

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 52(8) (2020) 533-536 DOI: 10.22060/mej.2019.15715.6197



An Experimental Investigation on Tensile and Impact Properties of Bagasse/Polypropylene Natural Composite

S. Yousefzadeh¹, M. Kashfi^{2*}, P. Kahhal², G.A. Ansari-asl³

¹ Department of Mechanical Engineering, Aligudarz Branch, Islamic Azad University, Aligudarz, Iran.

² Department of Mechanical Engineering, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran

³ Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ABSTRACT: Sugarcane bagasse is one of the most abundant types of natural fibers which can be utilized to fabricate natural composite materials. Since bagasse is one of the wastes of Khuzestan province sugarcane factories, recycling might be an opportunity to enjoy its economic and environmental benefits. In the present study, the mechanical and microstructural properties of Bagasse/Polypropylene natural composite fabricated by the injection molding method were investigated. Bagasse fibers after the drying process were mixed up to polypropylene with 10, 30, 40 and 50% weight fraction of bagasse. In order to investigate the mechanical properties, experimental tests consist of tensile test and Charpy impact tests were carried out. The results showed that the maximum material strength was obtained from the sample made of 40% weight fraction of bagasse. The strength of 40% bagasse was found about 10% more than 50% bagasse. The microstructural analysis indicated that the failure mechanism of 40% bagasse was mainly affected by fiber breakage. However, the main failure mechanism of 50% bagasse was changed to fiber pull out. Additionally, impact absorbed energy was significantly decreased by increasing the bagasse weight fraction.

Review History:

Received: 2019/02/03 Revised: 2019/03/24 Accepted: 2019/05/05 Available Online: 2019/05/15

Keywords: Natural fibers Sugarcane Bagasse Polypropylene Mechanical properties Injection molding

1-Introduction

The major advantages of wood-plastic composites could be considered as the low fabrication cost and high mechanical strength [1]. Several sources of wood pulp are available. Sugarcane bagasse is one of the most abundant types of natural fibers which can be utilized to fabricate natural composite materials.

Kuriakose et. al. [2] investigated the impact resistance of notched specimens made of natural fibrous composite. They found that fiber surface treatment is enhanced the impact resistance up to 51% compared with virgin material. Kazemi Najafi et. al. [3] studied the mechanical properties of a natural composite made of pericarp and plastic. The results showed that the improvement in tensile strength of the fabricated specimen made of recycled plastics is negligible. Samariha et. al. [4] reported the mechanical properties of bagasse natural composite. They found that by increasing the bagasse mass fraction percentage (wt%), the tensile strength is improved, while the impact of energy absorption is reduced.

In the present study, the mechanical properties of bagasse/ polypropylene natural composite are investigated experimentally using the injection molding method. The specimens are fabricated at four bagasse weight percent levels. Eventually, tensile strength, failure strain and impact resistance of prepared specimens are studied.

*Corresponding author's email: m.kashfi@abru.ac.ir

2- Methodology

A granule shape polypropylene was utilized as a composite matrix material to fabricate the specimens. Bagasse was obtained from Karoon sugar cane industry. The fresh bagasse was first placed at 40 ° C near fresh air for 5 days. It was then moved to the oven at 70 °C to cure for 24 hours.

In order to investigate the effect of different bagasse wt% on specimen tensile strength and impact resistance, the mixture of bagasse/polypropylene was prepaid at 4 levels. Moreover, 3 grams of pigment was added to the mixture using in a highspeed mixer. Next, the prepared specimens were transformed into granules using an extrusion machine.

ASTM D638 and ASTM D6110 standards were employed to prepare test samples needed for tensile strength and impact resistance experiments. Double-cavities injection mold was utilized to ensure that the same environmental conditions of tensile and impact specimens were achieved. A unique code was assigned to each specimen based on its wt% composition as shown in Table 1.

Table 1: Specimen codes used in experiments

Description	Defined code		
10% weight bagasse	PP0/B0		
30% weight bagasse	PP1/B1		
40% weight bagasse	PP2/B2		
50% weight bagasse	PP3/B3		



Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://mej.aut.ac.ir/article_3435.html.

3- Experiments

A tensile test was carried out using Santam tensile test machine in accordance with ASTM-D638 standard. The major differences are determined for the failure strength and strain of specimens.

The 7045-GTMPX machine and ASTM-D6110 standard were utilized to perform the impact test. According to the standard, required specimens for this test were prepaid in a rectangular shape in the dimensions of 126×12.6 mm. Since the fabricated specimens were produced without notch, according to ASTM-D6110, a V-shape notch with 45-degree opening and depth of 2.54 mm was milled at the center of specimens.

4- Results and Discussion

4-1-Tensile strength

The results of the quasi-static tensile test are shown in Fig. 1. As the figure illustrates, the highest strength is related to PP2/B2 code. The strength of this specimen was improved by 3.9%, 8.47%, and 14.9% compared with PP0/B0, PP1/B1, and PP3/B3 codes, respectively.

By increasing the bagasse wt%, two factors play an important role in the mechanical properties of specimens. The first factor is bagasse wt%. As Fig. 1 shows, by increasing the reinforced phase (bagasse) the overall tensile strength of the fabricated composite is improved [5]. However, the increase of bagasse wt% has increased the possibility of material defect during the fabrication process. Additionally, the bonding between matrix and the reinforcing phase is reduced [6].

As shown in Fig. 2, by increasing the bagasse wt%, the fracture strain is decreased. If wt% is increased more than 10%, the amount of fracture strain is significantly reduced (from 25% to 20%). As the results demonstrate, up to 50 wt% of bagasse, the fracture strain remains unchanged near 20% with the reasonable approximation.

4-2-Specimen absorbed energy up to failure

The absorbed energy of the specimen up to failure is shown in Fig. 3. As it is seen, PP0/B0 specimen shows the highest energy absorption compared with other specimens.

By increasing bagasse wt% from 10 to 50, the impact resistance is reduced by 11.33%. As it is seen, the decreasing trend is significantly increased from 10 to 20 wt%, while from 20 to 50 wt%, the reduction trend is slightly decreased.







