



بررسی تجربی رفتار خمشی نانوکامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف بازالت / کنف

حسین تقی پور¹، جابر میرزایی²

¹استادیار، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، h.taghipoor@velayat.ac.ir

²دکتری، دانشگاه سمنان، mirzaei.jaber@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، استحکام خمشی نانوکامپوزیت با زمینه پلیمری پلی‌پروپیلن (PP) تقویت شده با نانوصفحات گرافن، الیاف بازالت، الیاف کنف به روش رویه پاسخ (RSM) بررسی شده است. برای تقویت کامپوزیت، مقادیر 0، 7/5 و 1/5 درصد وزنی برای نانوصفحات گرافن، 0، 7/5 و 15 درصد وزنی برای الیاف کنف در نظر گرفته شده است، که برای تهیه هر ترکیب از یک مخلوطکن داخلی و یک دستگاه پرس داغ استفاده می‌شود. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) جهت مشاهده نحوه پراکندگی نانوصفحات گرافن، الیاف بازالت و الیاف کنف در زمینه پلیمری استفاده شدند. نتایج نشان می‌دهد، نانوکامپوزیت با 0.75 درصد وزنی گرافن 12٪ استحکام خمشی را افزایش می‌دهد و در ادامه با افزایش ذرات نانو تا 1/5 درصد وزنی، 6 درصد استحکام خمشی کاهش یافت. افزایش 15 درصد وزنی الیاف بازالت، استحکام خمشی را 13٪ افزایش داد، همچنین افزایش 15 درصد وزنی الیاف کنف، استحکام خمشی را 18٪ افزایش داد.

واژه های کلیدی

استحکام خمشی، کامپوزیت، نانو گرافن، الیاف بازالت، الیاف کنف.

مقدمه

پیشرفت‌های وسیع و سریعی که در کلیه زمینه‌های صنعتی رخ داده است، مرهون دستیابی به مواد با کیفیت بالاتر است که در ساخت قطعات ماشین آلات و تجهیزات صنعتی به کار می‌روند. اخیراً، استفاده از فیبرهای طبیعی در ساخت مواد کامپوزیتی سازگار با محیط زیست در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته‌اند که علت آن وجود خواص ذاتی آن‌ها مانند مقاومت، خواص حرارتی، عدم نفوذپذیری آب و تجزیه شدن در محیط زیست است [1]. یعقوبی و همکاران [2]، در مقاله‌ای به بررسی خواص خمشی کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کنف پرداختند و که مقادیر بهینه متغییرهای ساخت، شامل 30 درصد وزنی کنف با طول 6 میلی‌متر و 3 درصد وزنی سازگار کننده دست پیدا کردند. مقادیر استحکام و مدول خمشی در نقطه بهینه به ترتیب برابر 53/66 و 3442 مگاپاسکال بدست آمد.



دانشگاه ولایت



گوچنگ¹ و همکارانش [3]، به بررسی تأثیر میزان الیاف کربن بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف کربن و اپوکسی پرداختند. آنها به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت که شامل 20 تا 60 درصد وزنی الیاف کربن می‌باشد پرداختند. آنها گزارش کردند که افزایش میزان الیاف تا 60 درصد وزنی باعث کاهش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت گردیده است. یو² و همکارانش [4]، به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کوتاه طبیعی پرداختند. آنها در کار خود از الیاف جوت و رمی با میانگین طول 10 میلیمتر و در 10 تا 50 درصد وزنی استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بیشترین بهبود در خواص مکانیکی در 30 درصد وزنی الیاف صورت پذیرفته است.

لوپرسو³ و همکاران [5]، خواص مکانیکی کامپوزیت تقویت شده با الیاف بازالت و شیشه را مورد مطالعه قرار دادند. این نمونه‌ها با استفاده از فناوری کیسه‌های خلاء تهیه شده و همچنین تست کششی با استفاده از دستگاه MTS انجام شده است. نتایج آزمون نشان داد که کامپوزیت تقویت شده با الیاف بازالت از مدول یانگ بالاتر، مقاومت فشاری و خمشی، مقاومت در برابر ضربه و جذب انرژی بیشتر برخوردار است.

