

سنتز و بررسی رفتار هدایت الکتریکی کامپوزیت نشاسته شبکه‌ای شده حاوی افزودنی نانوکلی

مونت‌موریلونیت و گرافیت

معصومه مشرفیان^۱، محمد صادقی^۲، احمدرضا مساح^۳

۱ دانشجوی دکترای تخصصی، بخش شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

۲ دانشیار، بخش شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

۳ استاد، بخش شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرضا، شهرضا، ایران

در این مقاله نانوکامپوزیت نشاسته حاوی افزودنی نانوکلی مونت‌موریلونیت و گرافیت سنتز شده و با روش‌های مختلف مورد شناسایی قرار گرفته است. برای بهبود خواص نانوکامپوزیت نشاسته با منومر متیل متاکریلات عامل‌دار شده و سپس با انجام واکنش پلیمریزاسون بر روی نشاسته، پلیمر پلی(متیل متاکریلات) بر روی نشاسته قرار گرفته است. عامل شبکه‌ساز متیلن بیس آکریل‌آمید برای ایجاد پیوندهای عرضی در پلیمر و شبکه‌ای کردن آن مورد استفاده قرار گرفته است. کامپوزیت تهیه شده در این تحقیق با روش‌های مختلف شامل پرتونگاری رزونانس مغناطیس هسته، پرتونگاری زیرقرمز، تصویربرداری میکروویکوپ الکترونی روبشی و آنالیز وزن‌سنجی حرارتی مورد شناسایی قرار گرفت. از گرافیت به عنوان افزودنی رسانا در کامپوزیت استفاده شده و رسانایی الکتریکی کامپوزیت با روش طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقادیر مختلف گرافیت شامل ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی گرافیت به عنوان افزودنی در کامپوزیت استفاده شده و بررسی رسانایی الکتریکی نشان داد که کامپوزیت حاوی ۱۰ درصد وزنی گرافیت بیشترین رسانایی را نشان داده است. نایج به دست آمده نشان داد که کامپوزیت نشاسته شبکه‌ای حاوی افزودنی نانوکلی مونت‌موریلونیت و گرافیت دارای رسانایی الکتریکی می‌باشد.

مقاله

تاریخ دریافت:

۹۹/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش:

۹۹/۰۸/۰۱

کامپوزیت زمینه پلیمری رسانا؛ نشاسته‌ی شبکه‌ای؛ نانوکلی مونت‌موریلونیت، گرافیت

واژگان کلیدی



AMNC

Synthesis and Electrical Conductivity Evaluation of Cross-linked Starch-Nanoclay Montmorillonite/Graphene Nanocomposite

M. Mosharafian¹, M. Sadeghi^{2*}, A.R. Massah³

1. Ph.D. Student, Department of Chemistry, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran
2. Associate Professor, Department of Chemistry, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran
3. Professor, Department of Chemistry, Islamic Azad University, Shahreza Branch, Shahreza, Iran

Abstract

In this paper, starch nanocomposites are synthesized by the addition of nanocrystalline montmorillonite and graphite and identified by various characterization methods. To improve the nanocomposite properties of starch, it is activated using methyl methacrylate monomer, and then polymer (methyl methacrylate) polymer is placed on the starch by polymerization reaction on starch. Methylene base-acrylamide mesh agent has been used to make cross-links in polymers and to cross-link them. The composite prepared in this study was identified by various methods, including nuclear magnetic resonance imaging, subcutaneous radiography, scanning electron microscopy imaging, and heat weight analysis. Graphite has been used as a conductive additive in composites and the electrical conductivity of composites has been evaluated by the spectroscopic method of electrochemical impedance. Different amounts of graphite, including 0.5, 10 and 15% by weight of graphite, were used as additives in the composite, and an electrical conductivity study showed that a composite containing 10% by weight of graphite showed the highest conductivity. The results showed that the starch composite of the grid containing the monoclonal nanofluid additives and graphite had an electrical conductivity.

