



## بررسی مقاومت به آتشگیری و خواص مکانیکی کامپوزیت پلی استر/ شیشه در حضور نانوکلی، هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید آلومینیوم، اکسید روی

امیر عاشق حسینی<sup>1</sup>، پیام سرائیان<sup>2\*</sup>، شهرام اعتمادی حقیقی<sup>3</sup>، عادل مقصود پور<sup>3</sup>

1- کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

3- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\* نجف آباد، صندوق پستی 8514143131، p\_saraeian@iau-tnb.ac.ir

### چکیده

### اطلاعات مقاله

امروزه کامپوزیت‌های زمینه پلیمری به عنوان سازه‌های کامپوزیتی در صنایع نفتی، به دلیل سبکی و نسبت استحکام به وزن بالا، جایگزین فلز شده‌اند. معمولاً رزین مورد استفاده در ساخت این سازه‌های کامپوزیتی، رزین پلی استر می‌باشد و دلیل استفاده از این رزین علاوه بر خواص فیزیکی و شیمیایی خوب، قیمت پایین آن نسبت به دیگر رزین‌ها می‌باشد اما یکی از معایب خطر آفرین کامپوزیت‌های پلی استر، بحث آتشگیری آن و ایجاد خطر در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه می‌باشد. لذا در این تحقیق، برای رفع این مشکل، از چهار ماده پرکننده ضدآتش شامل نانوکلی با درصد وزنی‌های 1، 2 و 3 درصد، هیدروکسید آلومینیوم با درصد وزنی‌های 2، 5، 7، 10 درصد، هیدروکسید منیزیم با درصد وزنی‌های 2، 5، 10، 15 درصد و اکسید روی با درصد وزنی‌های 1، 3، 5، 7 درصد استفاده شده است. در این تحقیق، مقاومت به آتشگیری کامپوزیت با استفاده از آزمون اشتعال پذیری (نرخ سوختن) و خواص مکانیکی کامپوزیت با استفاده از آزمون‌های کشش، سختی و ضربه، بررسی می‌شود که در نهایت با مقایسه و بررسی نتایج مشخص شد که با 2% وزنی نانوکلی، استحکام کششی، 58.33 درصد بهبود و سختی کامپوزیت پلی استر/ شیشه، 59.11 درصد بهبود پیدا خواهد کرد. همچنین با افزودن 2% وزنی هیدروکسید منیزیم، مقاومت به ضربه 125 درصد بهبود می‌یابد و همچنین با افزودن 5% وزنی هیدروکسید آلومینیوم، سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر/ شیشه 59.12 درصد کاهش می‌یابد. علت کاهش سرعت سوختن در نمونه حاوی هیدروکسید آلومینیوم به دلیل واکنش گرماگیر و آزاد شدن مولکول‌های آب می‌باشد.

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: 8 خرداد 1397  
پذیرش: 28 آبان 1397  
ارائه در سایت: خرداد 1398

### کلیدواژه‌ها:

آتشگیری،  
کامپوزیت پلی استر/ شیشه  
اشتعال پذیری، پرکننده  
نرخ سوختن

## Investigation of fire resistance and mechanical properties of Glass Fiber Reinforced Polyester composites in the presence of nanoclay, magnesium hydroxide, aluminum hydroxide, zinc oxide

Amir Asheghoseini<sup>1</sup>, Payam Saraeian<sup>2\*</sup>, Shahram Etemadihighi<sup>1</sup>, Adel Maghsoudpour<sup>1</sup>...

1- Department of Mechanical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

\* P.O.B. 8514143131 Najafabad, Iran, p\_saraeian@iau-tnb.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
Received 29 May 2018  
Accepted 19 November 2018  
Available Online June 2019

### Keywords:

Expose  
Glass / polyester composite  
Combustibility  
Filler  
Burning rate

### Abstract

Nowadays Polymer Matrix Composites are replaced by metal as composite structures in petroleum industry due to their lightness and high strength ratio. Usually, the resin used to make these composite structures is a polyester resin and because of the use of this resin, in addition to its good physical and chemical properties, its price is lower than other resins. but one of the disadvantages of polyester composites is to expose it and to create a hazard in the petrochemical and refinery industries. Therefore, in order to solve this problem, four anti-inflammatory filler materials, including nanoclay with a weight percentage of 1,2,3%, aluminum hydroxide with a weight of 2,5,7,10%, magnesium hydroxide with a weight percentage of 2, 5,10,15% and zinc oxide with a weight percentage of 1,3,5,7%. In this research, the resistance to fire extinguishing by combustibility test (burning rate) and mechanical properties of composite by using tensile, hardness and impact tests is investigated. Finally, by comparing and checking the results, it was found that with 2% nanoclay weight, the maximum tensile strength, 58.33% improvement and with 39.11% hardness of glass / polyester composite would be improved. Also, by adding 2 wt% magnesium hydroxide, the impact strength is improved by 125%, and by adding 5% by weight of aluminum hydroxide, the burning rate of glass / polyester composite is reduced by 59.12%. It is the cause of the burning down rate in the sample containing aluminum hydroxide due to the reaction of hot forming and the release of water molecules.

### Please cite this article using:

A. Asheghoseini, P. Saraeian, Sh. Etemadihighi, A. Maghsoudpour, Investigation of fire resistance and mechanical properties of Glass Fiber Reinforced Polyester composites in the presence of nanoclay, magnesium hydroxide, aluminum hydroxide, zinc oxide, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 1-9, 2019 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

**1- مقدمه**

کامپوزیت پلی استر/ شیشه صورت نگرفته است. در این تحقیق، برای بررسی آتشگیری کامپوزیت پلی استر/ شیشه، از چهار ماده پرکننده نانوکلی، هیدروکسید آلومینیوم، هیدروکسید منیزیم و اکسید روی استفاده شده است که جهت بدست آوردن مقاومت به آتشگیری کامپوزیت از آزمون اشتعال پذیری (نرخ سوختن) و جهت بدست آوردن خواص مکانیکی کامپوزیت، از آزمون‌های کشش، سختی و ضربه، استفاده می‌شود. در نهایت، مقایسه ای بین نتایج خواص مکانیکی و اشتعال پذیری نمونه‌های کامپوزیتی انجام می‌گیرد. هدف این تحقیق، ساخت سازه‌های کامپوزیت مستحکم و مقاوم به آتشگیری از جنس پلی استر/ شیشه می‌باشد که به عنوان نفروها، سقف‌های کاذب در صنایع حمل و نقل، پتروشیمی، پالایشگاه و سکوها نفتی استفاده می‌شوند.

