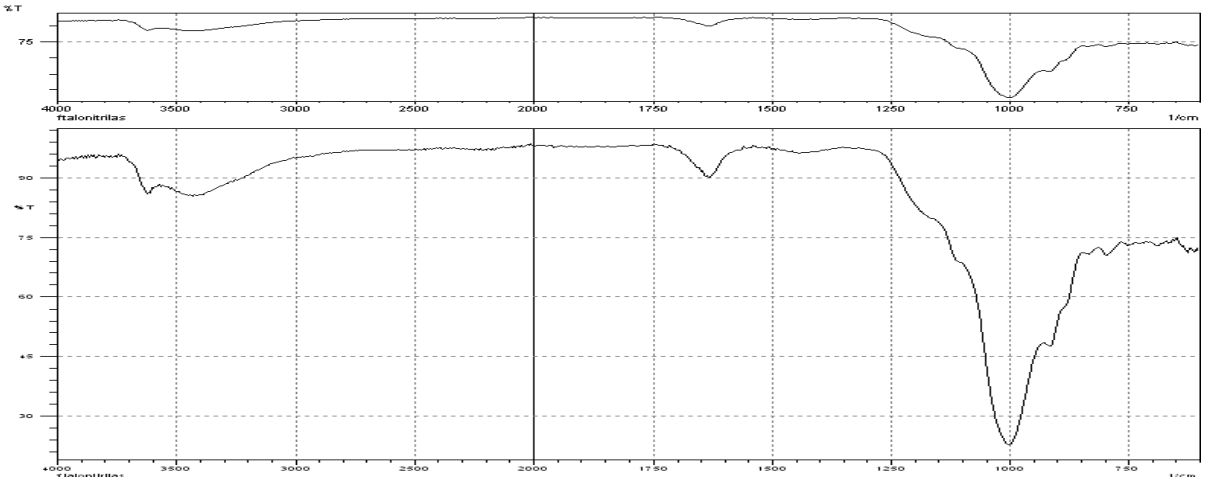
Archive of SID



شکل ۴-۱: طیف FTIR نمونه مونت موریلونیت معمولی



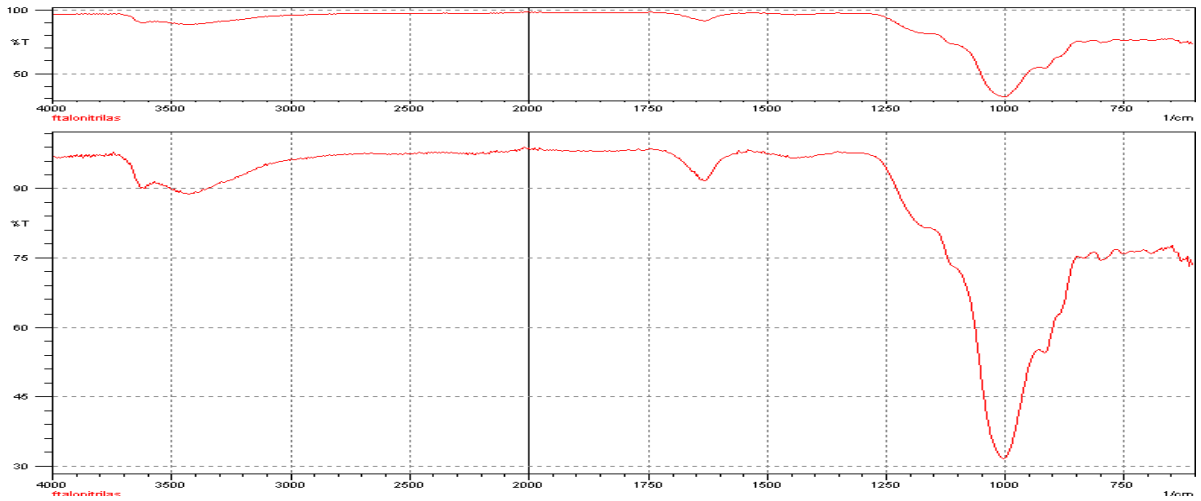
شکل ۴-۲: طیف FTIR مخلوط مونت موریلونیت و پلی وینیل سولفونیک اسید-سدیم با زمان اختلاط ۳۰ دقیقه



