



تهیه و مطالعه خواص گرمایی نانوکامپوزیت‌های پلی آمیدی جدید تقویت شده با هیدروکسید دوگانه لایه‌ای منیزیم-آلومینیوم

محسن حاجی بیگی*، مهرداد امید
دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده

در این پژوهش، نانوکامپوزیت‌های جدید با زمینه پلی آمیدی (PA) تقویت شده با هیدروکسید دوگانه لایه‌ای منیزیم-آلومینیوم^۱ اصلاح شده (OLDH) تهیه، و خواص گرمایی آن‌ها بررسی گردید. PA توسط واکنش پلیمریزاسیون مستقیم^۲ تهیه شد و ساختار آن توسط روش‌های اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه^۳ (FTIR) و رزونانس مغناطیسی هسته^۴ (NMR) تایید شد. OLDH به صورت تک مرحله‌ای^۵ توسط واکنش هم رسوبی^۶ در حضور ترکیب Orange II تهیه گردید و ساختار آن توسط FTIR و الگوی پراش پرتو X^۷ تایید شد. نانوکامپوزیت‌ها (PANC) به روش محلول و قالب ریزی^۸ توسط پلی آمید سنتزی و درصدهای متفاوت از OLDH تهیه شدند. نتایج حاصل از الگوی پراش پرتو X و میکروسکوپ روبشی الکترونی^۹ (SEM) توزیع یکنواخت مناسبی از لایه‌های LDH را در زمینه PA نشان داد. رفتار گرمایی PA و PANC توسط روش‌های آنالیز وزن سنجی حرارتی^{۱۰} (TGA) در اتمسفر نیتروژن و همچنین انتقالات گرمایی نمونه‌ها توسط گرماسنجی روبشی تفاضلی^{۱۱} (DSC) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج TGA، افزایش لایه‌های LDH در مقادیر پایین، موجب بهبود خواص گرمایی PA گردید. همچنین نتایج شاخص محدودیت اکسیژن^{۱۲} (LOI)، نشان داد که PA خواص دیر سوزی داشته و با افزایش OLDH تا ۵ درصد وزنی، خاصیت دیرسوزی آن افزایش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت، هیدروکسید دوگانه لایه‌ای، پلی آمید، مقاومت گرمایی^{۱۳}

ایمیل نویسنده مسئول: mhajibeygi@gmail.com, mhajibeygi@khu.ac.ir

¹ Mg-Al/layered double hydroxide

² Direct polymerization

³ Fourier transform infrared spectroscopy

⁴ Nuclear magnetic resonance spectroscopy

⁵ One-step

⁶ Co-precipitation

⁷ X-ray powder diffraction

⁸ Casting

⁹ Scanning electron microscope

¹⁰ Thermogravimetric analysis

¹¹ Differential scanning calorimetry

¹² Limiting Oxygen Index

¹³ Thermal stability

۱- مقدمه

نانوکامپوزیت‌های پلیمری به دلیل خواصی نظیر دیر سوز بودن^۱ و مقاومت گرمایی بالا دارای کاربردهای چشم گیری هستند [۱]. از مهمترین خصوصیات نانوکامپوزیت ها، مقاومت در برابر آتش و حرارت، مقاومت مکانیکی مطلوب و سبکی و فرم پذیری مطلوب آنهاست که موجب افزایش کاربرد آنها شده است [۲].

در میان نانو ذرات، هیدروکسیدهای دوگانه لایه‌ای (LDH) از جمله موادی هستند که به عنوان سامانه‌های هیبریدی برای کاربردهای مختلف از جمله ساخت نانوکامپوزیت‌های مقاوم گرمایی مورد مطالعه قرار گرفته اند [۳]. این مواد به دلیل بار منفی، قابلیت جذب و نگهداری، حمل و رهایش یون‌ها، سطح ویژه زیاد، اثرحافظه داری، تنوع ساختاری و سنتز آسان و کم هزینه درحوزه‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته اند [۴-۵].