Keywords

Conductive composite; Cross linked starch; Montmorillonite nanoclay; Graphite

۱- مقدمه

پلیمرهای رسانا از جمله ترکیبات بسیار مهم هستند که امروزه کاربردهای بسیار زیادی در علوم مختلف از جمله بخش‌های مختلف صنایع الکترونیکی و الکترواپتیکی پیدا کرده‌اند [۱-۴]. در حقیقت پلیمر رسانا پلاستیکی است که نقش فلز را نیز ایفا می‌کند. ایده پلیمر رسانا اولین بار با پلی(استیلن) مطرح شد [۵] که در آن با واکنش پلیمریزاسیون استیلن، پیوندهای دوگانه مزدوج در طول زنجیر تشکیل می‌شود. وجود پیوندهای دوگانه مزدوج می‌تواند انتقال الکترون در طول زنجیر را انجام داده و به این صورت موجب خاصیت رسانایی در این پلیمر شود. بنابراین یک خصوصیت کلیدی پلیمر رسانا حضور زنجیرهای حاوی پیوندهای دوگانه در امتداد زنجیر پلیمر است. در ساختار این پلیمر، پیوندهای بین اتم‌های کربن به طور یک در میان، پیوندهای یگانه و دوگانه هستند. نکته حائز اهمیت این است که مزدوج بودن پیوندهای دوگانه برای ساختن پلیمر به عنوان ماده رسانا کافی نیست و برای ایجاد رسانایی در پلیمر، وجود ماده‌ای که دوپان نامیده می‌شود ضروری است [۶و۷].

نشاسته یک پلی‌ساکارید آلی بوده و در بسیاری از گیاهان از جمله ذرت، سیب‌زمینی و برنج و غیره یافت می‌شود. همانطور که از نام آن بر می‌آید، از واحدهای گلوکز تشکیل شده که با پیوند آلفا ۱ و ۴ به یکدیگر متصل شده‌اند [۸و۹]. این پلی‌ساکارید از دو پلیمر کربوهیدراتی مهم به نام آمیلوز با ساختار خطی و آمیلوپکتین با ساختار پیچیده تشکیل شده است. این پلیمر زیستی از پیوندهای یگانه ساخته شده که در آن پیوندها همگی از نوع سیگما بوده و هیچ پیوند نامستقری در آن وجود ندارد. این امر موجب نارسانایی این پلیمر می‌گردد. برای القای رسانایی از افزودنی‌های رسانا استفاده می‌شود [۱۰-۱۴].

گرافیت یکی از آئوتروپ‌های کربن است که در آن اتم‌های کربن به صورت لایه‌ای با آرایش الکترونی SP^2 در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند [۱۵]. با توجه به ساختار منحصر به فرد این ترکیب، خواص ویژه‌ای از آن مشاهده شده و به همین دلیل مورد توجهی بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی قرار گرفته در کاربردهای فراوانی در صنایع و علوم مختلف پیدا کرده است [۱۶-۱۸]. یکی از خواص بسیار منحصر به فرد این ترکیب، هدایت الکتریکی بالای آن است [۱۹]. این ترکیب کاربردهای فراوانی در علوم الکترونیک، صنایع نفت، شیمی، باتری‌ها، علوم مواد و پزشکی پیدا کرده است [۲۰-۲۵].

با توجه به مزایای فراوان نشاسته و همچنین قابلیت‌های ویژه گرافیت، در این مقاله کامپوزیت نشاسته حاوی مونت‌موریلونیت و گرافیت ساخته شده و با روش‌های مختلف شناسایی شده است. پس از شناسایی ساختار، رفتار هدایت الکتریکی کامپوزیت‌های حاصل مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی

۱-۲- دستگاه‌ها و موارد مورد استفاده

مواد مورد استفاده در این مقاله شامل متیل متاکریلات، آمونیوم پر سولفات، اتانول و گرافیت از شرکت مرک و متیلن بیس اکریل آمید