Fig. 2: The influence of bagasse weight percentage on the specimen fracture strain



Fig. 3: The influence of bagasse weight percentage on the specimen absorbed impact energy

4-3-Microstructural observations

It is observed that PP3/B3 contains more cavities compared with other specimens. Due to the high percentage of bagasse, the failure mechanism of bagasse fibers is transformed from fiber breakage to fiber pull out which is reduced the material strength and impact resistance.

5- Conclusion

The findings of this work can be summarized as follows:

1. Results showed that by increasing bagasse up to 30 wt% the tensile strength is reduced.

2. The impact resistance is significantly reduced by increasing more than 30 wt%

3. Microstructural observations show that from 40 to 50 wt% the failure mechanism of the composite is changed from fiber breakage to fiber pull out.

6- References

- [1] A. Arbelaiz, B. Fernandez, G. Cantero, R. Llano-Ponte, A. Valea, I. Mondragon, Mechanical properties of flax fibre/polypropylene composites. Influence of fibre/matrix modification and glass fibre hybridization, Composites Part A: applied science and manufacturing, 36(12) (2005) 1637-1644
- [2] S. Kuriakose, D. Varma, V. Vaisakh, Mechanical behaviour of coir reinforced polyester composites—an experimental investigation, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2(12) (2012) 751-757

- [3] S. Kazemi Najafi, E. Hamidinia, M. Tajvidi, Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics, Journal of Applied Polymer Science, 100(5) (2006) 3641-3645
- [4] A. Samariha, A. Bastani, M. Nemati, M. Kiaei, H. Nosrati, M. Farsi, Investigation of the mechanical properties of bagasse flour/polypropylene composites, Mechanics of Composite Materials, 49(4) (2013) 447-454
- [5] G.H. Majzoobi, M. Kashfi, N. Bonora, G. Iannitti, A. Ruggiero, E. Khademi, A new constitutive bulk material model to predict

the uniaxial tensile nonlinear behavior of fiber metal laminates, The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 53(1) (2018) 26-35

[6] M.Á. Hidalgo-Salazar, F. Luna-Vera, J.P. Correa-Aguirre, Biocomposites from Colombian Sugar Cane Bagasse with Polypropylene: Mechanical, Thermal and Viscoelastic Properties, in: Characterizations of Some Composite Materials, IntechOpen, 2018. This page intentionally left blank

نشريه مهندسي مكانيك اميركبير



نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۲، شماره ۸، سال ۱۳۹۹، صفحات ۲۱۴۹ تا ۲۱۶۰ DOI: 10.22060/mej.2019.15715.6197

بررسی تجربی خواص مکانیکی و میکروساختار کامپوزیت تولید شده با الیاف طبیعی باگاس/يلي پروييلن

شهروز یوسفزاده'، محمد کشفی ً*، پرویز کحال ٔ و غلامعباس انصاری اصل ً

· دانشکده فنی و مهندسی، واحد الیگودرز، دانشگاه آزاد اسلامی، الیگودرز، ایران ^۲ دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آیت ا... بروجردی، بروجرد، ایران ۳ دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاريخچه داوري: دریافت: ۱۳۹۷–۱۳۹۷ بازنگری: ۲۴–۱۳۹۸ پذیرش: ۱۳۹۸-۰۲-۱۳۹۸ ارائه آنلاین: ۲۵-۲۰-۱۳۹۸

خلاصه: باگاس نیشکر یکی از فراوان ترین انواع الیاف طبیعی است که می توان در ساخت کامپوزیت ها از آن استفاده نمود. از آن جا که باگاس یکی از پسماندهای کارخانههای نیشکر است، استفاده از آن در منطقه خوزستان به دلیل فراوانی میتواند نهتنها صرفه اقتصادی به دنبال داشته باشد بلکه میتوان بهعنوان مادهای سازگار با محیطزیست از آن بهره برد. در این پژوهش خواص مکانیکی و میکروساختار کامپوزیت تولید شده از الیاف باگاس نیشکر و پلیمر پلیپروپیلن به روش قالب گیری تزریقی به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. الیاف با گاس مورد استفاده در نمونه ها به صورت پودر كلمات كليدى: خشک و در چهار سطح ۱۰، ۴۰،۳۰ و ۵۰ درصد وزنی بهعنوان فاز تقویت کننده به پلی پرو پیلن اضافه شدند. جهت بررسی الياف طبيعي خواص مکانیکی، آزمایش کشش و مقاومت در برابر ضربه بر روی نمونهها با رعایت تکرارپذیری صورت گرفت. نتایج نشان باگاس نیشکر داد که ۴۰ درصد وزنی باگاس بهترین استحکام را در ترکیب با پلیپروپیلن به همراه دارد. همچنین، افزودن باگاس بیش پلىپروپيلن از ۳۰ درصد وزنی منجر به کاهش محسوس مقاومت به ضربه و کرنش شکست نمونهها می گردد. با مقایسه و بررسی خواص مكانيكي آزمایش میکرو ساختاری از سطح شکست نمونههای دارای ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی باگاس مشاهده شد که سازوکار خرابی قالبگیری تزریقی کامپوزیت از شکست به بیرون کشیدگی الیاف تغییر کرده است. این موضوع منجر به افزایش استحکام نمونه دارای ۴۰ در صد وزنی نسبت به ۵۰ درصد وزنی باگاس شده است.

۱- مقدمه

امروزه استفاده بیرویه از پلاستیکها و به وجود آمدن بحرانهای زیستمحیطی مجامع جهانی را به این فکر انداخته است تا به کمک پژوهشهای نوین جهت مهار کردن خسارات وارده به محیطزیست، برداشت بیرویه از منابع طبیعی و کاستن از حجم آلودگیها اقدام نمایند. به همین دلیل تلاشهای گستردهای در جهت بازیافت پلاستیکهای مصرفی و کاربرد مجدد آن بهمنظور جلوگیری از صدمات بیشتر به محیطزیست انجام شده است [۳–۱]. از سوی دیگر چوب بهعنوان ماده اصلی در تهیه مبلمان، دکوراسیون داخلی، بناهای صنعتی و ساختمانها مورد استفاده قرار میگیرد و افزایش تقاضا در دنیا زمینه کمبود آن را فراهم آورده است. بنابراین نیاز فوری برای جایگزینی آن با مادهای مشابه و رقابت پذیر وجود دارد.