کلومبو و همکاران [6]، خصوصیات کامپوزیت تقویت شده با بازالت که با استفاده از فرآیند تزریق خلاء به جای روش دستی ساخته شده اند را مورد بررسی قرار دادند. دو نوع ماتریس پلیمر، یعنی رزین وینیل استر و رزین اپوکسی تقویت شده با الیاف بازالت مورد آزمایش قرار گرفتند. مشخص شد که کامپوزیت تقویت شده با رزین اپوکسی خواص مکانیکی بهتری نسبت به کامپوزیت تقویت شده با رزین وینیل استر دارد. کامپوزیت تقویت شده با رزین اپوکسی معمولاً با اتصال فیبر با ماتریس متصل می‌شود در حالی که کامپوزیت تقویت شده با رزین وینیل استر تمایل به جدا کردن فیبر از ماتریس دارد. والتینو و همکاران [7]، ویژگی‌های مکانیکی پلاستیک تقویت شده با الیاف بازالت با دو نوع پارچه مختلف را تحت آزمایشات کششی بررسی کردند. شبیه‌سازی عددی نیز برای اعتبارسنجی مدل عددی پیشنهادی انجام شد. سایر محصولات فیبر بازالت به شکل میله و افزودنی به بتن نیز مورد بررسی قرار گرفت. بانیبایات و پاتنایک [8]، خواص مکانیکی نوار پلیمری تقویت شده با الیاف بازالت را مورد بررسی قرار دادند که با استفاده از روش لایه بندی مرطوب تولید شده است. های و همکاران [9]، از الیاف بازالت به عنوان تقویت کننده خمشی اجزای بتن و همچنین الیاف بازالت کوتاه را برای تقویت خواص مکانیکی بتن استفاده کردند.

سونگ و همکارانش [10]، نشان دادند که افزودن 1 درصد وزنی نانو صفحات گرافن به پلی‌پروپیلن استحکام تسلیم و استحکام کششی آنها افزایش داده و افزودن بیش از 1 درصد وزنی (تا 5 درصد وزنی) آن موجب کاهش استحکام ترکیبات می‌شود. در یک تحقیق، یوان و همکارانش [11]، به بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن/اکسید گرافن پرداختند. گزارش‌های آن‌ها نشان می‌دهد که حضور تا 1 درصد وزنی اکسید گرافن، مدول الاستیک و استحکام کششی را افزایش می‌دهد ولی باعث کاهش ازدیاد طول تا پارگی می‌شود.

مواد اولیه

در این مقاله از پلیمر پلی‌پروپیلن با نام تجاری V30S محصول شرکت پتروشیمی اراک استفاده شد. الیاف کنف طبیعی با قطر 50 میکرون و با دانسیته $0.75 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ که به طور کامل از مواد طبیعی تشکیل شده است و همچنین از الیاف بازالت محصول شرکت بازالتکس با قطر 20 میکرون و دارای دانسیته $2.5 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ استفاده شده است. پودر گرافن با کد تجاری xGnP-

¹ Guocheng

² YU

³ Ioperso



C750 محصول شرکت ایکس-جی ساینس⁴ آمریکا، به عنوان نانوپرکننده در این تحقیق استفاده شد. این ذرات پودر، با قطر متوسط کمتر از 5 میکرون، ضخامت 2 نانومتر، مساحت سطح⁵ 750 m²/g و چگالی $2/2 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ شناسایی شده‌اند.