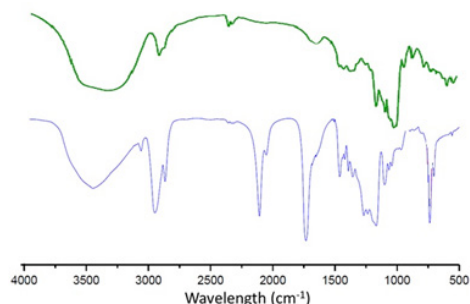
آکروس خریداری شده و بدون نیاز به خالص‌سازی به طور مستقیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. حلال‌های مورد استفاده شامل اتانول ۹۶ درصد از شرکت مرک تهیه شده‌اند. طیف سنجی فرو سرخ (FT-IR) نمونه‌ها به وسیله دستگاه Bruker در دامنه 4000 cm^{-1} - ۴۰۰، در دمای اتاق و با استفاده از قرص KBr انجام شد. طیف‌های رزونانس مغناطیس هسته پروتون ($^1\text{H-NMR}$) نمونه شبکه‌ای کننده به وسیله دستگاه Bruker با میدان ۵۰۰ MHz و در حلال D_2O به دست آمد. جذب فرا بنفش (UV) بوسیله Perkin-Elmer Lambda 800 بررسی شد. بررسی ریزساختار نانوذرات با استفاده از دستگاه‌های های میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM, LEO 906, Germa-ny) بررسی شد. برای انجام آنالیز TEM، نمونه‌ها در حلال به کمک فراصوت به طور یکنواخت پراکنده شده و سپس بر روی گرید قرار گرفت. جهت تایید ساختار نمونه‌های تهیه شده از دستگاه پرتو ایکس (XRD, X-pert Philips, Model No: PW 3040/60) با تابش $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) با گستره زاویه براگ بین صفر تا ۶۰ درجه استفاده گردید. برای آنالیز گرما وزن سنجی (TGA) از دستگاه Perkin Elmer Pyris استفاده شد. برای ثبت گرمانگاشت، گرمادهی از دمای اتاق تا 600°C در اتمسفر بی اثر نیتروژن ادامه یافت. سرعت گرمادهی $10^\circ\text{C}/\text{min}$ لحاظ شد. به منظور بررسی شکل نشاسته و مقایسه آن قبل و بعد از اصلاح از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل SEM TESCAN4001 VEGA3 استفاده شد. برای آماده سازی نمونه، نمونه‌ها ابتدا توسط لایه نازک طلا پوشش دهی داده شده و سپس مورد استفاده در دستگاه SEM به منظور انجام آنالیز قرار گرفتند. از دستگاه (Ultra Voltametry, AC conductivity meter) و دامنه فرکانس ۱۰ Hz تا ۲۰ KHz برای اندازه‌گیری هدایت یونی فیلم‌های ژلاتینی استفاده شد.

۲-۲- تهیه کامپوزیت نشاسته شبکه‌ای شده حاوی افزودنی نانوکلی مونت‌موریلونیت و گرافیت

ابتدا ۵ گرم نشاسته به یک ظرف واکنش حاوی ۳۰ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه شده و نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد هم خورد. نمونه تا زمان سرد شدن در دمای اتاق هم خورد. برای تهیه ژل، ۵ گرم نشاسته که در آب هم خورده را در واکنشگاه مجهز به همزن مکانیکی تحت گاز نیتروژن ریخته شده و به آن ۳ گرم متیل متاکریلات اضافه شد. به مخلوط بالا ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه اضافه شده و تا حل شدن کامل مواد پلیمری هم خورد. همزن با دور ۶۰۰ دور در دقیقه مخلوط واکنش را هم زده و سپس به آن متیلن بیس اکریل آمید با نسبت‌های مختلف نسبت به منومر متیل اکریلات اضافه شد. مخلوط واکنش به مدت یک دقیقه دیگر هم خورده تا مخلوط کاملاً یکنواخت شود. سپس به آن ۰٫۰۵ گرم آمونیوم پر سولفات و نانوکلی مونت‌موریلونیت با نسبت‌های وزنی ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد نسبت به نشاسته اضافه شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در