* نویسنده عهدهدار مکاتبات: m.kashfi@abru.ac.ir

كامپوزيت چوب-پلاستيك' متشكل از مخلوط چوبي بهصورت پودر یا ذرههای لیفی و رزین گرماسخت یا گرمانرم میباشد [۴]. از جمله مزایای کامپوزیتهای چوب-پلاستیک میتوان به قیمت پایین، سفتی و مقاومت بالا و تجدید پذیری الیاف اشاره نمود. در کاربردهای كامپوزيت چوب-پلاستيک خواص مكانيكي از جمله سختي، كشش، مقاومت به ضربه، چگالی و رنگ مهمترین فاکتورهای موردتوجه میباشد [۵]. برای تهیه پودر چوب از منابع مختلفی میتوان استفاده نمود که یکی از آنها باگاس نیشکر ۲ است. باگاس، تفاله نیشکر است که پس از عصاره گیری به صورت پسماند الیافی ذخیره می شود. سپس، این تفاله خشک فشرده شده و به قطعات ریز تبدیل می شود. استفاده از باگاس نیشکر در منطقه خوزستان به دلیل فراوانی دورنمای اقتصادی مناسبی را دارد. اگرچه اضافه کردن ذرات چوب به زمینههای پلیمری

- Wood-Plastic Composites (WPC)
- 2 Bagasse sugarcane

(Creative Commons License) حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

مزایای زیادی دارد، بااینوجود نوع و درصد ترکیب ذرات چوب بر خواص مکانیکی و شرایط فرایند تأثیر قابل توجهی خواهد داشت [۶]. این گونه کامپوزیتها به دو دسته متفاوت تقسیم میشوند. دسته اول مونومر به درون چوب تزریق شده و قطعه تولید شده دارای ظاهری مشابه چوب خواهد داشت. این مواد در مقایسه با چوب ثبات ابعادی بیشتر و خواص مکانیکی بهتری را از خود نشان میدهند. دسته دوم از مخلوط کردن مذاب پلیمرهای گرمانرم و چوب تهیه میشود که ماده حاصل بیشتر شبیه پلاستیک بوده و در گروه پلاستیکهای تقویت شده طبقهبندی میشود [۲].

خادمی و همکاران [۸] به بررسی اثر اصلاح شیمیایی باگاس بر خواص مکانیکی کامپوزیتها حاصل از باگاس اصلاح شده و پلیاتیلن پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار باگاس مقاومت کششی نمونهها بهطور معنى داري افزايش مي يابد. كورياكس و همكاران [٩] به بررسی مقاومت به ضربه نمونههای چاکدار پرداختند. نامبردگان دریافتند که اصلاح قلیایی الیاف موجب افزایش ۵۱ درصدی مقاومت به ضربه نسبت به كامپوزیت پرشده با الیاف اصلاحنشده شده است. سرکویرا^۲ و همکاران [۱۰] به بررسی رفتار مکانیکی پلیپروپیلن^۳ تقويت شده با الياف اصلاح شده باگاس پرداختند. نتايج اين تحقيق نشان داد که تیمارهای شیمیایی اثر بسزایی در کاهش جذب رطوبت الياف باگاس داشته و در نهايت منجر به بهبود خواص مكانيكي کامیوزیت شده است. نوربخش [۱۱] به بررسی استفاده از دو نوع پلیمر ضایعاتی و الیاف باگاس در ساخت چندسازه چوب پلاستیک پرداخت. وی گزارش داد که اثرات مستقل درصد باگاس بر مقاومت به ضربه در سطح ۵ درصد معنی دار شده است. کاظمی نجفی و همکاران [۱۲] به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیتها ساخته شده از خاکاره و پلاستیک پرداختند. نتایج نشان داد که مقاومت در برابر کشش و ضربه قطعات ساخته شده از پلاستیکهای بازیافتی در مقایسه با قطعاتی که از پلاستیکهای تازه ساخته شدهاند، ناچیز است. ثمریها و همکاران [۱۳] به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت تولید شده از پودر باگاس پرداختند. نامبردگان گزارش نمودند که با افزایش درصد باگاس مقاومت کششی افزایش و جذب انرژی کاهش می یابد. انگونو

و همکاران [۱۴] به بررسی تغییر شکلهای ماندگار در کامپوزیتهای ساخته شده از باگاس پرداختند. نامبردگان گزارش نمودند که افزودن باگاس علیرغم افزایش سفتی کامپوزیت، تغییر شکلهای ماندگار آن را بهشدت کاهش میدهد. لیلا^م و همکاران [۱۵] به بررسی اثر بازیافت مکانیکی بر خواص کامپوزیت ساخته شده از باگاس پرداختند و دریافتند که تا پنج محله بازیافت، تغییر محسوسی در خواص مکانیکی کامپوزیت مورد مطالعه حاصل نشده است.

در این پژوهش استحکام کششی و مقاومت به ضربه قطعات ساخته شده از الیاف باگاس نیشکر و پلیمر پلیپروپیلن به روش قالبگیری تزریقی بهصورت تجربی موردبررسی قرار گرفته است. الیاف باگاس مورد استفاده در قطعات ترکیبی بهصورت پودر خشک و در چهار سطح ۱۰، ۲۰،۳۰ و ۵۰ درصد وزنی بهعنوان عوامل متغیر در نظر گرفته شده است. سپس، نمونهها با استفاده از روش قالبگیری تزریقی تهیه شده و استحکام کششی، کرنش شکست و مقاومت به ضربه آنها مطالعه خواهد شد.