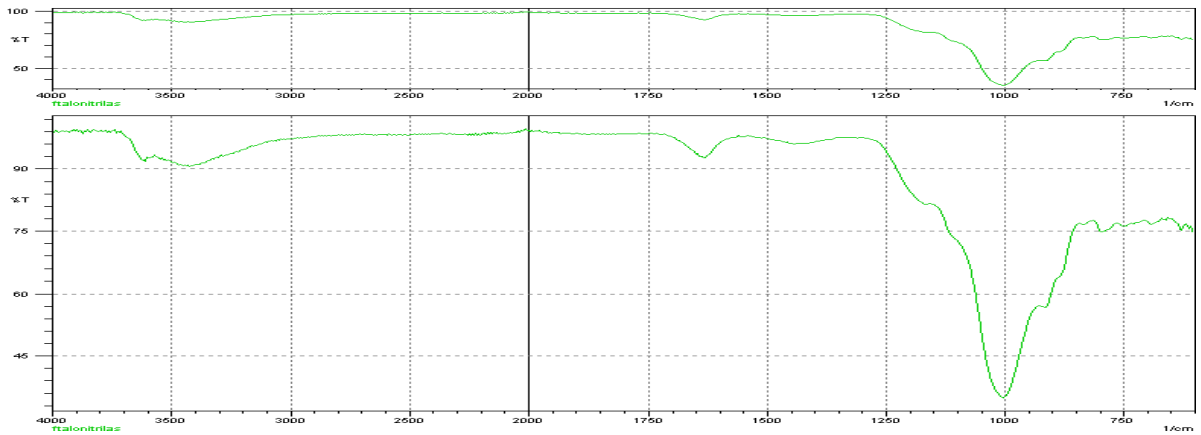
شکل ۴-۳: طیف FTIR مخلوط مونت موریلونیت و پلی وینیل سولفونیک اسید-سدیم با زمان اختلاط ۱ ساعت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴-۴: طیف FTIR مخلوط مونت موریلونیت و پلی وینیل سولفونیک اسید-سدیم با زمان اختلاط ۳ ساعت



شکل ۴-۵: طیف FTIR مخلوط مونت موریلونیت و پلی وینیل سولفونیک اسید-سدیم با زمان اختلاط ۵ ساعت

جدول ۴-۱: اطلاعات طیفی مونت موریلونیت

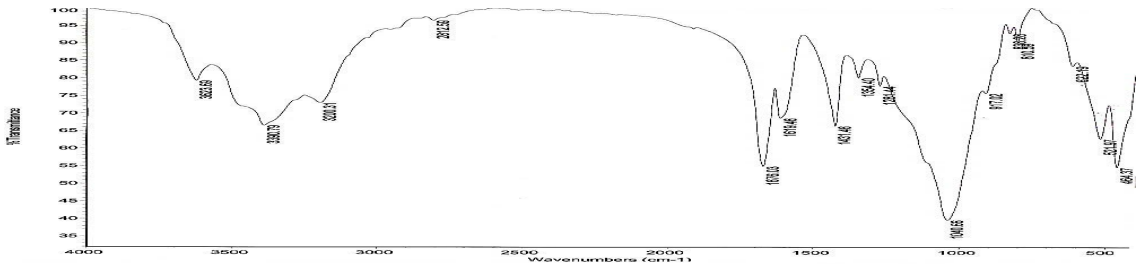
گروه عاملی	طول موج جذب cm^{-1}
SiO_4	۱۰۰۰
O-H	۳۵۰۰

پیک‌ی ناحیه $1000\ cm^{-1}$ نمایانگر گروه سیلیکا و پیک ناحیه $3500 cm^{-1}$، نشان دهنده ی هیدروکسیلی در مونت موریلونیت هستند. با توجه به طیف‌های به دست آمده، پهن شدن پیک ناحیه $1000\ cm^{-1}$ در طیف مربوط به زمان اختلاط ۳ ساعت، بیانگر تشکیل پیوند بین گروه های مونت موریلونیت و پلی وینیل سولفونیک اسید می‌باشد. وسیع‌تر شدن پیک ناحیه $1600\ Cm^{-1}$ نمایانگر گروه کربونیل پلی وینیل سولفونیک اسید- سدیمی است که بین لایه‌های MMT، اینترکلیت شده است. با افزایش مدت زمان اختلاط، رفته رفته، شاهد پس زده شدن پیوندها خواهیم بود.

