

بررسی تجربی مدول الاستیسیته یک بیوکامپوزیت الیاف نارگیل تقویت شده با نانو پودر

ابوالفضل خلخالی*

استادیار، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

شهرزاد دقیقی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

امروزه استفاده از مواد جدید با خواص مطلوب و در عین حال کاهش تاثیرات نامطلوب زیست‌محیطی و هزینه‌ی تولید به یکی از مهمترین مباحث در صنعت تبدیل شده است. تاکنون کامپوزیت‌های الیاف طبیعی بیشتر کاربردهای غیرسازه‌ای داشته‌اند. در این راستا، این مقاله به بررسی بیوکامپوزیت تقویت‌شده با نانو پودر پرداخته است تا با افزودن درصد کمی نانو پودر خواص بهتری به دست آید. بدین منظور چهار فاکتور وزن الیاف، درصد وزنی نانوپودر، نوع نانو پودر و همچنین درصد وزنی سدیم‌هیدروکسید در بهبود قلیایی الیاف، هر کدام در دو سطح متفاوت در طراحی آزمایش به روش تاگوچی در نظر گرفته شد و هشت نمونه بر این اساس و با توجه به استاندارد ASTM-D3039 ساخته شد و تحت تست کشش قرار گرفت. تاثیر این چهار فاکتور بر روی مدول الاستیک به عنوان خروجی، توسط روش تاگوچی و همچنین آنالیز واریانس بررسی شد و در هر دو روش به ترتیب پارامترهای درصد وزنی نانو پودر، نوع نانوپودر، وزن الیاف و درصد وزنی سدیم‌هیدروکسید در بهبود به عنوان پارامترهای تاثیرگذار تعیین شده‌اند و هر دو روش کاملاً همدیگر را تصدیق می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: بیوکامپوزیت، الیاف نارگیل، نانورس، نانوسیلیکا، تست کشش.

Experimental Investigation on the Elastic Modulus of Coir Fiber Biocomposites Reinforced with Nanopowder

A. Khalkhali Department of automotive engineering, Iran university of science & technology, Tehran, Iran

Sh. Daghighi Department of automotive engineering, Iran university of science & technology, Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, using new materials with acceptable properties and also reducing costs and harmful environmental effects has turned into an essential issue. So far, biocomposites have mostly been used for nonstructural applications. In this study, nanopowders were added to biocomposite to achieve better properties. In this regard, 4 different parameters including fiber loading, type of nanopowder and its weight percentage and also weight percentage of NaOH in alkali treatment, each factor in 2 levels, were considered in Taguchi design of experiment and 8 specimens were manufactured and tested based on ASTM D3039 standard test method to determine tensile properties. Analysis of variance (ANOVA) and Taguchi method were also conducted to determine the significance of each parameter on test results. Based on results, weight of fiber, kind of nanopowder, weight of nanopowder and weight percent of NaOH in alkali treatment are ranked 1st to 4th respectively and there is a complete agreement between the results obtained from S/N ratio analysis and ANOVA results corresponding to order of parameter significance.

Keywords: Biocomposites, Coir fiber, Nanoclay, Nanosilica, Tensile test.

۱- مقدمه

نانوکامپوزیت‌های پلیمری موادی چند فازی هستند که درون ساختار خود حاوی نانو ذرات می‌باشند. زمانی که یکی از فازها در مقیاس نانو می‌باشد خواص نانوکامپوزیت با خواص کامپوزیت تشکیل شده از همان فازها در مقیاس غیرنانو متفاوت خواهد بود و همین امر موجب جذابیت استفاده از این مواد شده‌است. علت این تفاوت خواص در مواد نانوکامپوزیتی نسبت به کامپوزیت‌های مشابه افزایش و بهبود نیروی بین سطح مشترک ماتریس و فاز تقویت‌کننده به دلیل دارا بودن ابعاد نانومتری می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی استفاده از نانو ذرات در کامپوزیت‌ها انجام شده است. به عنوان مثال در یک بررسی دیپاک و همکارانش تاثیر استفاده از نانورس بر روی خواص را مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور آنها تست‌های کشش، ضربه و فشار را بر روی نمونه‌های ساخته شده از این کامپوزیت‌ها با توجه به استانداردهای موجود انجام دادند و نشان دادند که در این بررسی، افزودن نانورس، منجر به بهبود خواص می‌شود. [۲]

استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر نقش مهمی در زندگی انسان‌ها دارد و استفاده از آن به زمان‌های دور باز می‌گردد. مزیت استفاده از این منابع، توزیع گسترده‌ی آنها در تمام مناطق جهان و همچنین زیست تخریب‌پذیری آنها می‌باشد. به تدریج با پر شدن محل‌های دفن زباله و مشکلات زیست‌محیطی به وجود آمده و همچنین با کم شدن منابع و افزایش گازهای گلخانه‌ای و کربن، هزینه‌ی زیادی برای تأمین محل دفن زباله تحمیل گردیده است و این موضوع موجب تلاش برای استفاده از مواد دوستدار محیط زیست و تجدیدپذیر، قابل بازیافت و زیست‌تخریب‌پذیر شده‌است. [۱] از مزایای الیاف طبیعی می‌توان به هزینه‌ی پایین، زیست‌تخریب‌پذیری و استحکام ویژه‌ی بالا و قابل مقایسه با الیاف مصنوعی اشاره کرد. از طرفی منابع این الیاف به طور گسترده در جهان وجود دارد و استفاده و تولید آنها آسیبی به محیط‌زیست نمی‌رساند.

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: ab_khalkhali@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۰۱

خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت، وابسته به نوع ماتریس، نوع الیاف و اثر متقابل (چسبندگی) الیاف و ماتریس می‌باشد. [۳] در نتیجه همانند هر جزء مهندسی دیگر، طراحی مناسب سازه‌ی ساخته شده از این مواد برای اطمینان از کاربرد موفق، مورد نیاز است.

در سال‌های اخیر به دلیل مزایای زیاد الیاف طبیعی محققان توجه زیادی به الیاف طبیعی داشته‌اند و مطالعات متفاوتی را روی انواع مختلفی از این الیاف انجام داده‌اند. به عنوان مثال، در یک مطالعه هابیب و همکارانش به بررسی خواص مکانیکی آسیب سطحی بیوکامپوزیت تقویت شده با الیاف کنف پرداختند. آنها علاوه بر بررسی تجربی، به بررسی تئوری نیز پرداختند و نشان دادند که شبیه‌سازی اجزای محدود، توانایی بازسازی رفتار این بیوکامپوزیت را تا حد زیادی دارد. [۴] در بررسی دیگر، در ابتدا کامپوزیت تقویت شده با چند نوع متفاوت الیاف طبیعی مثل کنف، کتان، بامبو و ... ساخته شد و تحت تست کشش به منظور تعیین مدول الاستیک (E) قرار گرفت. سپس الیافی که منجر به E بالاتر شد، انتخاب گشت و در ادامه تیری با مقطع I شکل از آن درست شد. ماتریس مورد استفاده در این بررسی رزینی بر پایه‌ی دانه‌ی سویا بود. سپس این تیر تحت تست خمشی سه نقطه قرار گرفت. [۵] آیهوز و همکارانش نیز بر روی طراحی کامپوزیت پلی‌استر تقویت شده با الیاف درخت چنار مطالعاتی انجام دادند. آنها همچنین به بررسی خواص مکانیکی این کامپوزیت پرداختند و نشان دادند که این کامپوزیت‌ها دارای خواصی قابل مقایسه با الیاف شیشه می‌باشند. [۶]