۲- مواد و ساخت نمونهها

جهت توليد نمونهها از پلي پروپيلن گريد تزريقي به صورت گرانول و تولید شده توسط پتروشیمی مارون با نام تجاری XT·S استفاده شد. شایانذکر است دلیل استفاده از پلیپروپیلن مقاوم بودن آن در برابر رطوبت، روغنها و حلالهای معمولی است. همچنین، پلی پروپیلن، یلیمری نسبتاً سخت، دارای نقطه ذوب بالا، چگالی کم و مقاومت به ضربه مناسب است [۱۶]. باگاس خام مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه کشت و صنعت نیشکر کارون تهیه شده است. باگاس تازه ابتدا جهت رطوبت گیری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و در مجاورت هوای آزاد به مدت ۵ روز قرار گرفت. سپس، جهت اتمام فرایند به آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت منتقل شد. در نهایت باگاس خشک شده آسیاب، با الک مش ۵۰ میکرون غربال و در ظروف در بسته اختلاط با پلیمر موردنظر نگهداری شد. آبدوست بودن چوب و آبگريز بودن سطح پليمر باعث چسبندگي ضعيف بين سطح چوب و پلیمر می گردد. این امر موجب توزیع نامناسب و غیریکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه می شود. لذا برای برطرف کردن این نقیصه از انیدرید مالئیک ٔ بهعنوان سازگار کننده استفاده شد [۱۷].

¹ Kuriakose

² Cerqueira

³ Polypropylene (PP)

⁴ Anggono

⁵ Lila

⁶ Maleic Anhydride Modified Polypropylene



شکل ۱ : (الف) خروج مواد از روزنه دستگاه تزریق، (ب) خشک کردن آنها در هوای آزاد و (ج) گرانول تولید شده Fig. 1. (a) Extruded material, (b) Dried material at room temperature and (c) granule material

rabic 1. injection moraling properties					
مقدار	واحد	متغير واحد			
مشکی	-	رنگدانه			
17.	زمان تزريق ثانيه				
۶.	ثانيه	زمان خنک کاری			
۲۳	میلیمتر بر ثانیه	سرعت تزريق			
٩۵	مگاپاسکال	فشار تزريق			
۱۸۰	درجه سلسيوس	میانگین دمای تزریق گرمکن اول			
۱۹۰	درجه سلسيوس	میانگین دمای تزریق گرمکن دوم			
۱۹۵	درجه سلسيوس	میانگین دمای تزریق گرمکن سوم			
۲۰۵	درجه سلسيوس	میانگین دمای تزریق گرمکن چهارم			

جدول ۱ : مشخصههای قالبگیری تزریقی Table 1. Injection molding properties

بهمنظور بررسی اثر نسبتهای وزنی مختلف بر استحکام کششی و مقاومت به ضربه کامپوزیت تولید شده، نمونههای باگاس/پلی پروپیلن با نسبتهای ۹۰/۱۰، ۹۰/۲۰، ۶۰/۴۰ و ۵۰/۵۰ همراه با ۳ درصد وزنی سازگار کننده و ۳ گرم رنگدانه در مخلوط کن دور بالا تهیه گردید. سپس، نمونههای آمادهشده در مرحله قبل با استفاده از دستگاه اکستروژن به گرانول تبدیل شدند. برای این منظور همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، ابتدا مخلوط موردنظر از نازل تزریق اکستروژن خارج و به رشتههای کوتاه تبدیل شد. سپس، رشتهها بهوسیله دستگاه آسیاب خرد و به گرانول تبدیل شد. بعد از گرانول شدن و قبل از تزریق جهت رطوبت گیری نهایی مواد، نمونهها به مدت ۸ ساعت در دمای ۹۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند.

جدول ۲: کدگذاری نمونههای تولید شده جهت انجام آزمایشها Table 2. Specimen codes used in experiments

توضيحات	کد تعریف شدہ		
۱۰ ٪ وزنی باگاس	PP•/B•		
۳۰ ٪ وزنی باگاس	PP1/B1		
۴۰ ٪ وزنی باگاس	PP7 / B7		
۵۰ ٪ وزنی باگاس	PP ٣ / B ٣		

جهت تولید نمونههای مورد نیاز برای آزمایشهای استحکام کششی و مقاومت به ضربه به ترتیب بر اساس استاندارهایASTM و ۶۳۸D و ۶۱۱۰ASTM از دستگاه قالب گیری تزریق پلاستیک مدل ۸HXF با ظرفیت تزریق ۱۴۰ گرم و نیروی گیره ۸۸ تن استفاده شد. این دستگاه به صورت نیمه خودکار بوده و اکثر پارامترهای تزریق مانند دمای تزریق، فشار تزریق، فشار نگهداری، سرعت تزریق، زمان تزریق و زمان نگهداری قابل کنترل میباشند. همچنین، جهت یکسان کردن کلیه شرایط نمونههای کشش و ضربه، از قالب تزریق دو حفره نمونههای آزمایشگاهی را نشان میدهد. به منظور سهولت در بررسی نمونههای آزمایشگاهی را نشان میدهد. به منظور سهولت در بررسی نمونههای آزمایشگاهی را نشان میدهد. به منظور سهولت در بررسی مونه ها بر اساس درصد وزنی اختلاط به هر نمونه یک کد اختصاص داده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین، شکل ۲، مشاهده میشود نمونه کشش و ضربه برای هر درصد وزنی هم زمان مشاهده میشود نمونه کشش و ضربه برای هر درصد وزنی هم زمان



PP7 / B۳ و PP7 / B۲ ، PP1 / B۱ ، PP• / B• (راست به چپ: ۹۰ B۳ و PP7 / B۲ و PP7 / B۲ و Fig. 2. Fabricated specimens. From right to left PP0/B0, PP1/B1, PP2/B2 and PP3/B3



شکل ۴ نمودار تنش-کرنش مهندسی نمونههای PP۱/B۱، PP۰/B۰، PP۳/B۱، PP۰/B۱، PP۳/B۱



تنش-کرنش مهندسی برای مقدار میانگین نمونههای هر درصد وزنی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود بیشترین اختلافها مربوط به استحکام و کرنش شکست نمونهها



شکل ۳: نمونه کشش در بین فکهای دستگاه Fig. 3. Gripped specimen during tensile test

۳– آزمایشها ۳–۱– آزمایش کشش

آزمایش کشش با استفاده از دستگاه کشش سنتام با ظرفیت حداکثر ۱۵ تن مطابق با استانداردASTM-D۶۳۸ انجام شد. شکل ۳ نمایی از نمونه قرار گرفته شده در گیرههای دستگاه کشش را نشان میدهد. بهمنظور اطمینان از عدم لغزش نمونهها از گیرههای گوهای شکل با نیرومحرکه پنوماتیکی بهره برده شد. همچنین، نمودار



شکل ۵: ابعاد نمونه شیار زده شده و محل قرارگیری آن در دستگاه آزمایش ضربه Fig. 5. The dimension of notched specimen and their position during impact test

است. درصورتی که مدول الاستیسیته را با تقریب خوبی می توان ثابت در نظر گرفت.