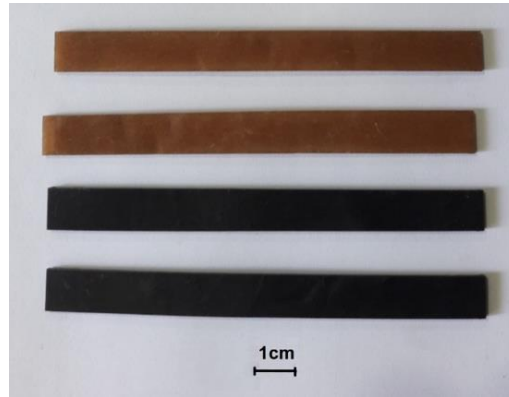
تمامی نمونه‌ها به روش اختلاط مذاب و با استفاده از مخلوط‌کن داخلی مدل HBI SYS 90 ساخت شرکت هک آمریکا با سرعت 60rpm در دمای 180°C تهیه شدند. بعد از ذوب پلی‌پروپیلن در مخلوط‌کن، گرافن، الیاف بازالت و الیاف کنف در درصدهای وزنی مشخص شده در جدول 1 که با روش طراحی آزمون سطح پاسخ روش کامپوزیت مرکزی بدست آمده اضافه می‌شوند. زمان اختلاط برای تمامی نمونه‌ها 10 min در نظر گرفته شد. در پایان نمونه‌ها جهت آزمون مطابق استاندارد، با استفاده از قالب‌گیری فشاری توسط دستگاه پرس گرم محصول شرکت توبوسکی مدل VCH ساخت کشور ژاپن در دمای 200°C و فشار 2/5MPa تهیه شدند. از هر نمونه، برای هر آزمون 3 نمونه استاندارد ساخته شد. در شکل 2 تصویر نمونه‌های آزمون نشان داده شده است. همچنین در شکل 4 تصاویر نمونه در حال تست نشان داده شده است. برای انجام آزمون خمش و بدست آوردن استحکام خمشی از دستگاه تست کشش و فشار سنتام SANTM STM 400 با ظرفیت 5 تن استفاده گردید. در این مقاله آزمون خمشی طبق استاندارد ASTM D790 با سرعت 1/3 میلی‌متر بر دقیقه انجام گرفت.

جدول 1: درصد اجزای تشکیل دهنده نانوکامپوزیت حاصل از DOE

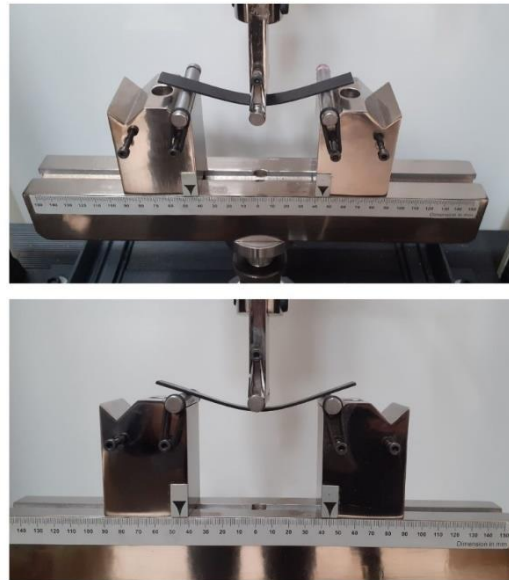
شماره نمونه	الیاف بازالت (درصد وزنی)	الیاف کنف (درصد وزنی)	نانو گرافن (درصد وزنی)	استحکام خمشی (MPa)
1	0	0	0/75	43.59±0.8
2	15	0	0/75	48.76±0.78
3	0	15	0/75	50.60±0.54
4	15	15	0/75	55.85±1.24
5	0	7/5	0	42.98±0.76
6	15	7/5	0	47.8±0.94
7	0	7/5	1/5	45.19±1.36
8	15	7/5	1/5	50.33±0.86
9	7/5	0	0	39±0.97
10	7/5	15	0	49±1.1
11	7/5	0	1/5	44.5±0.73
12	7/5	15	1/5	50.60±1.03
13	7/5	7/5	0/75	49±0.84
14	7/5	7/5	0/75	49.8±0.96
15	7/5	7/5	0/75	50.60±0.83