در این پروژه ابتدا پلی آمید جدید تهیه و ساختار و خصوصیات آن مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه هیدروکسید دو گانه لایه ای منیزیم- آلومینیوم اصلاح شده (OLDH) با Orange II به صورت تک مرحله تهیه می‌گردد. نانوکامپوزیت‌های مربوطه با درصد‌های متفاوت از OLDH و پلی آمید سنتزی تهیه می‌گردند و اثر نانو ذرات لایه‌ای روی خواص گرمایی و دیر سوزی پلیمر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد

آزالئیک اسید، ۲-۵ دی نیترو بنزونیل کلرید^۱، ۱-آمینو نفتالن^۲، پالادیوم کربن ۱۰ درصد، هیدرازین^۳، تری فنیل فسفیت^۴ (TPP)، پیریدین^۵ (Py)، N-متیل-۲-پیرولیدون^۶ (NMP)، کلسیم کلرید (CaCl₂)، منیزیم نیترات ۶ آب، آلومینیوم نیترات ۹ آب، ۲- نفتول^۸ و سولفانلیک اسید^۹ از شرکت مرک آلمان (Merck Chemicals) خریداری گردید.

۲-۲- تجهیزات

طیفهای مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) توسط دستگاه Perkin-Elmer RXI گرفته شد. الگوی پراش پرتو X^{۱۰} با بکارگیری پراش سنج Philips X-pert بدست آمد. نتایج میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) توسط دستگاه Cambridge S260، Mira 3- XMU بدست آمد. آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) توسط دستگاه Mettler TA4000 ارزیابی شده است. همچنین گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) توسط دستگاه Mettler 110 (Switzerland) بدست آمده است.

۳-۲- تهیه OLDH

۰/۹۳۵ گرم (۳/۶ میلی مول) از Mg(NO₃)_۶H₂O و ۱/۲۷ گرم (۳/۳۸ میلی مول) از Al(NO₃)_۳.۹H₂O به صورت جداگانه در بشر ریخته شد و به هر کدام ۵۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر اضافه گردید. سپس در یک بالون سه دهانه، ۳۰ میلی لیتر محلول بازی شامل ۱ گرم Orange II ریخته شد و pH آن با دستگاه pH متر با افزودن محلول سود در محدوده ۱۰±۰/۵ تنظیم گردید و در دمای ۵۰°C محلول فلزات به بالون اضافه شد. بعد از این کار مخلوط را صاف کرده و چندین بار روی صافی با آب مقطر شستشو داده شد و در دمای محیط خشک گردید.

۴-۲- تهیه مونومرها

۲-۱-۴-۲- تهیه ترکیب دی نیترو (۳)

در یک بالون ۱۰۰ میلی لیتری ۱ گرم (۶/۹۹ میلی مول) ۱-آمینو نفتالن در ۱۵ میلی لیتر DMF حل شد و در حمام یخ قرار داده شد. سپس ۶/۹۹ میلی مول از ۳-۵ دی نیترو بنزونیل کلرید را در ۱۵ میلی لیتر DMF حل کرده و ضمن همزدن قطره قطره به محلول درون حمام یخ اضافه شد. سپس به مخلوط واکنش ۲۰۰ میلی لیتر آب و یخ آرام آرام اضافه شد. رسوب زرد لیمویی تشکیل شده را صاف کرده و با آب مقطر شستشو داده شد.

۲-۴-۲- تهیه ترکیب دی آمین (۴)

در یک بالون ۱۰۰ میلی لیتری ۰/۵ گرم (۱/۴۸ میلی مول) ترکیب دی نیترو، ۰/۱ گرم پالادیوم کربن (Pd/C)، ۲۰ میلی لیتر اتانول و ۱۵ قطره هیدرازین ضمن همزدن تا دمای ۹۵°C به مدت ۲ ساعت رفلاکس شد. بعد از انجام رفلاکس محلول داغ را صاف شد. سپس به محلول ۵۰ میلی لیتر محلول آب و یخ اضافه گردید تا رسوب تشکیل شود.

۲-۵-۲- پلی آمید (PA)

در یک بالون ۱۰۰ میلی لیتری، ۲ میلی مول آزالئیک اسید، ۲ میلی مول ترکیب دی آمین، ۵ میلی لیتر NMP، ۱ میلی لیتر پیریدین، ۱/۵ میلی لیتر تری فنیل فسفیت و ۰/۵ گرم کلسیم کلرید ریخته و به مدت ۷ ساعت رفلاکس شد. سپس مایع ویسکوز تشکیل شده، به دمای محیط رسانده شد و ۲۰ میلی لیتر متانول به آن اضافه گردید تا رسوب پلیمر تشکیل شود.