**2- تجربی**

در این بخش، به معرفی مواد به کار رفته و تجهیزات مورد استفاده و همچنین روش انجام آزمایش پرداخته می‌شود.

**2-1- مواد**

در این تحقیق، از رزین پلی استر غیر اشباع با نام تجاری رزیتان آر-چی پی 3000 اورتوفتالیک با گرانیوی 500 پوآز به عنوان رزین (ماتریس) کامپوزیت و نفتنات کبالت به عنوان شتاب دهنده و متیل اتیل کتن پروکسید به عنوان کاتالیزور استفاده می‌شوند. از ماده اروزیل<sup>1</sup> به عنوان ماده اصلی برای ساخت ژل کت و از واکس جداکننده به عنوان جداکننده نمونه کامپوزیت از قالب استفاده می‌شود. از الیاف شیشه حصیری 600 گرمی از شرکت راستین گلاس به عنوان تقویت کننده استفاده شد. همچنین اکسید روی (دمای تجزیه حرارتی 197 درجه سانتی‌گراد و چگالی  $5/606 \text{ g/cm}^3$ ) و نانوکلی (مونت موریلونت) استفاده شده از شرکت مرک آلمان (چگالی  $2/35 \text{ g/cm}^3$ ) و هیدروکسید منیزیم (با دمای تجزیه حرارتی 350 درجه سانتی‌گراد و چگالی  $2/34 \text{ g/cm}^3$ ) و همچنین هیدروکسید آلومینیوم (دمای تجزیه حرارتی 300 درجه سانتی‌گراد و چگالی  $2/42 \text{ g/cm}^3$ ) به عنوان مواد پرکننده در این تحقیق استفاده شده است.

**2-2- تجهیزات آزمایش**

برای تعیین سختی نمونه‌های کامپوزیت پلی استر/ شیشه، از

کاهش خطرات آتش‌گیری و شعله ور شدن مواد مصنوعی ساخته شده‌ایکی از دغدغه‌های مهم دانشمندان و صنعتگران می‌باشد [1,2]. از جمله موادی که استفاده از آنها در دهه‌های اخیر با رشد روز افزونی مواجه شده است کامپوزیت‌های زمینه پلیمری می‌باشند که در زمینه کاهش آتش‌گیری آنها تحقیقاتی شروع شده است، زیرا کامپوزیت‌ها عملکرد ضعیفی در مقابل آتش دارند. وقتی کامپوزیت‌ها در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، ماتریس کامپوزیت با آزاد شدن گرما، دود و گازهای فرار سمی، تجزیه می‌شود. رفتار مواد کامپوزیت پلیمری در آتش، نگرانی مهم از سال‌ها پیش بوده است و بسیاری از تلاش‌ها برای ارزیابی و کاهش خطرات آتش در مواد پلیمری صورت گرفته است [3,4].

محققان، اثرات ذرات پرکننده آهن بر ریز ساختار و خواص کامپوزیت پلی استر/ الیاف را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها دریافتند که افزودن پرکننده آهن خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت پلی استر/ شیشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خواص فیزیکی و مکانیکی شامل انقباض خطی، چگالی، تخلخل، استحکام کششی نهایی، مقاومت فشاری، مقدار سختی و انرژی ضربه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت [5]. همچنین، اثرات موادی مانند اکسید روی، سیلیکا، اکسید آلومینیوم و نانوکلی به عنوان پرکننده بر خواص مکانیکی، حرارتی و مورفولوژی کامپوزیت بازمینه پلی استر غیر اشباع و اپوکسی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده که افزایش خواص مکانیکی به شدت به چسبندگی قوی ماده پرکننده با ماتریس و پراکندگی خوب ذرات در تمام سطح کامپوزیت ارتباط دارد [6-9].

محققان به منظور افزایش مقاومت به آتشگیری کامپوزیت فنولیک الیاف شیشه را کربورایزه کردند [10]. تحقیقاتی به منظور مهار کردن آتش کامپوزیت‌ها به بررسی مکانیسم تأثیر پرکننده‌ها در فرایند آتشگیری پرداخته اند [11,12]. همچنین تحقیقات دیگری در زمینه تأثیر مواد پرکننده در کامپوزیت پلی استر/ شیشه [13,14]، یا افزودن الیاف طبیعی [15]، ایجاد پوشش سطحی الیاف تقویت کننده کامپوزیت‌ها [16] جهت بهبود خواص آتشگیری انجام شده است. کاهش حرارت تولید شده در واحد زمان و یا کاهش شعله‌های آتش از جمله مواردی است بر روی آنها تحقیق شده است [17-19].

ولی در هیچ یک از این تحقیقات، مقایسه بین تأثیر مواد پرکننده نانوکلی، هیدروکسید آلومینیوم، هیدروکسید منیزیم و اکسید روی در مقاومت به آتشگیری و خواص مکانیکی

<sup>1</sup> Aerosil

روش اجرای کار بدین صورت است که در مرحله اول، پرکننده‌های نانو کلی و هیدروکسید آلومینیوم و هیدروکسید منیزیم و اکسید روی را به مدت 24 ساعت در دمای 80 درجه سانتی‌گراد در فر خشک کرده تا رطوبت مواد پرکننده گرفته شود. سپس قالب فولادی را که اندازه درونی آن 30×30 cm می‌باشد در محل مورد نظر قرار داده می‌شود. علت انتخاب این ابعاد برای قالب این می‌باشد که پس از ساخت، بتوان نمونه‌های استاندارد برای هر چهار آزمایش در این تحقیق را با ضریب تکرار 3 از این نمونه‌ها برش داد. در مرحله بعد الیاف شیشه حصیری 600 gpm<sup>2</sup> را در اندازه 30×30 cm به تعداد 4 عدد برش داده می‌شود. نوع قرارگیری الیاف شیشه به دلیل اینکه چهار لایه الیاف به شکل حصیری می‌باشند مشابه می‌باشد و پس از هر لایه رزین پلی استر، الیاف شیشه بر روی آن قرار داده می‌شود که در ادامه روند ساخت بیان می‌شود.