بزرگترین مشکل استفاده از الیاف طبیعی در اتصال با پلیمرهای آب‌گریز، عدم اتصال و چسبندگی مناسب بین الیاف و ماتریس است که به منظور حل این مشکل، معمولاً یکی از روش‌های بهبود قلیایی^۱، بهبود پروکسید^۲ و بهبود پرمگنات^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا، تاکنون مطالعات زیادی بر روی نحوه‌ی بهبود انواع الیاف طبیعی و تاثیر آن بر بهبود خواص صورت گرفته‌است که می‌توان به عنوان یک نمونه به بررسی صورت گرفته توسط نالو و همکارانش اشاره کرد. آنها در یک بررسی نشان دادند که بهبود الیاف کنف توسط محلول سدیم هیدروکسید ۵wt% منجر به بهبود سطح تماس الیاف و ماتریس و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت می‌شود. [۷] دیپاک و همکارانش نیز در مطالعه‌ای دیگر، به منظور بهبود الیاف طبیعی، آن را برای یک ساعت در محلول سدیم هیدروکسید قرار دادند. سپس از محلول درآورده و پس از شستن، آن را در دمای ۵۰ درجه‌ی سلسیوس خشک کردند. [۲]

الیاف نارگیل^۴ همان الیاف یا پوشش خارجی پوست سخت نارگیل می‌باشد. شکل ۱ این الیاف را نشان می‌دهد. این الیاف، به دلیل رسانندگی پایین، جرم مخصوص ظاهری مناسب و هزینه و وزن کم بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. [۸] الیاف نارگیل نسبت به دیگر الیاف طبیعی دارای لیگنین بیشتری است که منجر به انعطاف‌پذیری، نرم‌تر بودن و مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی می‌گردد. همچنین این

الیاف دارای همی سلولز (۰.۲٪) و سلولز (۴۳-۳۶٪) کمتر می‌باشد که سلولز کمتر، خود موجب جذب آب کمتر می‌شود. [۹ و ۱۰].



شکل ۱- الیاف نارگیل

مطالعات بسیاری به منظور بررسی امکان استفاده از الیاف نارگیل صورت گرفته است که می‌توان به بررسی انجام شده توسط لای و همکارانش اشاره کرد. آنها خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف نارگیل را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که کامپوزیت ساخته شده از الیاف بهبود یافته دارای خواص مکانیکی برتری است. آنها همچنین نشان دادند که با افزایش مقدار الیاف، مقدار خواص نیز بهتر می‌شود. [۱۱] جایابان و همکارانش نیز در یک مطالعه، خواص مکانیکی برای کامپوزیت پلی‌استر تقویت شده با الیاف نارگیل را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که پارامتر مقدار الیاف، نقش مهم‌تری نسبت به طول الیاف در بهبود خواص دارد. [۱۲] در مطالعه‌ای دیگر، به بررسی کامپوزیت بر پایه‌ی نشاسته‌ی کاساوا^۵ همراه با الیاف گرفته شده از نارگیل سبز برزیلی پرداخته شده‌است. این کامپوزیت‌ها با مقادیر متفاوت الیاف و به وسیله‌ی قالب‌گیری حرارتی ساخته شدند و بعضی از ماتریس‌ها قبل از ساخت، تحت بهبود حرارتی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که بهبود حرارتی نشاسته و همچنین استفاده از الیاف منجر به بهبود خواص کششی شده‌است. [۱۳] در یک بررسی، کامپوزیت پلی‌بوتیلن‌سوکسینات^۶ تقویت شده با الیاف نارگیل ساخته شد سپس تاثیر بهبود قلیایی بر ساختارشناسی سطحی^۷ و خواص مکانیکی الیاف نارگیل، استحکام برشی لایه‌ای و خواص مکانیکی کامپوزیت پلی‌بوتیلن‌سوکسینات تقویت شده با الیاف نارگیل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاثیر مقدار الیاف بر خواص مکانیکی مطالعه‌شد. نتایج نشان داد که در این بررسی، الیاف نارگیل بهبود یافته در محلول سدیم‌هیدروکسید ۵٪ منجر به بهبود استحکام برشی و دیگر خواص مکانیکی خواهد شد. [۱۴] در بررسی دیگر تست بیرون‌زدگی الیاف^۸ بر روی کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف نارگیل انجام شد و ثابت شد که این الیاف قابل استفاده برای ماتریس پلی‌استر می‌باشد و این مطالعه، بهترین نتیجه‌ی تست را برای این ماتریس (ماتریس پلی‌استر) نشان داد. [۱۵] سایفول و همکارانش نیز در یک مطالعه، نمونه‌ی نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با نانو کلی و الیاف نارگیل و کنف توسط روش پرس گرم ساخته شد و تاثیر الیاف و نانو