⁴ XG Sciences

⁵ Surface area



شکل 1 تصویر نمونه‌های آزمون کشش، ضربه و خمش



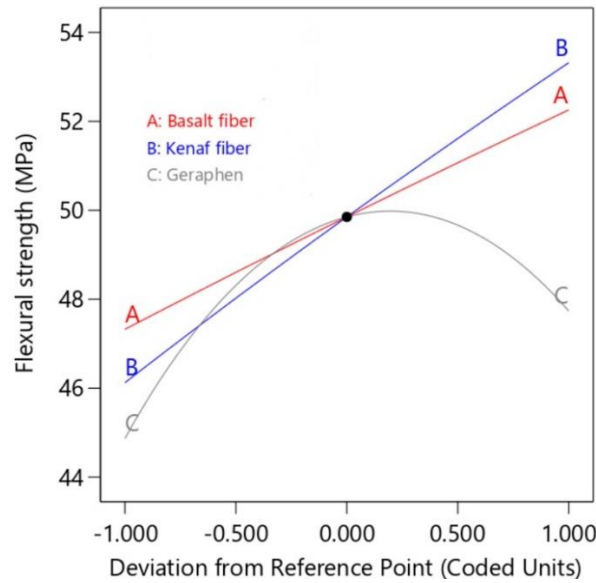
شکل 2 تصویر نمونه‌های آزمون خمش سه نقطه تحت بارگذاری خمشی

بحث

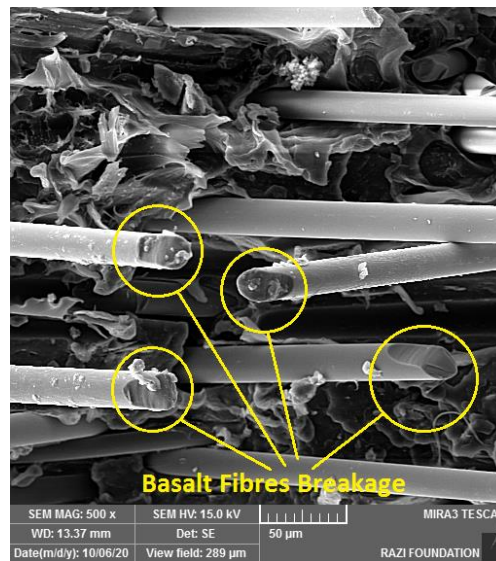
نتایج استحکام خمشی در نمودار شکل 3 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود افزودن الیاف کنف و الیاف بازالت به زمینه پلیمری باعث افزایش استحکام خمشی شده است. تاثیر حضور الیاف بازالت و کنف در اتلاف انرژی رشد ترک در نمونه‌های آزمون خمش باعث افزایش استحکام خمشی می‌شود. همچنین افزودن گرافن به ترکیب، استحکام خمشی را افزایش داده است. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود، حضور تنها 0/75 درصد وزنی نانوصفحات گرافن در ترکیب نمونه‌ها افزایش استحکام خمشی را به همراه داشته که علت آن بهبود اتصال زمینه و الیاف می‌باشد. به علاوه حضور نانوصفحات توسط مکانیزم‌های مختلفی چون ایجاد حفره، پل زدن و انحراف مسیر ترک، می‌تواند مانعی بر رشد ترک باشد و با جذب انرژی بالاتر سبب افزایش انرژی شکست شود. اما در نمونه‌های با 1/5 درصد وزنی نانوصفحات گرافن استحکام خمشی، نسبت به 0/75 درصد وزنی گرافن، کاهش پیدا کرده است. در واقع در نمونه‌های با مقادیر بالای

نانوذرات، شاهد تشکیل کلوخه‌هایی هستیم که می‌توانند سبب تمرکز تنش شده و مناطقی برای شروع رشد ترک ایجاد کند و در نهایت منجر به تردتر شدن ماده گردد.

همچنین شکل 4 سطح شکست این نمونه را تحت بارگذاری خمشی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، سطح شکست الیاف بازالت به راحتی قابل مشاهده می‌باشد که تحت بارگذاری خمشی شکسته شده‌اند.