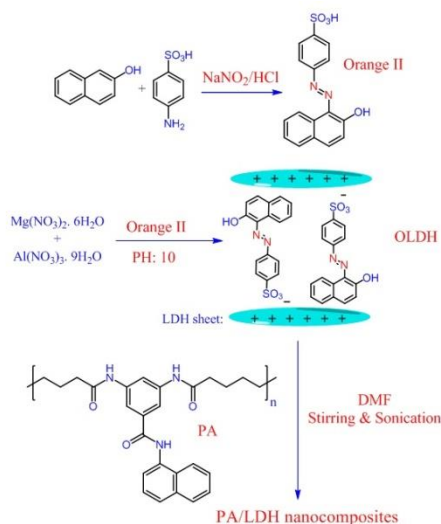
۲-۶-۲- تهیه نانوکامپوزیت ها

برای ساخت نانوکامپوزیت ۲، ۵ و ۸ درصد وزنی در حلال DMF، بعد از توزین مقادیر درصد وزنی مشخص از پلیمر و OLDH و مخلوط سازی آن‌ها در حلال DMF، هر مخلوط به مدت ۱ ساعت ضمن همزدن تا دمای ۵۰°C حرارت داده شد. سپس مخلوط به مدت ۱ شب در دمای محیط هم زده شد. در پایان مخلوط درون ظرف شیشه‌ای مخصوص^{۱۱} ریخته گری شد و در آون با دمای ۱۲۰°C قرار داده شد تا حلال آن تبخیر گردد.

^۱ Flame retardancy^۲ 2,5-Dinitrobenzoyl chloride^۳ 1-Amininaphthalene^۴ Hydrazine^۵ Triphenylphosphite^۶ Pyridine^۷ N-Methyl-2-pyrrolidone^۸ 2-Naphthole^۹ Sulfanilic acid^{۱۰} X-ray diffraction^{۱۱} Petri dish

۳-۳- تهیه نانو ذرات اصلاح شده LDH و نانو کامپوزیت ها

در این کار، از ترکیب Orange II به عنوان اصلاح کننده LDH استفاده شد. طی این عمل لایه‌های هیدروفیل^۱ تبدیل اصلاح شده و خاصیت هیدروفوب^۲ به خود می‌گیرند. ضمن این عمل نفوذ زنجیرهای پلیمری داخل لایه‌های LDH آسان‌تر شده و نانوکامپوزیتی با یکنواختی بیشتر و خواص بهتر تهیه خواهد شد. روش تهیه Orange II و همچنین استفاده از آن برای تهیه OLDH در شمای ۳ آمده است. نانوکامپوزیت‌ها (PANC 2, PANC 5,) در شمای ۳ با سه درصد وزنی متفاوت از OLDH (۲، ۵ و ۸) در حلال دی متیل فرمامید^۳ تهیه شدند (شمای ۲). ساختار و خواص گرمایی و دیرسوزی نانوکامپوزیت های تهیه شده توسط روش های اسپکتروسکوپی مادون قرمز، پراش پرتو X و آنالیز حرارتی TGA مورد بررسی قرار گرفت.



شمای ۲. مسیر تهیه OLDH و PANC

۳-۴- بررسی ساختار به کمک اسپکتروسکوپی FTIR

شکل ۳ طیف FTIR پلی آمید، OLDH و نانوکامپوزیت‌های تهیه شده را نشان می‌دهد. در طیف PA، نوارهای جذبی^۴ ظاهر شده در 1661cm^{-1} و 1131cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی^۵ کششی^۵ گروه کربونیل آمیدی و پیوند C-N در ساختار PA می‌باشد. همچنین نوار جذبی ظاهر شده در ناحیه 3279cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی گروه های N-H در ساختار PA می‌باشد. در طیف مادون قرمز OLDH، نوار جذبی پهن ظاهر شده در محدوده $3700-3000\text{cm}^{-1}$ مربوط به گروه کربوکسیل مربوط لایه های LDH می‌باشد. همچنین نوارهای جذبی ظاهر شده در نواحی $540-750\text{cm}^{-1}$ مربوط به پیوندهای اکسید فلزی در ساختار LDH می‌باشد. سایر نوارهای جذبی ظاهر شده مربوط به ترکیب اصلاح کننده LDH، یعنی Orange II می‌باشد.