۲-۳- آزمایش مقاومت در برابر ضربه

برای انجام آزمون ضربه از دستگاه مدل GTMPX-۷۰۴۵ و استاندارد ASTM-۶۱۱۰D استفاده شد. طبق استاندارد نمونههای موردنیاز برای این آزمایش بهصورت مستطیلی و در ابعاد ۱۲۶ میلیمتر در ۱۲/۶ میلیمتر تهیه شدند. از آنجاکه قطعات تولید شده فاقد شیار بوده، لذا پس از تولید طبق استاندارد ۶۱۱۰ ASTM-D شیاری با زاویه رأس ۴۵ درجه و عمق ۲/۵۴ میلیمتر در مرکز نمونهها ایجاد شد. با استفاده از این آزمایش میتوان انرژی جذب شده توسط نمونه تا شکست را به دست آورد. این انرژی در ارتباط با سطح زیر نمودار تنش-کرنش تا شکست (چقرمگی) نیز میباشد که در رابطه (۱) بیان شده است.

$$\frac{\text{energy}}{\text{volume}} = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \tag{1}$$

که در آن، \mathcal{F} کرنش، \mathcal{F}_{f} کرنش در زمان شکست و σ تنش هستند. پس از جایگذاری واحدهای هر کدام از متغیرهای رابطه اخیر، دیمانسیون انتگرال فوق انرژی بر واحد حجم ($J.m^{-\pi}$) حاصل

می گردد [۱۸ و ۱۹]. دستگاه مورد استفاده، شرایط تکیه گاهی و نقشه نمونه آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است.

۴- بحث و نتایج

در این بخش نتایج مربوط به آزمایشهای خواص مکانیکی شامل استحکام کششی و مقاومت به ضربه بررسی میشود به ازای درصدهای مختلف باگاس در بستر پلیپروپیلن موردبحث قرار میگیرد. همچنین، جهت بیان علل و بررسی ساختاری، میکرو ساختار نمونهها نیز بررسی شده است. برای هر کدام از چهار کد تولیدی، بر طبق استاندارد ۲۱–۸۳ مراک هر کدام از چهار کد تولیدی، بر مونه آزمایش جهت بررسی تکرارپذیری نتایج انجام شده است. سپس، برای هر نمونه مقدار میانگین و همچنین انحراف استاندار نتایج به صورت نوار خطا در نمودارهای بیان شده است.

۱-۴- بررسی استحکام کشش نمونهها

نتایج مستخرج از آزمایش کشش شبه استاتیکی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل قابل ملاحظه است، بیشترین استحکام مربوط به کد PP۲/B۲ یعنی ترکیب پلی پروپیلن با ۴۰ درصد وزنی باگاس است. مقدار استحکام این نمونه به ترتیب ۳/۹،



تسکل ۲: انر درصد وزنی بر استخکام دسسی موندهای تولید سده Fig. 6. The influence of bagasse weight percentage on the specimen ultimate stress

۸/۴۷ و ۹/۱۴ درصد در مقایسه با کدهای PP۰/ B۱ ، PP۰/ B۰، PP۱/ B۱، ۹۲/ ۹۲، ۸/۴۷

با مقایســه مقادیر موجود در شکل ۶ ملاحظه می شود کـه استفاده از باگاس تا ۳۰ درصد سبب کاهش استحکام کششی به میزان ۷/۸ درصد نسبت به نمونه حاوی ۱۰ در صدر وزنی باگاس شده است. همچنین، با افزایش باگاس به ۴۰ درصد وزنی، افزایش استحکام کششی مشاهده می شود. این در حالی است که با افزایش بیشتر باگاس تا سقف ۵۰ درصد وزنی روند نزولی در مقدار استحکام کششی حاصل شده است. با افزایش باگاس دو عامل در روند خواص مكانيكي كاميوزيت به وجود خواهد آمد. مورد اول با افزایش درصد فاز تقویت کننده خواص کششی بیشتر می شود [۲۰]، بهعبارتديگر هرچه درصد باگاس بيشتر باشد استحكام نيز افزايش یابد. در حالی که افزایش باگاس منجر به کاهش پیوند بین فاز زمینه و تقویت کننده نیز خواهد شد [۲۱]. از سوی دیگر با افزایش درصد باگاس احتمال بروز انواع خرابی در نمونهها افزایش و درنتیجه روند کاهشی در استحکام مشاهده می شود. از آن جا که دو روند افزایشی و كاهشى اشاره شده غيرخطى هستند، بنابراين درصد بهينه باگاس بر طبق آزمایش کشش صورت گرفته ۴۰ درصد به دست می آید. روند بهدستآمده در تطابق بسیاری خوبی با دیگر پژوهشهای



specimen fracture strain

انجام شده در این زمینه است [۱۴ و ۲۲].