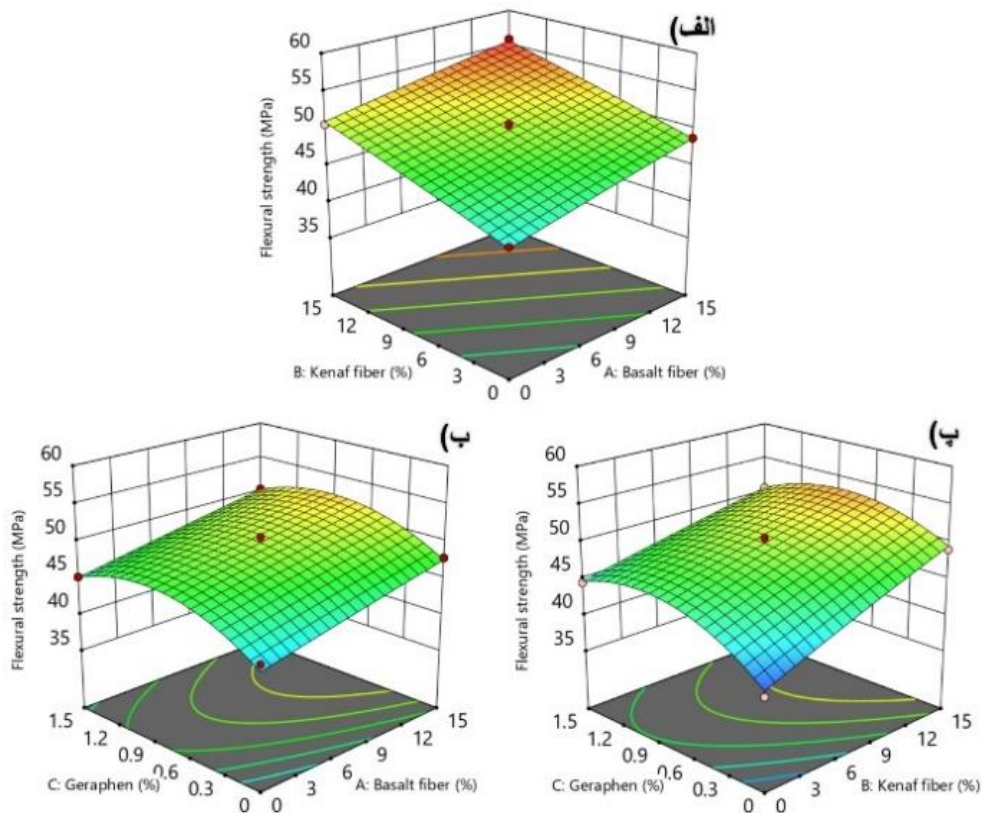


شکل 3 تأثیر الیاف بازالت، الیاف کنف و نانوصفحات گرافن بر استحکام خمشی



شکل 4 تصویر FE- SEM گرفته شده از نمونه شامل 0/75 درصد وزنی نانوصفحات گرافن، 15 درصد وزنی الیاف بازالت و 0 درصد وزنی الیاف کنف تحت بارگذاری خمشی

شکل 5 رویه‌های پاسخ مربوط به استحکام خمشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در رویه (الف) مشاهده می‌شود با ثابت ماندن درصد وزنی گرافن، افزایش درصد وزنی الیاف بازالت و افزایش درصد وزنی الیاف کنف باعث افزایش استحکام خمشی شده است. همچنین در رویه (ب) مشاهده می‌شود که با ثابت ماندن درصد وزنی الیاف کنف، افزایش درصد وزنی الیاف بازالت باعث افزایش استحکام خمشی و افزودن گرافن تا 0/75 درصد وزنی گرافن باعث افزایش و افزودن آن در درصدهای وزنی بالاتر باعث کاهش استحکام خمشی شده است. همان‌طور که در رویه (پ) مشاهده می‌شود، با ثابت ماندن درصد وزنی الیاف بازالت، افزایش درصد وزنی الیاف کنف باعث افزایش استحکام خمشی شده. همچنین افزودن درصد وزنی گرافن، استحکام خمشی را در ابتدا افزایش و سپس کاهش داده است.