برای ساخت نمونه‌های کامپوزیتی، ابتدا ماده پرکننده به مقدار وزنی تعیین شده به رزین اضافه می‌شود و سپس توسط همزن مکانیکی به مدت 1 ساعت هم زده می‌شوند تا ماده پرکننده به طور کامل در رزین پلی استر پخش شود. روش ساخت نمونه‌ها توسط روش لایه گذاری دستی انجام می‌شود بدین صورت که ابتدا اولین لایه گذاری توسط ماده ژل کت انجام می‌گیرد و سپس الیاف شیشه بر روی پوشش ژل کت قرار داده می‌شود و در مرحله بعد، مخلوط پلی استر و ماده پرکننده، پوششی با ضخامت یکسان و یکنواخت را بر روی الیاف شیشه ایجاد می‌کند. فرایند تا لایه چهارم از الیاف انجام و در نهایت نمونه به مدت 1 ساعت در دمای 38 درجه در فاصله 20 سانتی متری از هیتر پخت می‌شود و سپس به مدت 24 ساعت در دمای اتاق نگه داشته می‌شود. پس از آن، نمونه را از قالب بیرون آورده می‌شود (شکل 1).

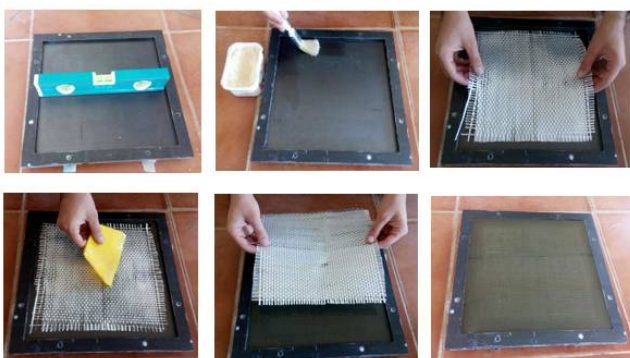


Fig. 1 Hand-layup method for composite samples

شکل 1 روش لایه گذاری دستی برای ساخت نمونه‌های کامپوزیتی

سختی‌سنجی Bench hardness testers مدل AT 130D با برند ارنست<sup>1</sup> استفاده شده است. اندازه‌گیری استحکام کششی نمونه‌ها توسط دستگاه کشش توری<sup>2</sup> مدل Torsee Universal Testing Machine-10T انجام گردید. مقاومت ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه در این تحقیق، با دستگاه آزمون ضربه با برند سنتام مدل SIT-20E انجام شد. برای ارزیابی مقاومت به آتشگیری نمونه‌های کامپوزیتی در این تحقیق، سرعت سوختن نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای این امر از دستگاه محفظه احتراق استفاده می‌شود. در این تحقیق از دستگاه محفظه احتراق UL 94 & IEC TESTER مدل GOV94 با برند گاومارک<sup>3</sup> استفاده شده است.

### 2-3- روش آزمایش

پارامترهای متغیر در این تحقیق شامل نوع ماده پرکننده و غلظت پرکننده در نمونه می‌باشد که در چهار سطح مورد بررسی قرار گرفت که در جدول 1 نشان داده شده است. نوع ماده پرکننده و غلظت آن، دو پارامتر مؤثر در تعیین خواص مکانیکی و مقاومت به آتشگیری در کامپوزیت پلی استر/ شیشه به شمار می‌رود. طبق جدول 1 تعداد نمونه‌های آزمایش در این تحقیق برابر با تعداد درصد‌های غلظت ماده پرکننده همراه با یک نمونه شاهد می‌باشد که در مجموع برابر با 16 آزمایش می‌شود. در تمامی مراحل آزمایش، شرایط محیطی ساخت نمونه‌ها یکسان می‌باشد.

### 2-4- روش ساخت

روش ساخت کامپوزیت پلی استر/ شیشه با نسبت وزنی 30 درصد در این تحقیق به روش لایه گذاری دستی<sup>4</sup> انجام می‌شود. لایه گذاری دستی شامل قرار دادن تقویت کننده الیاف شیشه به صورت خام روی قالب و آغشته ساختن آن به روش سطل و قلم مو یا به وسیله استفاده از ابزارهای مکانیکی نظیر پیستوله یا به کار برنده جریان می‌باشد که در این تحقیق از روش قلم مو و غلتک استفاده می‌شود.

جدول 1 پارامترهای متغیر و سطوح آن در تحقیق

Table 1 Variable parameters and its levels in the research					
پارامترها	سطح 1	سطح 2	سطح 3	سطح 4	
نوع ماده پرکننده	نانوکلی	هیدروکسید آلومینیوم	هیدروکسید منیزیم	اکسید روی	
غلظت پرکننده (%)	3-2-1	10-7-5-2	15-10-5-2	7-5-3-1	

<sup>1</sup> ERNST

<sup>2</sup> TORSEE

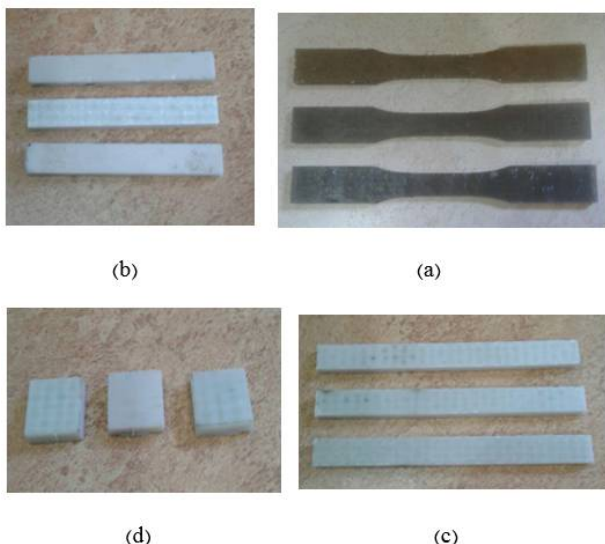
<sup>3</sup> Govmark

<sup>4</sup> Hand layup

## 2-5- آماده سازی نمونه‌ها برای آزمایش

ندارند در برابر نیروی کششی دارای شکست ترد می‌باشند و منطقه گلویی شدن در نمونه پیش نمی‌آید نیروهای بدست آمده از آزمایش کشش، نشانگر حداکثر نیروی می‌باشند که نمونه تا این نیرو دچار شکست نشده است و این را حداکثر نیروی کششی می‌نامند. سطح مقطع اولیه در تمام نمونه‌ها یکسان و برابر  $126 \text{ mm}^2$  است. از این رو استحکام کششی نمونه‌ها بر حسب مگاپاسکال محاسبه و در جدول 2 بیان شده است.

برای تحلیل راحت تر، نتایج به صورت نمودار بیان شده است (شکل 3). این نمودار مقایسه بین استحکام کششی نمونه‌ها با درصد وزنی‌های متفاوت از پرکننده را نشان می‌دهند. که محور عمودی بیانگر استحکام کششی بر حسب مگاپاسکال و محور افقی بیانگر درصد وزنی مواد پرکننده نسبت به وزن کل نمونه بر حسب درصد در نمونه‌های کامپوزیت پلی استر/ شیشه می‌باشد.