شد. برای این منظور، ابتدا نشاسته در نظر گرفته شده و مونومر متیل متاکریلات به آن افزوده شد. واکنش پلیمریزاسیون بر روی نشاسته انجام گرفت و پلیمر پلی(متیل متاکریلات) بر روی نشاسته قرار گرفت. اتصال پلیمر بر روی نشاسته در طرح مشاهده می‌شود. ایجاد اتصال با روش های متعدد طیف سنجی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از روش های طیف سنجی رزونانس مغناطیس هسته هیدروژن (پروتون) و همچنین روش طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه استفاده شد. در ادامه طیف های $^1\text{HNMR}$ و FT-IR نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) مورد بررسی قرار می‌گیرد. مونومر وینیلی متیل متاکریلات با استفاده از آغازگر آمونیوم پرسولفات و شبکه ساز متیلن بیس آکریل امید بر روی زنجیرهای نشاسته پیوند زده شد. در دمای 60°C درجه سانتیگراد آغازگر آمونیوم پرسولفات تجزیه و تولید آنیون رادیکال می‌کند. این آنیون رادیکال تولید شده هیدروژل گروه عاملی هیدروکسیل را از زنجیره جدا و رادیکال مربوطه ایجاد می‌شود. که این رادیکال‌ها با مونومر واکنش داده و پلیمریزاسیون پیوندی بر روی زنجیرهای نشاسته صورت می‌گیرد. همچنین پیوندهای دوگانه مربوط به شبکه ساز متیلن بیس آکریل امید در این پلیمریزاسیون وارد شده و باعث شبکه ای شدن زنجیرهای پلیمری می‌شود. گروه‌های هیدروکسیل موجود می‌توانند با گروه‌های سیلیکای سطح مونت موریلونیت پیوند برقرار کنند. خواص ژل شدگی محصول با آزمون غوطه‌وری در آب دیونیزه انجام شد. برای این منظور نمونه ژل در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و عدم حلالیت نمونه و تشکیل ژل، بیانگر خواص مطلوب مکانیکی کامپوزیت در نظر گرفته شد.

طیف‌های $^1\text{HNMR}$ و FT-IR نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در طیف $^1\text{HNMR}$ ، پیک های مشاهده شده در 4.15 ، 4.56 و 5.29 جزء در میلیون مربوط به گروه‌های هیدروکسیل نشاسته است. همچنین هیدروژن های مربوط به پلی(متیل متاکریلات) در محدوده 3.69 – 3.90 و 4.82 مشاهده شده اند. مشاهده پیک‌های مربوط به هر دو ترکیب نشاسته و پلی(متیل متاکریلات) تایید کننده سنتز موفق ترکیب مورد نظر است. در بررسی طیف FT-IR، ارتعاشات شاخص هر دو پلیمر به خوبی دیده می‌شود. پیک های مشاهده شده در عدد موج 3317 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات گروه هیدروکسی می‌باشد. همچنین ارتعاشات پیوندهای C-H اشباع در عدد موج 2981 cm^{-1} مشاهده شده است. ارتعاشات



شکل ۱: شناسایی نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) با طیف‌سنجی $^1\text{HNMR}$ و FT-IR نشاسته (سبز) و نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) (آبی).