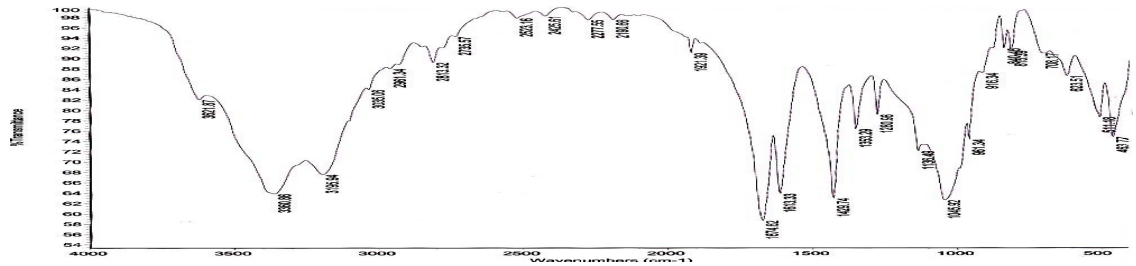
www.SID.ir

Archive of SID

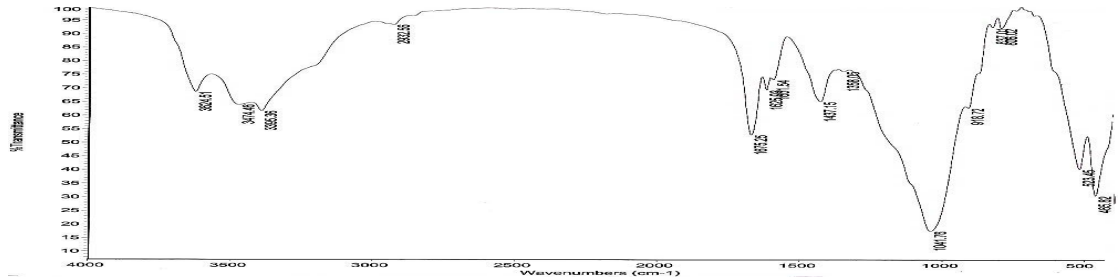
طیف FTIR نانوکامپوزیت های سنتز شده



شکل ۴-۶: طیف FTIR نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/2Acrylamide/1Ethylacrylate



نمودار ۴-۷: طیف FTIR نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/1Acrylamide/2Ethylacrylate



شکل ۴-۸: طیف FTIR نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/1Acrylamide/1Ethylacrylate

www.SID.ir

Archive of SID

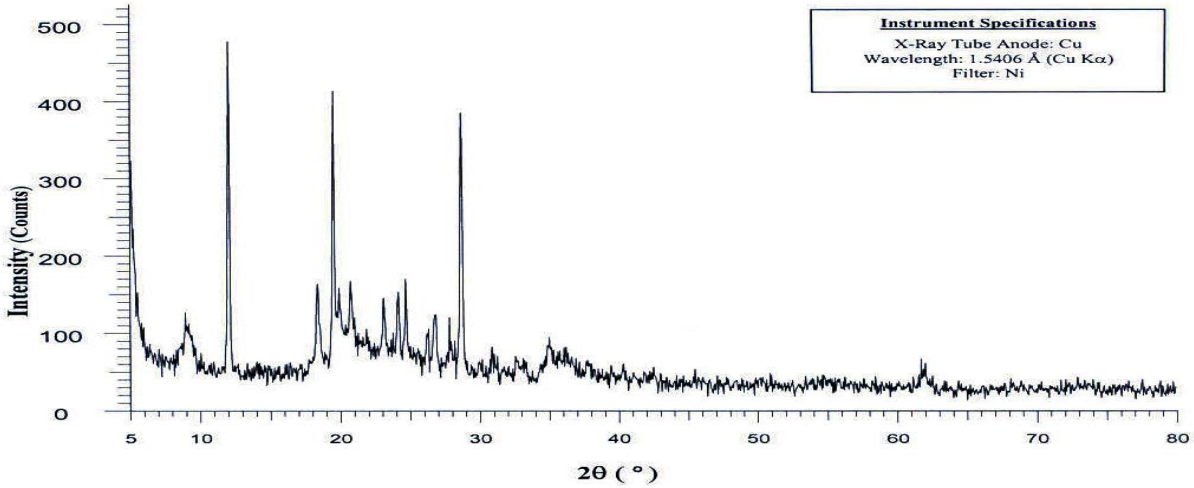
جدول ۴-۲: اطلاعات طیف FTIR نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/Acrylamide/Ethylacrylate

گروه عاملی	طول موج جذب cm^{-1}
NH_2	1600
C-C	1000
CH_2	1437
C=O	1675
CH_3	2932
OH	3390