¹Hydrophile

²Hydrophobe

³ Dimethyl formamide

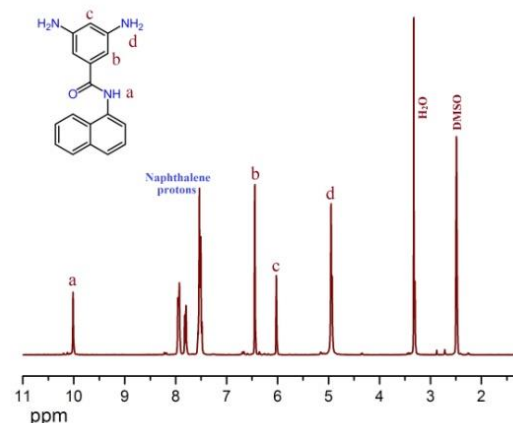
⁴ Adsorption band

⁵ Stretching vibration

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱-تهیه دی آمین (۴)

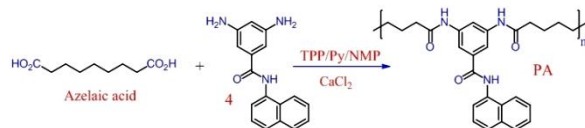
طی دو مرحله ترکیب دی آمین (۴) حاوی حلقه نفتالن تهیه گردید. شکل ۱ طیف $^1\text{H-NMR}$ دی آمین (۴) را نشان می‌دهد. علامت ظاهر شده در ناحیه ۱۰ppm نشانگر حضور NH آمیدی در این ترکیب است. علامت ظاهر شده در ناحیه ۵ppm به دلیل حضور گروه‌های آمین آزاد در این ترکیب می‌باشد.



شکل ۱. طیف $^1\text{H-NMR}$ دی آمین (۴)

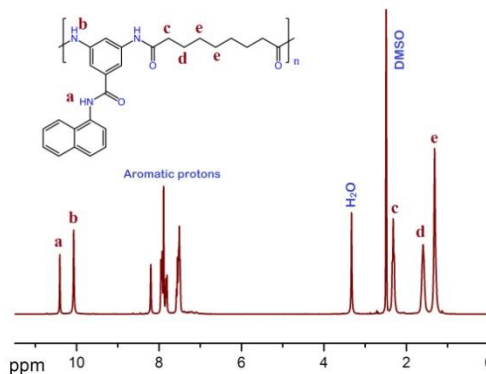
۳-۲-تهیه PA

با استفاده از دی آمین (۴) و آزالتیک اسید، بر اساس واکنش پلیمریزاسیون تراکمی مستقیم در حضور تری فنیل فسفیت [۶]، پلی آمید مربوطه تهیه گردید (شمای ۱).



شمای ۱. مسیر تهیه PA

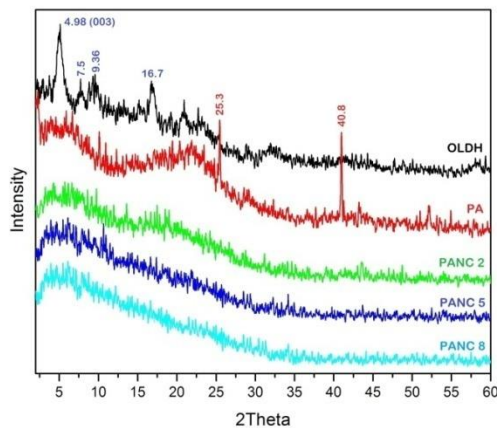
ساختار و خلوص PA با استفاده از روش‌های اسپکتروسکوپی مادون قرمز، رزونانس مغناطیسی هسته کربن و هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت و تایید شد. طیف رزونانس مغناطیسی هسته هیدروژن در شکل ۲ آمده است. دو NH با محیط شیمیایی متفاوت در ساختار پلیمر در حدود ۱۰ppm ظاهر شده‌اند، که نشانگر تشکیل اتصالات آمیدی در اثر واکنش پلیمریزاسیون



شکل ۲. طیف $^1\text{H-NMR}$ پلی آمید (PA)

است. همچنین، حذف پیک‌های مربوط به OLDH در الگوی پراش پرتو X نانو کامپوزیت‌ها نشانگر توزیع یکنواخت لایه‌های LDH در زمینه پلیمر می‌باشد.