**Fig. 2** Composite specimens. (a): tensile test. (b): impact test. (c): flammability test. (d): hard test

شکل 2 نمونه‌های کامپوزیتی. (a): آزمون کشش. (b): آزمون ضربه. (c): آزمون اشتعال پذیری. (d): آزمون سختی

برای آماده‌سازی، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه واترجت از صفحات کامپوزیتی برش داده می‌شوند. برای آزمون کشش، نمونه‌ها به شکل دمبل با ابعاد  $7 \times 13 \times 165 \text{ mm}$  طبق استاندارد D638 تحت آزمون کشش قرار می‌گیرند. در هر مورد 3 نمونه آزمون می‌شود و مقدار متوسط آنها برای این آزمون محاسبه می‌شود. نمونه‌ها با نرخ 5 میلی‌متر بر دقیقه بارگذاری می‌شود. برای آزمون سختی، نمونه‌ها به شکل مربع با ابعاد  $7 \times 20 \times 20 \text{ mm}$  طبق استاندارد D785 تحت آزمون سختی برینل (BHN 30) قرار گرفتند. تعداد تکرار این آزمایش 3 مرتبه می‌باشد و میانگین آنها به عنوان عدد سختی نمونه لحاظ می‌شود. نمونه‌ها با استفاده از نیروی  $187/5$  کیلوگرم و با ساچمه  $2/5$  میلی متر آزمایش شدند. برای آزمون ضربه نمونه‌ها به ابعاد  $7 \times 63/5 \times 12/7 \text{ mm}$  طبق استاندارد D256 به روش آیزود تهیه گردید. به مانند آزمون‌های دیگر، تعداد تکرار این آزمایش 3 مرتبه می‌باشد. سطح مقطع مؤثر نمونه در این آزمایش  $73/51$  میلی‌متر مربع می‌باشد و خروجی این آزمایش انرژی ضربه بر حسب ژول بر میلی‌متر مربع می‌باشد.

نمونه‌ها با ابعاد  $7 \times 13 \times 125 \text{ mm}$  طبق استاندارد ASTM D635 تحت آزمون اشتعال پذیری قرار گرفتند. در این آزمایش، نرخ سوختن نمونه کامپوزیتی توسط دستگاه محفظه احتراق بدست می‌آید. به مانند آزمون‌های دیگر، تعداد تکرار این آزمایش 3 مرتبه می‌باشد و میانگین آنها به عنوان نرخ سوختن نمونه لحاظ می‌شود. خروجی این آزمایش سرعت سوختن بر حسب میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد. در این تحقیق جهت الیاف در همه نمونه‌ها ثابت می‌باشد و رفتار مقاومت به آتشگیری با محتوای مختلف پرکننده، گزارش می‌شود. دمای محیط در این آزمایش 23 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 50% می‌باشد (شکل 2).

## 3- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها در دو مرحله، مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله اول، نتایج خواص مکانیکی از جمله حداکثر مقاومت کششی، ضربه و سختی بیان می‌شود و در مرحله دوم نتایج مقاومت به آتشگیری از طریق سرعت سوختن نمونه کامپوزیتی مورد ارزیابی و بحث قرار می‌گیرد.

### 3-1- نتایج آزمون کشش

نتایج آزمون کشش در جدول 2 نشان داده شده است از آنجا که در گرماسخت‌ها، زنجیره‌های مولکولی قابلیت چرخش و لغزش

**جدول 2** حداکثر مقاومت کششی نمونه‌ها از آزمون کشش

**Table 2** Maximum tensile strength of the samples from the tensile test

اکسید روی	هیدروکسید منیزیم	هیدروکسید آلومینیوم	نانوکلی
حداکثر مقاومت کششی (MPa)	حداکثر مقاومت کششی (MPa)	حداکثر مقاومت کششی (MPa)	حداکثر مقاومت کششی (MPa)
وزنی	وزنی	وزنی	وزنی
%1	80/19	%2	115
%2	97/32	%5	104/2
%3	110/55	%10	99/1
%5	126/12	%15	95
%7			84/04
			78/63



Fig. 4 The presence of a void in a sample containing 3 wt% nanoclay  
 شکل 4 وجود حفره در نمونه حاوی 3 درصد وزنی نانوکلی

اما با اضافه کردن بیشتر هیدروکسید آلومینیوم به ماتریس، تراکم هیدروکسید آلومینیوم افزایش میابد که این انباشته شدن ذرات می تواند نقطه تنشی برای ایجاد آسیب به ساختار ماتریس پلیمری باشند که نهایتاً باعث می شود تا با اعمال نیروی کششی به نمونه توسط دستگاه کشش، شکست در نمونه اتفاق بیافتد. همین روند افزایشی و کاهش در استحکام کششی را در حضور پرکننده هیدروکسید منیزیم می توان دید که دلایلی که برای هیدروکسید آلومینیوم بیان شد در مورد هیدروکسید منیزیم هم صدق می کند. همان طور که در شکل 3 مشاهده می شود، با افزایش درصد وزنی اکسید روی، استحکام کششی نمونه کامپوزیت پلی استر / شیشه همواره افزایش پیدا می کند. دلیل این روند صعودی را چنین می توان بیان کرد که با افزایش اکسید روی در ماتریس، چسبندگی خوبی بین ماتریس و پرکننده و ایاف شیشه برقرار می شود و ارتباط بین ماتریس و ایاف افزایش می یابد و نتیجتاً استحکام کششی نمونه همواره افزایش پیدا کند و از طرفی انباشتگی ماده پرکننده در ماتریس تا 7% رخ نمی دهد و ممکن است در درصدهای بالاتری از اکسید روی، انباشتگی رخ دهد. چرا که در صورت انباشتگی اکسید روی، کاهش در استحکام کششی اتفاق می افتاد.

### 3-2- نتایج آزمون سختی

نتایج آزمون سختی نمونه ها در جدول 3 ارائه شده است. همان طور که در شکل 5 مشاهده می شود در 2 درصد وزنی نانوکلی، سختی کامپوزیت پلی استر / شیشه به حداکثر مقدار خود می رسد و مقدار آن برابر با 158 برینل است که با مقایسه با سختی نمونه کامپوزیت شاهد، می توان به این نتیجه رسید که در 2% وزنی نانوکلی سختی کامپوزیت پلی استر / شیشه به میزان 59/11 درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود پیدا خواهد کرد.