همان گونه که در شکل ۷ مشاهده می شود با افزایش درصد باگاس کرنش شکست کاهش می یابد. با افزایش بیش از ۱۰ درصد وزنى باگاس مقدار كرنش شكست بهطور محسوسي كاهش مىيابد. این در حالی است که بعد از ۱۰ تا ۵۰ درصد وزنی باگاس روند کاهشی اندک میباشد و با تقریب خوبی میتوان مقدار آن را ثابت در نظر گرفت. دلیل این پدیده آن است که با افزایش درصد فاز تقویت کننده که طبیعتاً ترد است، رفتار کلی ماده رو به تردی خواهد گذاشت [۲۳]، در نتیجه کرنش شکست کاهش مییابد. از سوی دیگر احتمال بروز حفره و دیگر عیوب ساختاری با افزایش درصد تقویت کننده رو به افزایش می گذارد که همین امر بستر را برای کاهش بیشتر کرنش شکست فراهم میکند. نکته مهم دیگر آن است که با افزایش درصد فاز تقویت کننده در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی تغییرات محسوسی در کرنش شکست مشاهده نمی شود. به عبارت دیگر می توان به راحتی از نمونه کد PPr / B۲ که دارای بیشترین استحکام است، استفاده نمود. عدم حساسیت کرنش شکست کامپوزیت تولید شده در درصدهای بالای باگاس یکی از نقاط قوت محسوب می شود که منجر به شکل پذیری بهتر آن خواهد شد.

۲-۴- بررسی انرژی جذبشده نمونه تا شکست

استحکام ضربه، مقاومت در برابر شکست و شروع ترک در نقاط ضعیف کامپوزیت است که این نقاط اغلب محل اتصال مواد لیگنوسلولزی^۱ و زمینه پلیمری است که مقدار آن با انرژی تلف شده توسط پاندول دستگاه آزمایش ضربه مشخص میشود [۲۴]. جهت بررسی انرژی جذب شده نمونه تا شکست (چقرمگی) و همچنین مطالعه اثر درصد باگاس بر روی آن، نتایج انرژی جذب شده در نمودار شکل ۸ ارائه شده است. همان گونه که از مشاهده میشود، نمونه DP۰/B۰ که تنها دارای ۱۰ وزنی باگاس است در مقایسه با دیگر نمونهها دارای بالاترین انرژی جذب شده (استحکام ضربهای) است.

با افزایش باگاس از ۱۰ تا ۵۰ درصد وزنی، مقاومت به ضربه ۱۱/۳۲ درصد کاهش مییابد. همانگونه که مشاهده میشود روند کاهشی بهشدت از ۱۰ به ۲۰ درصد وزنی رخ داده است، درحالی که از ۱۰ تا ۵۰ درصد وزنی روند کاهشی بهصورت ملایم ملاحظه میشود. این موضوع میتواند دلایل گوناگونی داشته باشد از جمله آنکه الیاف سلولوزی به علت عدم چسبندگی با فاز زمینه، نقاطی با تمرکز تنش زیاد تولید میکنند [۲۵]. به دلیل ضعف این نقاط، ترکها از نوک الیاف شروع به گسترش میکنند. با افزایش درصد الیاف احتمال بروز و گسترش این ترکها افزایش مییابد. بنابراین، مقاومت در برابر ضربه همانگونه که در شکل ۸ نیز مشاهده میشود در تقابل با درصد الیاف، روند کاهشی را نشان میدهد.

از آنجا که مقاومت ضربه ای متأثر از سطح زیر منحنی تنش – کرنش است، بنابراین کرنش شکست می تواند نقش پررنگی در مقدار آن داشته باشد. بنابراین علی رغم آنکه نمونه PP۲/B۲ بیشترین استحکام را دارا است، به دلیل کمتر بودن کرنش شکست مقاومت پایین تری در برابر ضربه دارد. باید این نکته را مدنظر داشت که در طی فرایند ضربه به دلیل افزایش نرخ کرنش بارگذاری پلی پروپیلن به کاررفته در کامپوزیت رفتار تردتری را از خود نشان می دهد [۲۶].

به منظور مقایسه هر چه بهتر نتایج و مشاهده اثر افزایش درصد وزنی باگاس بر خواص مکانیکی کامپوزیت تولید شده جدول ۳ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می شود در این جدول، اثر افزایش درصد وزنی باگاس بر استحکام کششی، کرنش شکست و انرژی جذب شده تا شکست مقایسه شده است.



Fig. 8. The influence of bagasse weight percentage on the specimen absorbed impact energy

۳–۴– بررسی میکرو ساختاری

بعد از آزمایش ضربه سطح شکست نمونهها با طلا پوشش داده شد و بهوسیله میکروسکوپ روبشی^۲ مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر مقاطع شکست نمونهها با درصدهای وزنی باگاس ۱۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ در شکل ۹ نشان داده شده است. همانگونه که شکل نشان میدهد نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی باگاس، حفرههای کمتر و سطح هموارتری نسبت به دیگر ترکیبها دارد. همین امر منجر شده است که در آزمایشهای انجام شده انرژی بیشتری طی شکست ضربه در مقایسه با دیگر نمونهها جذب کند و مقاومت به ضربه بیشتری را از خود نشان دهد (رابطه (۱).

نمونه با ترکیب ۵۰ درصد وزنی باگاس در مقایسه با دیگر نمونهها دارای حفرههای زیادتری می باشد. این موضوع نشان از چسبندگی کم بین الیاف باگاس و پلی پروپیلن است که می تواند ناشی از اختلاط ناقص مواد و کلوخهای شدن آنها باشد. از سوی دیگر به دلیل درصد بالای باگاس مکانیسم خرابی الیاف باگاس جدا شدن (بیرون کشیدگی^۳) الیاف از فاز زمینه است که به شدت منجر به کاهش استحکام و مقاومت ضربه می شود که همین موضوع در مورد اضافه

¹ Lignocellulosic

² Scanning Electron Microscope (SEM)

³ Fiber pull out

جدول ۳ مقایسه استحکام کششی، کرنش شکست و انرژی جذب شده تا شکست بر حسب افزایش درصد وزنی باگاس Table 3. The comparison between ultimate stress, fracture strain and absorbed energy at different Bagasse weight percent