شکل 5 رویه پاسخ استحکام خمشی در حالت‌های الف) نانوصفحات گرافن ثابت، ب) الیاف کنف ثابت و پ) الیاف بازالت ثابت.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این تحقیق، خواص خمشی نانوکامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف بازالت، الیاف کنف و نانو ذرات گرافن در زمینه پلی‌پروپیلن در محدوده‌ی 0 تا 1/5 درصد وزنی نانوصفحات گرافن، 0 تا 15 درصد وزنی الیاف بازالت و 0 تا 15 درصد وزنی الیاف کنف به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد حضور 0/75 درصد وزنی گرافن 12٪ استحکام خمشی را افزایش می‌دهد و در ادامه با افزایش ذرات نانو تا 1/5 درصد وزنی، 6 درصد استحکام خمشی کاهش یافت. افزایش 15 درصد وزنی الیاف بازالت، استحکام خمشی را 13٪ افزایش داد، همچنین افزایش 15 درصد وزنی الیاف کنف، استحکام خمشی را 18٪ افزایش داد.



مراجع:

- [1] V. K. Thakur, M. K. Thakur, and R. K. Gupta, "Rapid synthesis of graft copolymers from natural cellulose fibers," *Carbohydr. Polym.*, 2013, doi: 10.1016/j.carbpol.2013.06.072.
- [2] H. Yaghoobi and A. Fereidoon, "Thermal analysis, statistical predicting, and optimization of the flexural properties of natural fiber biocomposites using Box–Behnken experimental design," *J. Nat. Fibers*, vol. 16, no. 7, pp. 987–1005, Oct. 2019, doi: 10.1080/15440478.2018.1447416.
- [3] G. Qi, B. Zhang, and Y. Yu, "Research on carbon fiber/epoxy interfacial bonding characterization of transverse fiber bundle composites fabricated by different preparation processes: Effect of fiber volume fraction," *Polym. Test.*, vol. 52, pp. 150–156, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.polymertesting.2016.03.022.
- [4] T. YU, Y. LI, and J. REN, "Preparation and properties of short natural fiber reinforced poly(lactic acid) composites," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 19, pp. s651–s655, Dec. 2009, doi: 10.1016/S1003-6326(10)60126-4.
- [5] V. Lopresto, C. Leone, and I. De Iorio, "Mechanical characterisation of basalt fibre reinforced plastic," *Compos. Part B Eng.*, vol. 42, no. 4, pp. 717–723, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.compositesb.2011.01.030.
- [6] C. Colombo, L. Vergani, and M. Burman, "Static and fatigue characterisation of new basalt fibre reinforced composites," *Compos. Struct.*, 2012, doi: 10.1016/j.compstruct.2011.10.007.
- [7] N. Valentino, P. Furgiuele, F., & Gebbeken, "Mechanical characterization of basalt fibre reinforced plastic with different fabric reinforcements – Tensile tests and FE-calculations with representative volume elements (RVEs). Frattura ed Integrità Strutturale," *Fract. Struct. Integr.*, vol. 8, no. 28, pp. 1–11, 2013.
- [8] M. R. Nobile, G. P. Simon, O. Valentino, and M. Morcom, "Rheological and structure investigation of melt mixed multi-walled carbon nanotube/PE composites," 2007, doi: 10.1002/masy.200750110.
- [9] C. High, H. M. Seliem, A. El-Safty, and S. H. Rizkalla, "Use of basalt fibers for concrete structures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 96, pp. 37–46, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.138.
- [10] P. Song, Z. Cao, Y. Cai, L. Zhao, Z. Fang, and S. Fu, "Fabrication of exfoliated graphene-based polypropylene nanocomposites with enhanced mechanical and thermal properties," *Polymer (Guildf)*, vol. 52, no. 18, pp. 4001–4010, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.polymer.2011.06.045.
- [11] B. Yuan, C. Bao, L. Song, N. Hong, K. M. Liew, and Y. Hu, "Preparation of functionalized graphene oxide/polypropylene nanocomposite with significantly improved thermal stability and studies on the crystallization behavior and mechanical properties," *Chem. Eng. J.*, vol. 237, pp. 411–420, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.cej.2013.10.030.