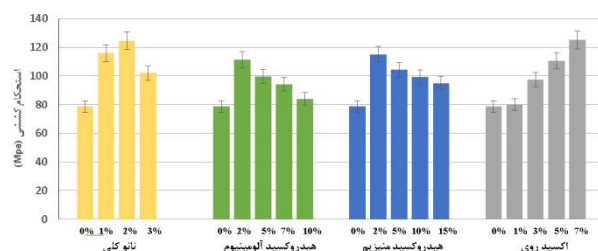


Fig. 3 Comparison of the maximum tensile strength of polyester / glass composite

شکل 3 مقایسه حداکثر استحکام کششی کامپوزیت پلی استر / شیشه

همان طور که در شکل 3 مشاهده می شود، در 2 درصد وزنی نانوکلی، استحکام کششی کامپوزیت پلی استر / شیشه به ماکزیمم خود می رسد و مقدار آن برابر با 124.5 مگاپاسکال است که با مقایسه با استحکام کششی نمونه کامپوزیت شاهد، می توان به این نتیجه رسید که در 2% وزنی نانوکلی استحکام کششی کامپوزیت پلی استر / شیشه به میزان 58.33 درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود پیدا خواهد کرد.

همان طور که در شکل 3 مشاهده می شود، مقدار استحکام کششی کامپوزیت پلی استر / شیشه در 2% وزنی نانوکلی به ماکزیمم خود می رسد که مقدار آن برابر با 124/5 مگاپاسکال می باشد و سپس بعد از آن روند کاهش در استحکام کششی کامپوزیت پلی استر / شیشه مشاهده می شود. به طوری که با افزودن 3 درصد وزنی نانوکلی به ماتریس، مقدار استحکام کششی به 102 مگاپاسکال تقلیل پیدا می کند. دلیل این روند افزایش و کاهش را چنین می توان بیان کرد که در ابتدا تا 2% وزنی از نانوکلی، هر بار که نیرو به کامپوزیت پلی استر / شیشه اعمال می شود، نیرو توسط نانوکلی، با مکانیزم انتقال بار از ماتریس به نانوذرات، جذب می شود.

همچنین پراکندگی همگن نانورس در ماتریس نقش مهمی در بهبود استحکام کششی دارد. اما با افزودن بیشتر نانوکلی (3 درصد وزنی) به علت وجود حفره هایی که در نمونه مشاهده می شوند، استحکام کششی کاهش پیدا می کند (شکل 4).

این روند افزایشی و کاهش استحکام کششی را در حضور هیدروکسید آلومینیوم هم می توان دید که دلیل این امر را می توان این گونه بیان کرد که در ابتدا با افزایش درصد وزنی هیدروکسید آلومینیوم تا 2% وزنی به ماتریس، تراکم هیدروکسید آلومینیوم به ماتریس مناسب می باشد و اتصال قوی بین ماتریس و هیدروکسید آلومینیوم ایجاد می شود که این امر باعث می شود تا دستگاه آزمون کشش، نیروی بیشتری برای از هم گسستن پیوند قوی بین ماتریس و هیدروکسید آلومینیوم و ایاف شیشه وارد کند تا در نهایت شکست در نمونه کامپوزیتی رخ دهد.

و انباشتگی پرکننده در ماتریس رخ می‌دهد و اتصال بین ماتریس و پرکننده کاهش می‌یابد که این خود باعث می‌شود تا با اعمال نیروی فشاری به نمونه، فرورونده در نمونه نفوذ پیدا کند که نهایتاً کاهش سختی در نمونه حاصل می‌شود.

همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود، با افزایش درصد وزنی اکسید روی، سختی نمونه کامپوزیت پلی استر/ شیشه همواره افزایش پیدا می‌کند. دلیل این روند صعودی را چنین می‌توان بیان کرد که با افزایش اکسید روی در ماتریس، چسبندگی خوبی بین ماتریس و پرکننده و الیاف شیشه برقرار می‌شود و ارتباط بین ماتریس و الیاف افزایش می‌یابد و نتیجتاً سختی نمونه همواره افزایش پیدا کند و از طرفی انباشتگی ماده پرکننده در ماتریس تا 7% رخ نمی‌دهد و ممکن است در درصدهای بالاتری از اکسید روی، انباشتگی رخ دهد.

### 3-3- نتایج آزمون ضربه

در جدول 4 نتایج آزمون ضربه ارائه شده است مقادیر انرژی ضربه نمونه‌ها به صورت میانگین اعداد حاصل از ضربه تکرار 3 آورده شده است.

همان‌طور که در شکل 6 مشاهده می‌شود در 2 درصد وزنی هیدروکسید منیزیم، مقدار انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه به حداکثر مقدار خود می‌رسد و مقدار آن برابر با 18/14 ژول است که با مقایسه با انرژی ضربه نمونه کامپوزیت شاهد، می‌توان به این نتیجه رسید که در 2% وزنی هیدروکسید منیزیم، انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه به میزان 125 درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود پیدا خواهد کرد.

همچنین مطابق شکل 6، مقدار انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه در 2% وزنی نانوکلی به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد که مقدار آن برابر با 9/26 ژول می‌باشد و سپس بعد از آن روند کاهش در انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه مشاهده می‌شود.

جدول 4 انرژی ضربه نمونه‌ها از آزمون ضربه

Table 4 Impact Energy of samples from impact test

اکسید روی	هیدروکسید منیزیم		هیدروکسید آلومینیوم		نانوکلی	
	درصد	ژول (J)	درصد	ژول (J)	درصد	ژول (J)
%1	8/08	8/12	%2	18/14	%2	14/4
%3	8/61	9/26	%5	16/01	%5	11/61
%5	8/81	8/64	%10	15/61	%7	11/24
%7	9/02	8/06	%15	12/2	%10	8/7

جدول 3 سختی نمونه‌ها از آزمون سختی

Table 3 Hardness of samples from hardness test

نانوکلی	هیدروکسید آلومینیوم		هیدروکسید منیزیم		اکسید روی	
	درصد	برینل (HB)	درصد	برینل (HB)	درصد	برینل (HB)
%1	140/4	146	%2	145/3	101	146
%2	125/6	158	%5	134/1	122/6	158
%3	119	129	%7	128/8	139/3	129
شاهد	106	99/3	%10	124/5	154	99/3

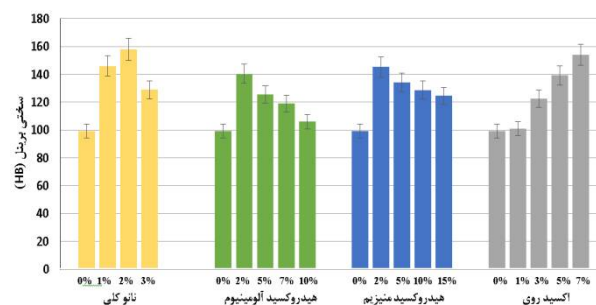


Fig. 5 Comparison of hardness of polyester / glass composite

شکل 5 مقایسه سختی کامپوزیت پلی استر/ شیشه

همچنین در شکل 5 بعد از 2 درصد وزنی نانوکلی، روند کاهش در سختی کامپوزیت پلی استر/ شیشه مشاهده می‌شود؛ به طوری که با افزودن تا 3% وزنی نانوکلی به ماتریس، مقدار سختی به 129 برینل تقلیل پیدا می‌کند.