با توجه به طیف‌های به دست آمده، جا به جا شدن پیک مربوط به گروه کربونیل متصل به NH_2 در پلی آکریل آمید و نیز پهن شدن پیک مربوط به گروه OH که نشانگر تشکیل پیوند هیدروژنی است در نمودار ۴-۸ نشانگر انجام واکنش کوپلیمریزاسیون مطلوب می‌باشد. شاهد افزایش سطح زیر پیک ناحیه Cm^{-1} ۱۰۰۰ و در نتیجه افزایش کروه کربوکسیلیک کوپلیمر سنتز شده می‌باشیم و نیز با تیز و کم سطح شدن پیک در محدوده‌ی cm^{-1} ۱۶۷۵ پی به افزایش جذب گروه کربونیل موجود در مونومرهای واکنش و کاهش آن‌ها می‌بریم. افزایش جذب گروه کربونیل، بیانگر این مساله است که این گروه با گروه وینیل، پیوندی مستحکم تشکیل داده است.

بررسی طیف‌های XRD نانوکامپوزیت‌های سنتزشده

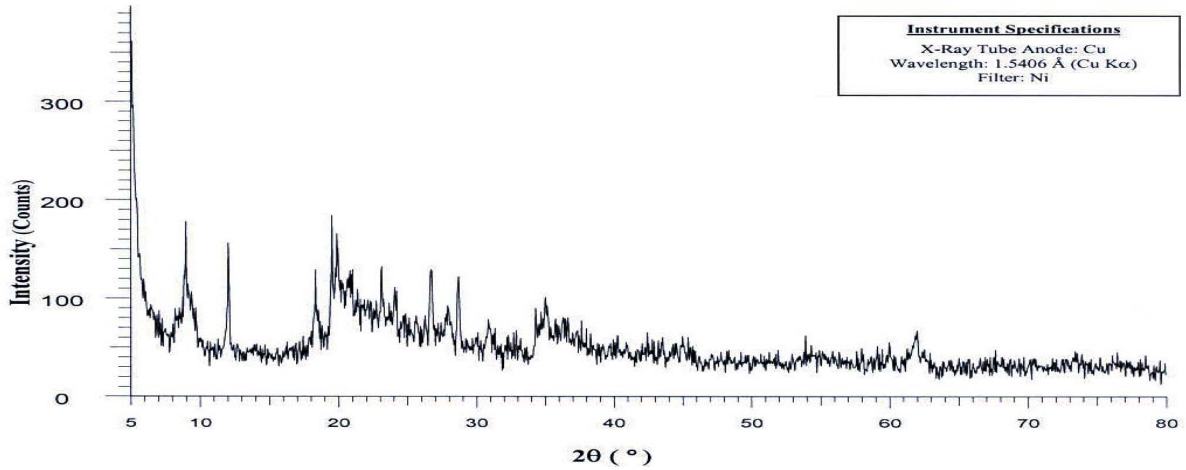
هدف از بررسی طیف‌های XRD نانوکامپوزیت‌های سنتز شده، پی بردن به شکل ساختمان آن‌ها از نظر کریستالیته و آمورف بودن می‌باشد.



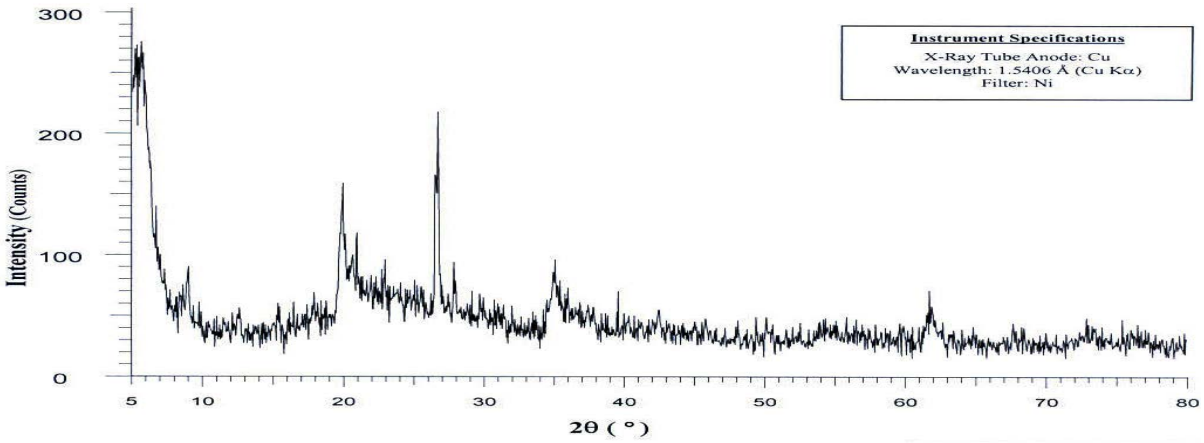
شکل ۴-۹: طیف XRD نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/2Acrylamide/1Ethylacrylate