دمای 65°C درجه سانتیگراد تحت گاز نیتروژن هم خورد. پس از تشکیل ژل پلیمری، همزن خاموش شده محیط واکنش توسط افزودن سود ۱ نرمال خنثی شد. سپس برای حذف مونومرهای واکنش نداده، ژل های تهیه شده سه مرتبه با محلول $60:40$ حجمی آب و اتانول شستشو داده شد. نمونه‌ها در آن خشک شده و در ظرف در بسته نگهداری شدند. برای بررسی رفتار رسانایی پلیمر، به آن مقادیر مختلف گرافیت، به عنوان یک افزودنی رسانا به زمینه پلیمر اضافه شد. رفتار رسانایی پلیمر بدون گرافیت و همچنین پلیمرهای تهیه شده با گرافیت بررسی شده و با یکدیگر مقایسه شدند. برای تهیه پلیمرهای حاوی گرافیت، مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی گرافیت به پلیمر اضافه شد.

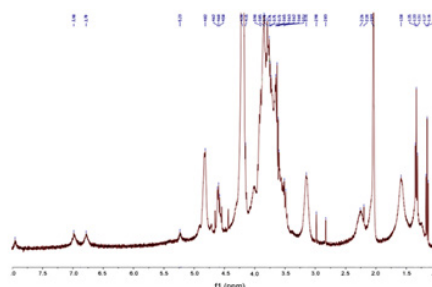
۲-۳- بررسی رفتار هدایت پلیمر اصلاح شده

سامانه اندازه‌گیری شامل دو الکترود مسی با پوشش طلا بود که آزمون توسط فشار یک فنر با ثابت فنر 200 نیوتن بر متر در بین آن‌ها قرار داده می‌شد. همچنین به منظور اتصال بهتر بین الکترود و الکترولیت، ابتدا به قسمتی از سطح فیلم که قرار است اندازه‌گیری روی آن انجام شود، در ابعاد مشخص و قابل اندازه‌گیری مقداری چسب نقره زده و فیلم به سطح الکترودی که قابلیت جدا شدن از سامانه را داشت چسبانده شد. پس از این مرحله به طرف دیگر از سطح فیلم مجدداً چسب نقره زده و فیلم به همراه الکترود در جای خودش و در بین دو الکترود تحت فشار فنر تثبیت شد.

به منظور بررسی تابعیت دمایی هدایت الکتریکی از یک محفظه عایق بندی شده که دمای آن با دقت 0.5 درجه سانتی‌گراد و توسط یک سامانه پایش دما ثابت نگه داشته می‌شد، استفاده گردید. دمای داخل محفظه از طریق دمش هوای گرم ایجاد شده توسط یک تفنگ هوا (Metabo, Japan, 2300W) افزایش داده می‌شد. اندازه‌گیری‌ها برای همه نمونه‌ها از دمای محیط تا دمای 80°C درجه سانتی‌گراد و در فواصل 5°C درجه‌ای و در مرحله گرمایش صورت گرفت. در هر دما، نمونه حداقل به مدت 10 دقیقه برای رسیدن به تعادل دمایی، نگه‌داری می‌شد.

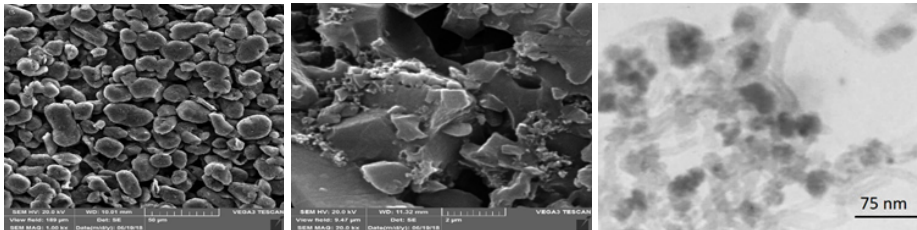
۳- نتایج و بحث

در این مقاله نشاسته با پلیمر پلی(متیل متاکریلات) عامل‌دار شده و با افزودن نانوکلی مونت‌موریلونیت و گرافیت کامپوزیت تهیه شده است. برای اصلاح نشاسته از پلیمر پلی(متیل متاکریلات) استفاده