دلیل این روند افزایش و کاهش را چنین می‌توان بیان کرد که در ابتدا تا 2% وزنی از نانوکلی، هر بار که نیروی فشاری فرو رونده ساچمه ای به کامپوزیت پلی استر/ شیشه اعمال می‌شود، نیرو از ماتریس به نانوکلی انتقال و توسط نانوکلی جذب می‌شود. اما با افزودن بیشتر نانوکلی (3% وزنی) به علت وجود حفره‌هایی که در نمونه مشاهده می‌شوند، سختی نمونه کامپوزیتی کاهش پیدا می‌کند و با اعمال نیروی فشاری کمتری به نمونه، فرورونده در نمونه نفوذ پیدا می‌کند.

این روند افزایشی و کاهشی سختی را در حضور هیدروکسید آلومینیوم و هیدروکسید منیزیم دیده می‌شود که دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که در ابتدا با افزایش درصد وزنی این دو ماده پرکننده تا 2% وزنی به رزین پلی استر، تراکم ماده پرکننده مناسب می‌باشد و چسبندگی قوی بین رزین پلی استر و مواد پرکننده ایجاد می‌شود که این خود باعث می‌شود تا فرو رنده ساچمه ای به سختی در نمونه نفوذ پیدا کند و نهایتاً افزایش سختی کامپوزیت پلی استر/ شیشه حاصل می‌شود. اما با افزودن بیشتر این مواد پرکننده، تراکم مواد پرکننده در ماتریس افزایش

### 3-4- نتایج آزمایش اشتعال پذیری (سرعت سوختن)

در جدول 5 عدد سرعت سوختن نمونه‌ها ارائه شده است. همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود، با افزودن درصد وزنی نانوکلی به کامپوزیت پلی استر / شیشه، میزان سرعت سوختن نمونه همواره کاهش پیدا می‌کند.

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود در 5 درصد وزنی هیدروکسید آلومینیوم، سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر / شیشه به حداقل مقدار خود می‌رسد و مقدار آن برابر با 6/54 میلی‌متر بر دقیقه است که با مقایسه با سرعت سوختن نمونه کامپوزیت شاهد، می‌توان به این نتیجه رسید که در 5% وزنی هیدروکسید آلومینیوم، سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر / شیشه به میزان 59.12 درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا خواهد کرد.

سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر / شیشه در نمونه بدون نانوکلی، 16 میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد و سپس بعد از آن با افزودن نانوکلی تا 3% وزنی به ماتریس، مقدار سرعت سوختن نمونه تا 9/62 میلی‌متر بر دقیقه تقلیل پیدا می‌کند دلیل این روند را می‌توان چنین بیان کرد که شکل‌گیری یک لایه سطحی در دوره پیرولیز (تجزیه در اثر حرارت) نانوکلی به عنوان عامل اصلی بهبود بازدارندگی آتش شناخته می‌شود. این رسوب به عنوان یک مانع گرما عمل می‌کند.

جدول 5 سرعت سوختن نمونه‌ها از آزمون اشتعال پذیری (mm/min)

Table 5 The burning rate of the samples from the flammability test

نانوکلی	هیدروکسید آلومینیوم		هیدروکسید منیزیم		اکسید روی	
	سرعت سوختن درصد	سرعت سوختن وزنی	سرعت سوختن درصد	سرعت سوختن وزنی	سرعت سوختن درصد	سرعت سوختن وزنی
10	1	9/17	2	11/2	1	15/7
7/71	2	6/54	5	8/5	3	13/9
9/62	3	0	10	6/92	5	12/1
16	شاهد	0	10	0	7	11/4

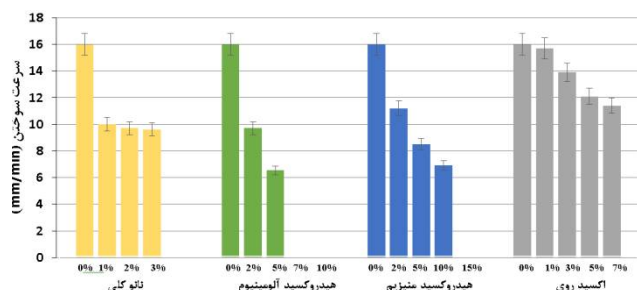


Fig. 7 Comparison of burning rate of polyester / glass composite

شکل 7 مقایسه سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر / شیشه

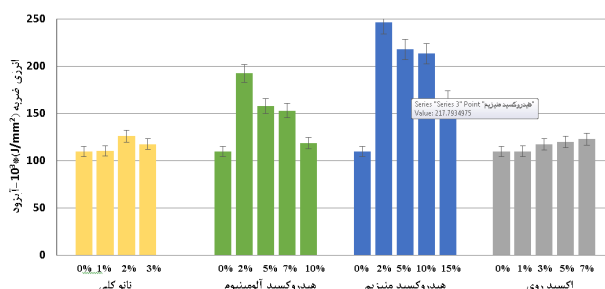


Fig. 6 Comparison of impact energy of polyester / glass composite

شکل 6 مقایسه انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر / شیشه

به طوری که با افزودن تا 3% وزنی نانوکلی به ماتریس، مقدار انرژی ضربه به 8/64 ژول تقلیل پیدا می‌کند. دلیل این روند افزایش و کاهش را چنین می‌توان بیان کرد که در ابتدا تا 2% وزنی از نانوکلی، هر بار که نیروی ضربه به نمونه توسط آونگ دستگاه به کامپوزیت پلی استر / شیشه اعمال می‌شود، نیرو توسط رزین پلی استر به نانوکلی انتقال و سپس توسط نانوکلی جذب می‌شود اما با افزودن بیشتر نانوکلی (3% وزنی) به علت وجود حفره‌هایی که در نمونه به وجود می‌آیند، انرژی ضربه کامپوزیت پلی استر / شیشه کاهش پیدا می‌کند.