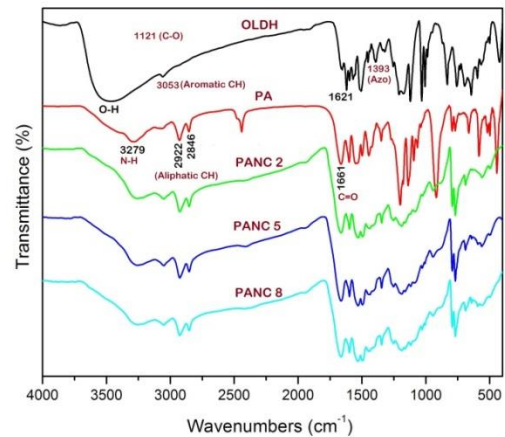
شکل ۵ عکس‌های حاصل از میکروسکوپ روبشی الکترونی مربوط به PA و PANC و همچنین نقشه پراکندگی عناصر منیزیم و آلومینیوم برای نانو کامپوزیت‌های ۲ و ۵ درصد وزنی آمده است. با مقایسه عکس‌های SEM پلی آمید PA و نانو کامپوزیت‌ها در می‌یابیم که بافت توده در پلی آمید اولیه و نانو کامپوزیت‌ها با هم کاملاً متفاوت است.



شکل ۴. الگوی پراش پرتو X نمونه‌های OLDH، PA و PANC

گروه آزو در این ساختار در ناحیه 1393 cm^{-1} و گروه سولفون در ناحیه 1621 cm^{-1} ظاهر شده است. نوارهای جذبی ظاهر شده در طیف FTIR نانو لایه‌های OLDH، نشانگر تشکیل و اصلاح شدن این ساختار است.

در طیف‌های FTIR نانو کامپوزیت‌ها، ضمن ظاهر شدن نوارهای جذبی مربوط به زمینه PA^۱، نوارهای جذبی مربوط به OLDH، هرچند با شدتی اندک، را نیز می‌توان یافت. به عنوان مثال در طیف‌های FTIR نانو کامپوزیت‌ها، نوار جذبی ظاهر شده در حدود 556 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای Al-O و Mg-O در ساختار OLDH می‌باشد.



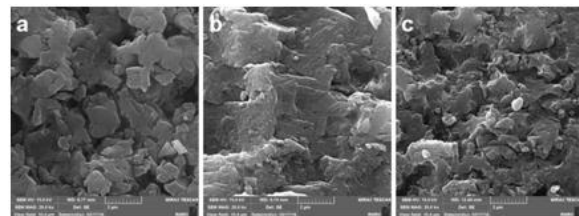
شکل ۳. طیف‌های FTIR پلیمر PA، OLDH و PANC

۳-۵- الگوی پراش پرتو X و میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM)

در شکل ۴ الگوی XRD حاصل از PA خالص، OLDH و نانو کامپوزیت‌های حاوی ۲، ۵ و ۸ درصد از OLDH نشان داده شده است. در الگوی XRD پلیمر PA، فقط دو پیک نسبتاً تیز مشاهده می‌گردد. این الگو نشانگر این مطلب است که ساختارهایی بسیار جزئی به صورت بلوری در پلی آمید وجود.

همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، الگوی XRD نمونه OLDH دارای چندین پیک مشخص می‌باشد که نشانگر ساختار لایه‌ای این ترکیب است. پیک مربوط به لایه (۰۰۳) در LDH خالص در کارهای قبلی در ناحیه حدود $11/8$ درجه ظاهر شده است [۱۶، ۱۷] در صورتیکه پیک اصلی مربوط به لایه (۰۰۳) در OLDH در $4/98$ درجه ظاهر شده است. با استفاده از معادله براگ^۱ [V]، فاصله بین لایه‌های OLDH محاسبه گردید که این عدد $1/02$ نانومتر بود.