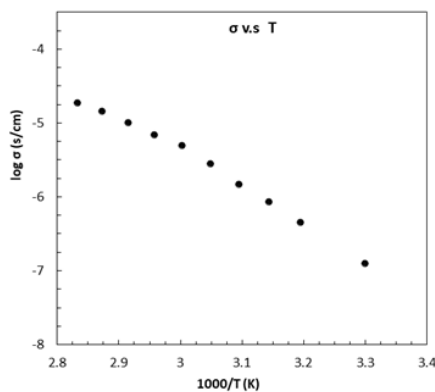


در فرکانس های بالا نشان می‌دهد. امپدانس مختلط از دو بخش Z' و Z'' تشکیل شده که در آن Z' قسمت موهومی و Z'' قسمت واقعی است. این دو با فرمول $Z'' = Z' - IZ'$ با هم ارتباط پیدا می‌کنند. هنگامی که خطوط در راستای حرکتی خود با محور افقی برخورد می‌کنند، قسمت موهومی امپدانس برابر صفر می‌شود و مقدار بدست آمده امپدانس بیانگر مقدار واقعی آن است. این مقدار با مقاومت واقعی الکترولیت که آن را با R_p نشان می‌دهند، برابر است. با استفاده از مقدار واقعی مقاومت R_b و فرمول $\sigma = L/AR_p$ مقدار هدایت یونی الکترولیت اندازه‌گیری می‌شود. همانطور که در شکل مشخص شده است با افزودن گرافیت به عنوان افزودنی رسانا، مقاومت نمونه‌ها کاهش یافته است. رسانش یونی بوسیله مقاومت تماسی (R_p) بدست می‌آید. به این صورت که در فرمول $\sigma = l/R_p A$ قرار داده شده و رسانش یونی (σ) بدست می‌آید که l ضخامت نمونه‌های الکترولیتی و A ناحیه تماسی بین الکترود و الکترولیت می‌باشد. دیده می‌شود که نمونه پلیمر فاقد گرافیت، بیشترین مقاومت را از خود نشان داده است. با گرافیت به پلیمر، مقاومت آن کاهش یافته و در نهایت با افزودن ۱۰ درصد وزنی گرافیت به پلیمر، بالاترین رسانایی مشاهده شده است. با افزایش بیشتر گرافیت به بستر پلیمر، رسانایی بهبود نیافته و تقریباً ثابت مانده است. این مشاهده تایید می‌کند که مقدار بهینه رسانایی با افزودن ۱۰ درصد وزنی گرافیت به پلیمر است. با افزودن مقدار بیشتر گرافیت، میزان رسانایی بیشتر نشده که نشان دهنده میزان بهینه گرافیت در ۱۰ درصد وزنی می‌باشد.

شکل ۴ مقدار هدایت یونی را در pH های مختلف نشان می‌دهد.



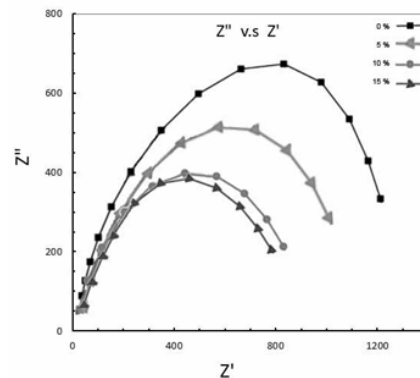
شکل ۲: تصاویر SEM و TEM نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات)