این روند افزایشی و کاهش انرژی ضربه را در حضور هیدروکسید آلومینیوم و هیدروکسید منیزیم دیده می‌شود که دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که در ابتدا با افزایش درصد وزنی این دو ماده پرکننده تا 2% وزنی به رزین پلی استر، تراکم ماده پرکننده مناسب می‌باشد و چسبندگی قوی بین رزین پلی استر و مواد پرکننده ایجاد می‌شود که این خود باعث می‌شود تا انرژی ضربه افزایش پیدا کند. اما با افزودن بیشتر این دو ماده پرکننده به ماتریس، تراکم مواد پرکننده در ماتریس افزایش و انباشتگی پرکننده در ماتریس رخ می‌دهد و اتصال بین ماتریس و پرکننده کاهش می‌یابد که این خود باعث می‌شود تا با اعمال نیروی ضربه ای به نمونه، شکست در نمونه اتفاق بیفتد. همان‌طور که در شکل 6 مشاهده می‌شود، با افزایش درصد وزنی اکسید روی، مقدار انرژی ضربه نمونه کامپوزیت پلی استر / شیشه همواره افزایش پیدا می‌کند. دلیل این روند صعودی را چنین می‌توان بیان کرد که با افزایش اکسید روی در ماتریس، چسبندگی خوبی بین ماتریس و پرکننده و الیاف شیشه برقرار می‌شود و ارتباط بین ماتریس و الیاف افزایش می‌یابد و نتیجتاً انرژی ضربه نمونه همواره افزایش پیدا کند و از طرفی انباشتگی ماده پرکننده در ماتریس تا 7% رخ نمی‌دهد و ممکن است در درصدهای بالاتری از اکسید روی، انباشتگی رخ دهد. چرا که در صورت انباشتگی اکسید روی، کاهش در انرژی ضربه رخ می‌دهد.

کند. می‌توان نتیجه گیری کرد که افزایش محتوای هیدروکسید منیزیم باعث آزاد شدن آب کریستال تولید شده می‌شود و گاز قابل احتراق در اطراف آن پلیمر را رقیق می‌کند.

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود، با افزودن درصد وزنی اکسید روی به کامپوزیت پلی استر/ شیشه، سرعت سوختن نمونه همواره کاهش پیدا خواهد کرد. سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر/ شیشه در نمونه بدون اکسید روی، مقدار 16 میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد و سپس بعد از آن با افزودن اکسید روی تا 7% وزنی به ماتریس، مقدار سرعت سوختن نمونه کامپوزیت پلی استر/ شیشه به 11/4 میلی‌متر بر دقیقه تقلیل پیدا می‌کند. دلیل این روند را می‌توان چنین بیان کرد که شکل گیری یک لایه سطحی در هنگام تجزیه، در اثر حرارت اکسید روی به عنوان عامل اصلی بهبود بازدارندگی آتش شناخته می‌شود. این لایه به عنوان یک مانع گرما عمل می‌کند که مانع از انتقال گرما به مواد غیر هیدرولیز شده می‌شود.

#### 4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، جهت بهبود مقاومت به آتشگیری کامپوزیت پلی استر/ شیشه از چهار ماده پرکننده نانوکلی، هیدروکسید آلومینیوم، هیدروکسید منیزیم و اکسید روی با درصد وزنی‌های معین استفاده شد و در همین راستا، خواص مکانیکی کامپوزیت پلی استر/ شیشه شامل سختی، ضربه، کشش هم مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با مقایسه بین نتایج آزمون اشتعال پذیری و آزمون‌های مکانیکی نتایج زیر حاصل شد.

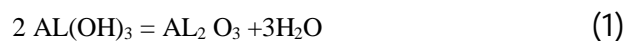
- در مطالعه تأثیر پرکننده‌های نانوکلی، هیدروکسید آلومینیوم، هیدروکسید منیزیم و اکسید روی بر روی استحکام کششی کامپوزیت پلی استر/ شیشه مشخص شد که با 2% وزنی نانوکلی، استحکام کششی نمونه تا لحظه شکست 58/33 درصد بهبود پیدا خواهد کرد.

- با بررسی تأثیر مواد پرکننده بر روی سختی کامپوزیت پلی استر/ شیشه مشخص شد که با 2 درصد وزنی نانوکلی، سختی نمونه به 59/11 درصد بهبود پیدا خواهد کرد.

- با مطالعه تأثیر مواد پرکننده بر روی استحکام ضربه کامپوزیت پلی استر/ شیشه مشخص شد که با 2 درصد وزنی هیدروکسید منیزیم، انرژی ضربه به 125 درصد بهبود پیدا خواهد کرد.

- با مطالعه تأثیر مواد پرکننده بر روی سرعت سوختن کامپوزیت با استفاده از دستگاه محفظه احتراق، مشخص شد که با 5 درصد وزنی هیدروکسید آلومینیوم، سرعت سوختن نمونه

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود، با افزودن درصد وزنی هیدروکسید آلومینیوم به کامپوزیت پلی استر/ شیشه، سرعت سوختن نمونه همواره کاهش پیدا می‌کند. سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر/ شیشه در نمونه بدون هیدروکسید آلومینیوم، 16 میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد و سپس بعد از آن با افزودن هیدروکسید آلومینیوم تا 5% وزنی به ماتریس، مقدار سرعت سوختن نمونه تا 6/54 میلی‌متر بر دقیقه تقلیل پیدا می‌کند. اما پس از آن، خود خاموش شونده‌گی نمونه در برابر شعله آتش در 7% وزنی و 10% وزنی هیدروکسید آلومینیوم، حاصل می‌شود. بدین صورت که با برداشتن شعله آتش از روی نمونه کامپوزیتی، نمونه خود به خود خاموش می‌شود. بدین جهت مقاومت به آتشگیری کامپوزیت با درصد وزنی‌های 7 و 10% هیدروکسید آلومینیوم بهبود زیادی یافته است. دلیل این روند را می‌توان چنین بیان کرد که با افزودن هیدروکسید آلومینیوم به رزین پلی استر، یک واکنش گرماگیر در حضور آتش انجام می‌دهد که باعث آزاد شدن مولکولهای آب و سرد شدن پلیمر و رقیق کردن فرایند سوختن می‌گردد (رابطه 1 [13]).