انرژی جذب شده تا شکست (kJ.m ^{-۲})		کرنش شکست (٪)		استحکام کششی (MPa)		
درصد تغییرات نسبت به کد PP۰ / B۰	مقدار	درصد تغییرات نسبت به کد ۹۰ PP۰ / B۰	مقدار	درصد تغییرات نسبت به کد PP۰ / B۰	مقدار	
•	۱۸٬۸۱	•	26,88	•	۲۰/۱۸	PP•/B•
-70,9458	14,14	-19,0129	70,14	-4, • 584	19/88	PP1/B1
-74,8148	14,11	-71,1.98	19,57	4,.984	۲۱/۰۰	PPt / Bt
-77,7777	18,98	-26,6222	۱۸,۷۸	-0,40.9	۱۹/۰۸	PPr / Br





100µm EHT = 18.00 kV Shahid Chamran University of Ahvaz Zone Mag = 200 X H*D = 8 mm





نمودن پودر چوب نیز مشاهده شده است [۱۴]. همچنین، میتوان استدلال نمود که حجم بالای حفرهها میتواند محل باگاسهایی باشد که در زمینه مواد پلیمری قرار داشته ولی در اثر وارد شدن ضربه از جای خود کنده شدهاند. بنابراین همانطور که نتایج آزمایشگاهی نیز تصدیق میکند، نمونه ۵۰ درصد وزنی باگاس ۲۷ درصد مقاومت به ضربه کمتری نسبت به نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی باگاس دارد. همچنین، مشاهده میشود که با افزایش درصد باگاس، در اطراف الیاف گسیختگی پلیپروپیلن به صورت ترد رخ داده است. همین امر منجر به کاهش کرنش شکست نمونهها شده است. مشاهدهها این بخش کاملاً مطابق با پژوهش لوز^۱ [۲۷] میباشد.

هر چه درصد باگاس افزایش یابد عیوب زیر ساختاری شامل به دام افتادگی هوا و حبابهای حاصل از بخارات کمتر می شود. این امر به دلیل خروج گازهای حاصل از طریق سطح مشترک بین پلیمر و باگاس می باشد. به عبارت دیگر با افزایش درصد باگاس سطح مشترک بین باگاس و پلی پروپیلن زیادتر می شود و مسیرهای خروج گاز از کامپوزیت افزایش می یابد. بنابراین عیوب حاصل از به دام افتادن هوا کمتر می شوند.

با مشاهده روند تغييرات سطح شكست نمونه مىتوان مشاهده نمود که با فزایش درصد باگاس چگالی سطحی زمینه در مقطع شکست کاهش مییابد که منجر به ترد شدن نمونه می گردد. درحالی که در نمونه دارای ۱۰ درصد وزنی باگاس سطح مقطع شکست چگالی سطحی بیشتر از پلیپروپیلن دارد که به دلیل ماهیت نرم آن منجر به افزایش کرنش شکست شده است. منظور از چگالی سطحی، درصد سطح اشغال شده فاز زمینه از کل سطح کامپوزیت است. از سوی دیگر تغییر شکلهای پلاستیک شدیدی در اطراف الیاف نیز به وجود آمده است که نقش مهمی در جذب انرژی نمونهها باز خواهد کرد [۱۴]. همان گونه که در رابطه (۱) مشاهده می شود، افزایش کرنش شکست رابطه مستقیم با انرژی جذب شده حاصل از شکست ضربهای دارد. با مقایسه کدهای PP۲/B۲ و PP۳/B۳ مشاهده می شود که سازوکار خرابی كامپوزيت از شكست الياف به بيرون كشيدگي تغيير كرده است. این تغییر مکانیسم منجر به آن شده که استحکام نمونه دارای ۴۰ درصد وزنی باگاس بیش از ۱۰ درصد نمونه دارای ۵۰ درصد وزنی

1 Luz

باگاس بیشتر باشد. بهعبارتدیگر ۴۰ درصد باگاس مرز بین تغییر سازوکار واماندگی الیاف در کامپوزیت است که به دست آوردن آن دستاورد مهمی محسوب میشود.

۵- نتیجهگیری

در این پژوهش اثر درصد وزنی الیاف باگاس نیشکر در بستر پلیپروپیلن بر خواص کششی و مقاومت به ضربه قطعات تولید شده به روش قالبگیری تزریقی موردمطالعه قرارگرفته است. چهار گروه نمونه با درصدهای وزنی ۲۰، ۲۰، ۴۰ و ۵۰ باگاس تهیه شد و هر آزمایش جهت بررسی تکرارپذیری سه بار انجام پذیرفت. درنهایت جهت بررسی بیشتر و استخراج دلایل ریزساختاری، آزمایش بررسی میکروساختار نیز بر روی سطح شکست نمونهها انجام شد. یافتههای کار حاضر را میتوان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- نتایج نشان داد که افزایش باگاس تا ۳۰ درصد وزنی سبب کاهش مقاومت کششی نمونههای میشود. درحالیکه با افزایش مقدار آن تا ۴۰ درصد وزنی استحکام کشش بهبود مییابد. علی رغم این افزایش استحکام، افزودن بیشتر باگاس تا ۵۰ درصد وزنی منجر به افت استحکام کششی میشود. به عبارت دیگر درصد وزنی بهینه باگاس مور دمطالعه در بستر پلی پروپیلن ۴۰ درصد گزارش می شود.

۲- افزودن باگاس بیش از ۳۰ درصد وزنی منجر به کاهش محسوس مقاومت به ضربه میشود. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش بیشتر باگاس تا ۵۰ درصد وزنی روند کاهشی مقاومت در برابر ضربه با شیب کمتری ادامه مییابد. علیرغم بهینه بودن استحکام کششی ۴۰ درصد وزنی باگاس، بهبودی در زمینه انرژی جذب شده ضربهای مشاهده نشد. این امر به دلیل کاهش شدید کرنش شکست نمونههای تولیدی با افزایش درصد وزنی باگاس توجیه میشود.

۳- بررسی میکرو ساختاری از سطح شکست نمونهها نشان داد که با افزایش درصد باگاس چگالی سطحی زمینه در مقطع شکست کاهش مییابد که منجر به ترد شدن نمونه می گردد. با مقایسه نمونههای دارای ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی باگاس مشاهده شد که سازوکار خرابی کامپوزیت از شکست به بیرون کشیدگی الیاف تغییر کرده است. این تغییر مکانیسم منجر به آن شده که استحکام نمونه دارای ۴۰ در صد وزنی بیشتر از ۵۰ درصد وزنی باگاس باشد.