شکل ۴: تأثیر pH بر روی هدایت یونی

شاخص پلی(متیل متاکریلات) نیز به خوبی در طیف مشاهده می‌شود. طیف جذبی مشاهده شده در عدد موج 1688 cm^{-1} مربوط به گروه کربونیل در این پلیمر می‌باشد. طیف های $^1\text{HNMR}$ و FT-IR تایید کننده واکنش موفقیت آمیز نشاسته متیل اکریلات می‌باشد. برای بررسی دقیق تر پلیمر اصلاح شده، از روش های دیگر استفاده شد. برای بررسی ساختار نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) از روش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد. تصویر TEM نمونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده از تصویر TEM نشان دهنده یکنواخت بودن پلیمر می‌باشد. در این تصویر، یکنواخت بودن سطح پلیمر به خوبی مشاهده می‌شود. روش مناسب برای بررسی ساختار سطحی استفاده از میکروسکوپ SEM است. برای بررسی مورفولوژی سطحی و ساختار نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. تصویر SEM نمونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود. مقایسه تصاویر SEM نشاسته قبل و بعد از اصلاح با پلی(متیل متاکریلات) نشان دهنده افزایش تخلخل در سطح پلیمر است. همانطور که در شکل دیده می‌شود نشاسته اصلاح نشده شامل ذرات با دانه بندی تقریباً غیر یکنواخت با سطحی نرم است. اما پس از اصلاح نشاسته با پلی(متیل متاکریلات) سطح آن کاملاً متفاوت شده است.

برای بررسی رفتار هدایت الکتریکی چهار نمونه از کامپوزیت به ترتیب حاوی ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی گرافیت تهیه شده و رسانایی آن با استفاده از طیف سنجی امپدانس مورد بررسی قرار گرفت. نمودار امپدانس پلیمرها در شکل ۳ نشان داده شده است. به طور کلی، رفتار مشابهی در طیف سنجی امپدانس مشاهده شده است. خطوط شبه دایره در این شکل مقاومت یونی الکترولیت را



شکل ۳: نمودار امپدانس پیچیده (نمودار نایکوئیست) پلیمرهای حاوی ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی گرافیت

۵- مراجع

- [1] H. Bagheri, Z. Ayazi, M. Naderi, Conductive polymer-based microextraction methods: a review. *Analytica chimica acta* 767(2013), 1-13.
- [2] M.H. Al-Saleh, U. Sundararaj, A review of vapor grown carbon nanofiber/polymer conductive composites. *Carbon* 47(2009), 2-22.
- [3] F.M. Al-Oqla, S. M. Sapuan, T. Anwer, M. Jawaid, and M. E. Hoque, Natural fiber reinforced conductive polymer composites as functional materials: A review. *Synthetic Metals* 206(2015), 42-54.
- [4] H. Liu, Q. Li, S. Zhang, R. Yin, X. Liu, Y. He, K. Dai, Electrically conductive polymer composites for smart flexible strain sensors: a critical review. *Journal of Materials Chemistry C* 6(2018), 12121-12141.
- [5] J. Huber, S. Mecking, Processing of polyacetylene from aqueous nanoparticle dispersions. *Angewandte Chemie International Edition* 45(2006), 6314-6317.
- [6] G.B. Bidan, B. Ehui, M. Lapkowski, Conductive polymers with immobilised dopants: ionomer composites and auto-doped polymers-a review and recent advances. *Journal of Physics D: Applied Physics* 21(1988), 1043.
- [7] D. Kumar, R. C. Sharma, Advances in conductive polymers. *European polymer journal* 34(1998), 1053-1060.
- [8] C. Le Corre, J. Bras, A. Dufresne, Starch nanoparticles: a review. *Biomacromolecules* 11(2010), 1139-1153.
- [9] S. Wang, L. Copeland, Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & function* 4(2013), 1564-1580.
- [10] B.A. Bauer, D. Knorr, Electrical conductivity: A new tool for the determination of high hydrostatic pressure-induced starch gelatinisation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 5(2004), 437-442.
- [11] Y.M. Yusof, M.F. Shukur, H.A. Illias, M.F.Z. Kadir, Conductivity and electrical properties of corn starch-chitosan blend biopolymer electrolyte incorporated with ammonium iodide. *Physica Scripta* 89(2014), 035701.
- [12] M.F. Shukur, R. Ithnin, M.F.Z. Kadir, Electric