در الگوی XRD نانو کامپوزیت‌ها (شکل ۴)، هیچ پیک مشخصی دیده نمی‌شود. پیک‌های مربوط به زمینه PA نیز در این الگوها حذف شده است. حذف پیک‌های مربوط به PA در نانو کامپوزیت‌ها، می‌تواند به دلیل تغییر در ساختار بلوری PA توسط OLDH باشد. این نکته نشانگر اثر متقابل زیاد بین PA و OLDH می‌باشد که ساختار بلوری PA تحت تاثیر قرار گرفته



شکل ۵. عکس‌های SEM نمونه‌های PA و PANC

۳-۶- خواص گرمایی

شکل ۶ منحنی‌های گرمایی TGA را نشان می‌دهد که پارامترهای استخراج شده از آن شامل دمای کاهش وزن ۵ و ۱۰ درصد وزنی (T_{10} ، T_5) و همچنین خاکستر بجا ماده در حداکثر حرارت 800°C در جو نیتروژن در جدول ۱ گزارش شده است.

نتایج منحنی‌های TGA نشان می‌دهد که، تجزیه گرمایی اولیه نانو کامپوزیت‌های ۲ و ۵ درصد وزنی تهیه شده در دمای 283°C می‌باشد، در صورتیکه همین دما برای پلیمر خالص 277°C می‌باشد. به طور کلی حضور درصد‌های کم از نانو لایه‌ها (۱ تا ۵ درصد) موجب افزایش مقاومت گرمایی نانو کامپوزیت می‌شود. حضور مقادیر بیشتر از ۵ درصد ممکن است عمل تخریب پلیمر را کاتالیز کند و در کل موجب شود پایداری گرمایی کم شود و یا تغییری نکند [۸]. به همین دلیل است که با افزایش درصد وزنی OLDH به ماتریکس پلیمری تا ۸ درصد، مقاوت حرارتی نانو کامپوزیت کاهش پیدا کرده است.

همچنین از نتایج دمای شیشه شدن می‌توان دریافت، حضور OLDH در ساختار پلیمر موجب افزایش دمای شیشه‌ای شده

^۱ Matrix

^۲ Bragg's law

میکروسکوپ روبشی الکترونی و عکسهای عناصر موجود در نانوکامپوزیت، نشان داد نانو لایه‌های LDH پخش مناسبی در زمینه پلیمری داشته‌اند. همچنین نتایج آنالیز حرارتی TGA نشان داد با افزایش ۲ تا ۵ درصد وزنی از OLDH به زمینه پلیمری، موجب افزایش خواص گرمایی پلی آمید سنتزی می‌گردد. با محاسبه شاخص محدودیت اکسیژن، این نتیجه بدست آمد که این ترکیبات پلیمری خواص دیر سوزی داشته و با افزایش OLDH تا ۵ درصد وزنی، خاصیت دیرسوزی آنها افزایش پیدا کرده است.

۵- مراجع

[۱] M. Kotal, S.K. Srivastava, A.K. Bhowmick, S.K. Chakraborty, Morphology and properties of stearate-intercalated layered double hydroxide nanoplatelet-reinforced thermoplastic polyurethane, Polymer International 60(5) (2011) 772-780.

[۲] M. Hajibeygi, M. Shabaniyan, H. Moghanian, H.A. Khonakdar, Hau, Development of one-step synthesized LDH reinforced multifunctional poly(amide-imide) matrix containing xanthene rings: study on thermal stability and flame retardancy, RSC Advances 5(66) (2015) 53726-53735.

[۳] M. Shabaniyan, N. Basaki, H.A. Khonakdar, S.H. Jafari, K. Hedayati, U. Wagenknecht, Novel nanocomposites consisting of a semi-crystalline polyamide and Mg-Al LDH: Morphology, thermal properties and flame retardancy, Applied Clay Science 90(0) (2014) 101-108.

[۴] D.-Y. Wang, A. Das, A. Leuteritz, R.N. Mahaling, D. Jehnichen, U. Wagenknecht, G. Heinrich, Structural characteristics and flammability of fire retarding EPDM/layered double hydroxide (LDH) nanocomposites, RSC Advances 2(9) (2012) 3927-3933.

[۵] X.-L. Liu, D. Wu, R. Sun, L.-M. Yu, J.-W. Jiang, S.-R. Sheng, Synthesis and properties of novel soluble fluorinated polyamides containing pyridine and sulfone moieties, Journal of Fluorine Chemistry 154(0) (2013) 16-22.

[۶] N. Yamazaki, M. Matsumoto, F. Higashi, Studies on reactions of the N-phosphonium salts of pyridines. XIV. Wholly aromatic polyamides by the direct polycondensation reaction by using phosphites in the presence of metal salts, Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition 13(6) (1975) 1373-1380.