- [9] S. Kuriakose, D. Varma, V. Vaisakh, Mechanical behaviour of coir reinforced polyester composites–an experimental investigation, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2(12) (2012) 751-757
- [10] E. Cerqueira, C. Baptista, D. Mulinari, Mechanical behaviour of polypropylene reinforced sugarcane bagasse fibers composites, Procedia Engineering, 10 (2011) 2046-2051
- [11] A. Nourbakhsh, The Utilization of Two Recycled Polymers and Bagasse Fiber in Wood Plastic Nano/ Clay Composites Production, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(3) (2013) 435-450
- [12] S. Kazemi Najafi, E. Hamidinia, M. Tajvidi, Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics, Journal of Applied Polymer Science, 100(5) (2006) 3641-3645
- [13] A. Samariha, A. Bastani, M. Nemati, M. Kiaei, H. Nosrati, M. Farsi, Investigation of the mechanical properties of bagasse flour/polypropylene composites, Mechanics of Composite Materials, 49(4) (2013) 447-454
- [14] J. Anggono, Á.E. Farkas, A. Bartos, J. Móczó, Antoni,
 H. Purwaningsih, B. Pukánszky, Deformation and failure of sugarcane bagasse reinforced PP, European Polymer Journal, 112 (2019) 153-160
- [15] M.K. Lila, A. Singhal, S.S. Banwait, I. Singh, A recyclability study of bagasse fiber reinforced polypropylene composites, Polymer Degradation and Stability, 152 (2018) 272-279
- [16] J. Karger-Kocsis, Polypropylene structure, blends and composites: Volume 3 composites, Springer Science & Business Media, 2012
- [17] E. Ghasemi, B. Kord, Long-term water absorption behaviour of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite, Iranian Polymer Journal, 18(9) (2009) 683-691
- [18] N. Hoboken, Polymer composites, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2004
- [19] Toughness, www.wikipedia.com, 2019

- [1] K.B. Adhikary, S. Pang, M.P. Staiger, Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin highdensity polyethylene (HDPE), Composites Part B: Engineering, 39(5) (2008) 807-815
- [2] E. Moradi, A. Zeinedini, E. Heidari-shahmaleki, Mechanical properties of laminated composites reinforced by natural fibers of cotton, wool and kenaf under tensile, flexural and shear loadings, Journal of Science and Technology of Composites, (2019) (in Persian)
- [3] H. Shahrajabian, A.R. Maleki Khorasgani, Investigation of the physical and mechanical properties of Wood plastic composites based on high density polyethylene/ polypropylene/recycled poly (ethylene terephthalate), Journal of Science and Technology of Composites, 5(1) (2018) 127-134 (in Persian)
- [4] A. Ashori, Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries, Bioresource Technology, 99(11) (2008) 4661-4667
- [5] A. Arbelaiz, B. Fernandez, G. Cantero, R. Llano-Ponte, A. Valea, I. Mondragon, Mechanical properties of flax fibre/polypropylene composites. Influence of fibre/matrix modification and glass fibre hybridization, Composites Part A: applied science and manufacturing, 36(12) (2005) 1637-1644
- [6] A. Wechsler, S. Hiziroglu, Some of the properties of wood–plastic composites, Building and Environment, 42(7) (2007) 2637-2644
- [7] A. Nourbakhsh, H.K. Doust, A. Kargarfard, F. Golbabaei, R. Hajihasani, Investigation of OCC Fiber/ Polymers Composites in Air-Forming Production, (2008)
- [8] H.A. Khademi Eslam, R. Baghbani, E. Ghasemi, B. Baziar, Effect of Bagasse Chemical Treatment on The Mechanical Properties of Composites Based on Treated Bagasse/Recycled Polyethylene, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(1) (2013) 169-181

مراجع

131-132 (2017) 75-80

- [24] A. Osmannejad, F.A. Ghasemi, I. Ghasemi, Preparation and Characterization of PP/ wood Flour/ graphene Hybrid Nanocomposites, Journal of Mechanical Engineering, Tabriz University, 47(4) (2018) 191-199 (in Persian)
- [25] A.R. Shakeri, S.K. Hosseini, G. Ebrahimi, Improvement in Mechanical Properties of Cellulose Fibers-Thermoplastic Polymer Composites, Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 18(77) (2005) 143-150 (in Persian)
- [26] B. Jiang, L. Cao, F. Zhu, Dynamic tensile behavior of polypropylene with temperature effect, Composites Part B: Engineering, 152 (2018) 300-304
- [27] S.M. Luz, A.R. Gonçalves, A.P. Del'Arco, Mechanical behavior and microstructural analysis of sugarcane bagasse fibers reinforced polypropylene composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38(6) (2007) 1455-1461

- [20] G.H. Majzoobi, M. Kashfi, N. Bonora, G. Iannitti, A. Ruggiero, E. Khademi, A new constitutive bulk material model to predict the uniaxial tensile nonlinear behavior of fiber metal laminates, The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 53(1) (2018) 26-35
- [21] M.Á. Hidalgo-Salazar, F. Luna-Vera, J.P. Correa-Aguirre, Biocomposites from Colombian Sugar Cane Bagasse with Polypropylene: Mechanical, Thermal and Viscoelastic Properties, in: Characterizations of Some Composite Materials, IntechOpen, 2018
- [22] E.F. Cerqueira, C.A.R.P. Baptista, D.R. Mulinari, Mechanical behaviour of polypropylene reinforced sugarcane bagasse fibers composites, Procedia Engineering, 10 (2011) 2046-2051
- [23] M. Kashfi, G.H. Majzoobi, N. Bonora, G. Iannitti, A. Ruggiero, E. Khademi, A study on fiber metal laminates by using a new damage model for composite layer, International Journal of Mechanical Sciences,

بی موجعه محمد ا