بر طبق این شکل مقدار هدایت یونی در $\text{pH}=3/5$ بیشترین مقدار خود را دارد. به نظر می‌رسد که سازوکار بین زنجیری در انتقال یونی سازوکار بهتری برای توجیه این پدیده باشد. در این سازوکار زنجیرهای با ساختار کشیده و صافتر منجر به تسریع فرایند انتقال یون می‌شوند. در pH های پایین به خاطر وجود برهمکنشهای الکترواستاتیکی، زنجیر بازتر و کشیده‌تر می‌شود. هر چه زنجیره‌های پلیمری کشیده‌تر باشند می‌توانند در فاصله نزدیکتری به یکدیگر قرار گرفته و بنابراین یون راحت‌تر می‌تواند از یک زنجیر به زنجیر دیگر منتقل شود و در نتیجه سرعت انتقال یون از یک نقطه به نقطه دیگر در الکترولیت افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، نشاسته با پلیمر پلی(متیل متاکریلات) اصلاح شده و با افزودن نانوکلی مونتموریلونیت و گرافیت نانوکامپوزیت نشاسته تهیه شد. کامپوزیت حاصل با روش‌های مختلف طیف‌سنجی و تصویربرداری میکروسکوپی مورد شناسایی قرار گرفت. همچنین رفتار هدایت این پلیمر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اصلاح نشاسته با پلی(متیل متاکریلات) رفتار هدایت بهتری از خود نشان می‌دهد. بررسی آزمون امپدانس بر روی نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) به خوبی موید این مشاهده بوده است. با توجه به امکان پروتونه شدن پلیمر در اسیدیته‌های مختلف، تاثیر pH بر میزان هدایت نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که در $\text{pH} = 3/5$ رفتار هدایت نشاسته اصلاح شده با پلی(متیل متاکریلات) در میزان بهینه خود قرار دارد.

- cal properties of proton conducting solid biopolymer electrolytes based on starch–chitosan blend. *Ionics* 20(2014), 977-999.
- [13] A. Khair, S. Ahmad, A.K. Arof, Conductivity studies of starch-based polymer electrolytes. *Ionics* 16(2010), 123-129.
- [14] E. Nazarzadeh, P. Moghadam, E. Azariyan, I. Sharifian, Conductive and biodegradable polyaniline/starch blends and their composites with polystyrene. (2011), 319-328.
- [15] D.D.L. Chung, Review graphite. *Journal of materials science* 37(2002), 1475-1489.
- [16] R.H. Savage, Graphite lubrication. *Journal of applied physics* 19 1948), 1-10.
- [17] D.D.L. Chung, Exfoliation of graphite. *Journal of materials science* 22(1987), 4190-4198.
- [18] M. Dienwiebel, S.G. Verhoeven, N. Pradeep, W.M. Frenken, J.A. Heimberg, H.W. Zandbergen, Superlubricity of graphite. *Physical review letters* 92(2004), 126101.
- [19] Y. Zheng, T. Ando, Hall conductivity of a two-dimensional graphite system. *Physical Review B* 65(2002), 245420.
- [20] B.T. Draine, The discrete-dipole approximation and its application to interstellar graphite grains. *The Astrophysical Journal* 333(1988), 848-872.
- [21] M. Toyoda, M. Inagaki, Heavy oil sorption using exfoliated graphite: New application of exfoliated graphite to protect heavy oil pollution. *Carbon* 38(2000), 199-210.
- [22] B. Sun, M. Skyllas-Kazacos, Modification of graphite electrode materials for vanadium redox flow battery application—I. Thermal treatment. *Electrochimica acta* 37(1992), 1253-1260.
- [23] B. Sun, M. Skyllas-Kazacos, Chemical modification of graphite electrode materials for vanadium redox flow battery application—part II. Acid treatments. *Electrochimica Acta* 37(1992), 2459-2465.
- [24] J.U. Park, S.W. Nam, M. Lee, C.M. Lieber, Synthesis of monolithic graphene–graphite integrated electronics. *Nature materials* 11(2012), 120.
- [25] J. Brown R. Harold M., J.D. Owen, Solid state graphite electrode. U.S. Patent 4,431,508, issued February 14, 1984.