همان‌طور که در شکل 6 مشاهده می‌شود، با افزودن درصد وزنی هیدروکسید منیزیم به کامپوزیت پلی استر/ شیشه، سرعت سوختن نمونه به صفر خواهد رسید. سرعت سوختن کامپوزیت پلی استر/ شیشه در نمونه بدون هیدروکسید منیزیم، مقدار 16 میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد اما پس از آن با افزودن هیدروکسید منیزیم تا 10% وزنی به ماتریس، مقدار سرعت سوختن نمونه کامپوزیت پلی استر/ شیشه به 6/92 میلی‌متر بر دقیقه تقلیل پیدا خواهد کرد. اما پس از آن، خود خاموش شونده‌گی کامپوزیت پلی استر/ شیشه در برابر شعله آتش در 15% وزنی هیدروکسید منیزیم، حاصل می‌شود. دلیل این روند را می‌توان چنین بیان کرد که با افزودن هیدروکسید منیزیم، یک تجزیه حرارتی در حضور آتش انجام می‌شود که باعث آزاد شدن مولکولهای آب و سرد شدن پلیمر و رقیق کردن فرایند سوختن می‌گردد (رابطه 2 [5]).



بخار تولید شده در طول فرایند تجزیه حرارتی می‌تواند شعله را پوشش دهد، نیتروژن را براند، گاز قابل اشتعال را رقیق می‌کند و یک لایه مواد آدیباتیک را روی رابط شعله و مواد پلاستیکی ایجاد می‌کند تا از جریان گاز و گسترش آتش جلوگیری کند. محصولات تجزیه حرارتی غیر سمی هستند و MgO می‌تواند گازهای اسیدی و خورنده را به واسطه خاصیت قلیایی اش خنثی



- organoclay/thermoset nanocomposites, *J Composites: Part A* 74: 26–37, 2013.
- [10] M. Kim, J. Choe, D. G. Lee, Development of the fire retardant glass fabric/carbonized phenolic composite, *Composite Structures*, Vol. 148, Pages 191-197, July 2016
- [11] Q.T. Nguyen, Q.T. Nguyen, T. Nago, P. Tran, P. Mendis, M. Zobec, L. Aye, Fire performance of prefabricated modular units using organoclay /glass fibre reinforced polymer composite, *J. Construction and Building Materials*: 200-204, 2016.
- [12] L.L. Pan, L. L. Pan, G. Y. Li, Y. C. Su, J. S. Lian, Fire retardant mechanism analysis between ammonium polyphosphate and triphenyl phosphate in unsaturated polyester resin, *J. Polymer Degradation and Stability*, 97: 1801-1806, 2012.
- [13] H. Pavan, H. Pavan, H. S. Arunkumar, M. Shettar, Investigation on Effect of Aluminium Hydroxide on Mechanical and Fire Retardant Properties of GFRP-Hybrid Composites, *J. Materials Today: Proceedings* 4:10952–10956, 2017.
- [14] H. Chen, J. Wang, A. Ni, A. Ding, Z. Sun, X. Han, Effect of novel intumescent flame retardant on mechanical and flame retardant properties of continuous glass fiber reinforced polypropylene composites, *Composite Structures*, Vol. 203, Pages 894-902, 2018
- [15] W. Pornwannachai, J. R. Ebdon, B. K. Kandola Fire-resistant natural fibre-reinforced composites from flame retarded textiles, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 154, Pages 115-123, 2018
- [16] D. Lin, X. Zeng, H. Li, X. Lai, T. Wu, One-pot fabrication of super hydrophobic and flame-retardant coatings on cotton fabrics via sol-gel reaction, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 533, Pages 198-206, 2019
- [17] P. Tran, Q. T. Nguyen, K. T. La, Fire performance of polymer-based composites for maritime infrastructure, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 155, Pages 31-48. 2018
- [18] Y.G. Kim, H. S. Kim, S. M. Jo, S. Y. Kim, J. E. Cha, Thermally insulating, fire-retardant, smokeless and flexible poly vinylidene fluoride nano fibers filled with silica aerogels, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 351, Pages 473-481, 2018
- [19] S. C. Jiang, Y. F. Yang, S. B. Ge, Z. F. Zhang, W. X. Peng, Preparation and properties of novel flame-retardant PBS wood-plastic composites, *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 11, Issue 6, Pages 844-857, 2018
- کامپوزیت پلی استر/شیشه به مقدار 59/12 درصد کاهش می‌یابد و سپس بعد از آن، خودخاموش شونده‌گی در نمونه کامپوزیتی حاصل می‌شود.
- ### 5- مراجع
- [1] E. Guades, T. Aravinthan, M.M. Islam, Characterisation of the mechanical properties of pultruded fibre-reinforced polymer tube, *Mater Des*, 63: 305–15, 2014.
- [2] E. N. Kalali, L. Zhang, M. E. Shabestari, J. Croyal, D.Y. Wang, Flame-retardant wood polymer composites (WPCs) as potential fire safe bio-based materials for building products: Preparation, flammability and mechanical properties, *Fire Safety Journal*, In Press, Available online 6 Dec. 2017
- [3] L. Yana, Z. Xu, X. Wang, Synergistic effects of organically modified montmorillonite on the flame-retardant and smoke suppression properties of transparent intumescent fire-retardant coatings, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 122, Pages 107-118, 2018
- [4] S. Kima, T. Hana, J. Jeong, H. Lee, M. H. Ryou, Y. M. Lee, A Flame-Retardant Composite Polymer Electrolyte for Lithium-Ion Polymer Batteries, *Electrochimica Acta*, Vol. 241, Pages 553-559, July 2017
- [5] T. Haoa, T. Haoa, Z. Xiao, L. Xiao, Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin, *J. Procedia Engineering*, 52: 336 – 341, 2013.
- [6] N. Gull, N. Gull, S. M. Khan, M. A. Munawar, M. Shafiq, F. Anjum, M. T. Zahid, T. Jamil, Synthesis and characterization of zinc oxide (ZnO) filled glass fiber Reinforced polyester composites, *J. Materials and Design*, 67: 313-317, 2015.
- [7] M.C.S. Ribeiro, S.P.B. Sousa, P.R.O. Nóvoa, An investigation on fire and flexural mechanical behaviors of nano and micro polyester composites filled with SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle, *J. Proceedings* 2: 8-9, 2015.
- [8] P. P. Binu, P. P. Binu, K.E. George, M.N. Vinodkumar, Effect of nanoclay, Cloisite 15A on the Mechanical Properties and Thermal behavior of Glass Fiber Reinforced Polyester, *J. Procedia Technology*, 25: 846 – 853, 2016.
- [9] T. Quynh, Q. T. Nguyen, T. D. Ngo, P. Tran, P. Mendis, D. Bhattacharyy, Influences of clay and manufacturing on fire resistance of