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴-۱۰: طیف XRD نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/1Acrylamide/2Ethylacrylate



نمودار ۴-۱۱: طیف XRD نانوکامپوزیت MMT/PVSANa/1Acrylamide/1Ethylacrylate

نمودار حاصل از پراش پرتو X، پیک‌های کمی دارد که نشانگر کریستالی بودن ساختمان نمونه هستند و این نمودار، بیشتر، بیانگر آمورف بودن ساختمان نانوکامپوزیت سنتز شده می‌باشد. در این حالت، با مساوی بودن نسبت مولی آکریل آمید و اتیل آکریلات، میزان آمورفیته ساختار، نسبت به دو حالت قبلی بیشتر است و می‌توان به این نتیجه رسید که نسبت سطح به حجم در این حالت، بیشتر است که این حالت، یعنی ساختمان آمورف، یکی از ویژگی‌های اساسی نانوکامپوزیت‌ها می‌باشد.

نتایج اندازه گیری درصد تبدیل نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/AcrylAmide/ EthylAcrylate

با توجه به رابطه ۳-۱، نتایج زیر به دست آمدند:

www.SID.ir

Archive of SID

درصد تبدیل نانوکامپوزیت
%۴۱ =MMT/PVSNa/1AcrylAmide/2 EthylAcrylate
درصد تبدیل نانوکامپوزیت
%۴۹ =MMT/PVSNa/2AcrylAmide/1 EthylAcrylate
درصد تبدیل نانوکامپوزیت
%۵۶ =MMT/PVSNa/1AcrylAmide/1 EthylAcrylate

بحث ونتیجه گیری

مونت موریلونیت معمولی به وسیله پلی وینیل سولفونیک اسید، اصلاح شد و بهترین زمان اختلاط، ۳ ساعت تعیین شد. سپس نانوکامپوزیت MMT/PVSNa/AcrylAmide/ EthylAcrylate با نسبت‌های مولی مختلف مونومرها، به روش کوپلیمریزاسیون میان لایه ای درجا سنتز شد و ویژگی های آن با آنالیزهای FTIR و XRD، مورد بررسی قرار گرفت. بیش‌ترین درصد تبدیل، برای نانوکامپوزیت 1EthylAcrylateMMT/PVSNa/1AcrylAmide/ که مونومرها، دارای نسبت مولی برابر بودند به دست آمد.

منابع

[1]: Misra, R. K. and Hood, Sarah (2007) Desktop review of Polyacrylamide use in the Australian cotton industry. Technical Report. University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture , Toowoomba, Australia.

[2] : رحیم زاده فرانک، سنتز و شناسایی هیدروژل پلی آکریل آمید و مطالعه تاثیر عوامل محیطی در میزان تورم آن. مجله کاربرد شیمی در محیط زیست، سال اول، شماره ۱، ۱۳۸۸

[3]: آشنافر ناصر، منعقد کننده آلی (پلی الکترولیت های منعقد کننده). فرایندهای تصفیه فاضلاب ۱۳۸۹

[4]: Lawley,Richard- Acrylamide;– December (2006)

[5] : اکبرزاده علی، رفاهی حسینقلی، روحی پور حسن، گرجی منوچهر. ارزیابی کارایی پلی اکریل آمید (PAM) در افزایش پایداری خاکدانه و کاهش فرسایش خاک. مجله تحقیقات خاک و آب ایران، سال چهلم، شماره ۲، ۱۳۸۸

[6] :YongYang ,Zi-kang Zhu , Xin-yu Wang , Zong-eng Q. Preparation and properties of hybrids of organo-soluble polyimide and Montmorillonite with various chemical surface modification methods. Polymer40(1999)4407–4414.

[7]:M.Mravcakova, K.Boukerma, M.Emastova, M.M.Chehimi. Montmorillonte/polypyrrolnanocomposites. Material sci and engineering , 26(2006) 306-313.

[8]: JunMa ,JianXu , Jian-HuiRen , Zhong-Zhen Yu , Yiu-Wing Ma.A new approach to polymer/montmorillonitenanocomposites. Polymer44 (2003)4619–4624

[9]: D.M.delozier, R.A.Orwoll, J.F.Cahoon. preparation and characterization of polyimide/organoclaynanocomposites. Polymer 43 (2002)813-822.

[10]: احمدی سید جواد، محدث پور احمد، نانوکامپوزیت های پلیمر- سیلیکات لایه‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، (۱۳۸۷)

www.SID.ir