[۷] H.P. Klug, L.E. Alexander, X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials, Wiley 1974.

[۸] J. Xie, K. Zhang, J. Wu, G. Ren, H. Chen, J. Xu, Bio-nanocomposite films reinforced with organo-modified layered double hydroxides: Preparation, morphology and properties, Applied Clay Science 126 (2016) 72-80.

است. این افزایش در دمای شیشه‌ای شدن به دلیل کند شدن حرکات زنجیرهای پلیمری بین لایه‌های معدنی LDH می‌باشد [۹].

از داده‌های آنالیز گرمایی می‌توان شاخص محدودیت اکسیژن (LOI) برای ترکیبات تهیه شده را نیز محاسبه کرد. این پارامتر، حداقل اکسیژن مورد نیاز برای شروع سوختن برای ترکیبات را نشان می‌دهد که به طور کلی اگر بیش از ۲۷ باشد، نشانگر دیر سوز بودن ترکیبات و مقاومت آنها در برابر شعله است. مقادیر LOI را از رابطه زیر می‌توان بدست آورد [۱۰]:

$$LOI = 17.5 + 0.4CR$$

که در آن CR وزن باقی مانده پلیمر در دمای ۸۰۰°C می‌باشد که از منحنی TGA استخراج گردیده است. مقادیر LOI برای پلیمر خالص ۳۸/۴ و برای نانوکامپوزیت‌های ۲ و ۵ درصد به ترتیب، ۳۹/۱ و ۳۹/۵ محاسبه گردید. این اعداد نشانگر آن است که این ترکیبات در برابر شعله مقاومند و با اضافه کردن OLDH به ساختار پلیمر خالص این خاصیت تشدید گردیده است.

جدول ۱. پارامترهای گرمایی استخراج شده از آنالیز TGA نمونه های PA و PANC

نمونه	T_g (°C) ^a	CY (%) ^b	T_{10} (°C) ^c	T_5 (°C) ^d
PA	167	52.4	320	277
PANC 2	167	54.2	324	283
PANC 5	168	55.1	330	283
PANC 8	169	52.2	314	267

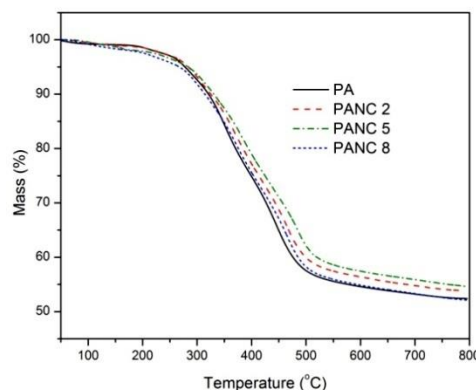
(a) دمای کم شدن ۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی اندازه گیری شده به روش TGA با افزایش

دمای ۱۰۰°C در دقیقه تحت نیتروژن.

(b) باقی مانده وزنی در دمای ۸۰۰°C اندازه گیری شده به روش TGA

(c) دمای انتقال شیشه ای

(d) شاخص محدودیت اکسیژن



شکل ۶. منحنی گرمایی TGA نمونه های PA و PANC

۴- نتیجه گیری

در این کار، هیدروکسید دوگانه نانو لایه‌ای منیزیم-آلومینیوم اصلاح شده (OLDH) به صورت تک مرحله‌ای تهیه شد. به منظور تهیه زمینه نانوکامپوزیت‌ها پلی آمید (PA) حاوی حلقه نفتالن و زنجیر آلیفاتیک طولی با استفاده از آزالتیک اسید و دی آمین (۴) طی واکنش پلیمریزاسیون مستقیم تهیه شد. نانو کامپوزیت‌های پلیمری با درصد‌های متفاوت از OLDH با زمینه PA با روش قالب ریزی تهیه شدند. نتایج حاصل از الگوی پراش پرتو X،



[۹] سیده سارا شفیعی، مهران صولتی، رضا کلانتری، علی صمدی، تاثیر فرآیند هیدروترمال بر خواص فیزیکی و زیست نانورس آنیونی از نوع کلسیوم-آلومینیوم، نشریه علم و مهندسی سرامیک، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۱.

[۱۰] D.W. Krevelen, P.J. Hoftyzer, Properties of polymers, their estimation and correlation with chemical structure, Elsevier Scientific Pub. Co.1976.