⁵ Cassava Starch
⁶ Poly Butylenes Succinate
⁷ Surface Morphology
⁸ Pull-out

¹ Alkali Treatment
² Peroxide Treatment
³ MNo4 Treatment
⁴ Coir fiber

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانورس

ویژگی	مقدار یا نوع
چگالی	$0.7 - 0.5 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$
اندازه‌ی ذرات	۱-۲nm
مساحت سطح ویژه	$220 - 270 \text{ (m}^2\text{/gr)}$
مقدار هدایت	-۲۵MV
ضریب تبادل یونی	۴۸(meg/100g)
فاصله‌ی خالی بین	60 \AA
رنگ	زرد کم‌رنگ

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانوسیلیکا

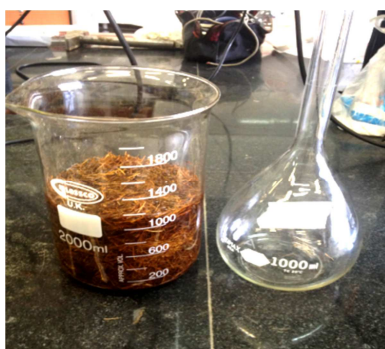
ویژگی	مقدار یا نوع
درصد خلوص	+۹۹%
اندازه‌ی ذرات	۲۰-۳۰nm
مساحت سطح ویژه	$180 - 600 \text{ (m}^2\text{/g)}$
رنگ	سفید
چگالی توده	$< 1.0 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
چگالی حقیقی	$2.4 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$

جدول ۳- آنالیز شیمیایی نانوسیلیکا

SiO ₂	Ti	Ca	Na	Fe
<۹۹%	۱۲۰ppm	۷۰ppm	۵۰ppm	۲۰ppm

جدول ۴- آنالیز شیمیایی نانورس

LOI	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
۱۵.۵	۵.۶	۰.۶	۱.۹	۰.۸	۵۰.۹	۱۹.۶	۳.۳	۰.۹



شکل ۲- بهبود قلیایی الیاف توسط سدیم هیدروکسید

۲-۳- طراحی آزمایش

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر روی نتایج تست کشش، طراحی آزمایش برای ۴ پارامتر که هر یک دارای ۲ سطح می‌باشند، به روش تاگوچی که شامل ۸ آزمایش می‌باشد، در مینی‌تب انجام شد. قابل به ذکر است که پارامترها دارای وزن یکسان می‌باشند. جدول ۵ نشان‌دهنده‌ی فاکتورها و مقدار هر سطح می‌باشد. همچنین

کلی بر خواص فیزیکی و مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری آن بررسی قرارگرفت. الیاف کنف و نارگیل تحت بهبود قلیایی با محلول ۲% سدیم هیدروکسید قرارگرفت. نتایج حاکی از آن است که استفاده‌ی هم‌زمان از الیاف نارگیل بهبود یافته و نانورس، منجر به بهبود خواص می‌شود. [۱۶]

در این مقاله تاثیر ۴ فاکتور درصد وزنی الیاف، نوع نانوپودر، درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی و همچنین درصد وزنی نانوپودر در خواص کششی مورد بررسی قرار گرفت و بدین منظور، قطعات مطابق با طراحی آزمایش به روش تاگوچی ساخته شد و با توجه به شرایط استاندارد ASTM-D3039 تحت تست کشش قرار گرفت. در ادامه آنالیز حساسیت به روش تاگوچی و همچنین آنالیز واریانس به منظور تعیین فاکتورهای تاثیرگذار بر روی نتایج حاصل از تست کشش، صورت گرفت.

۲-۲- روش ساخت نمونه

۱-۲- مواد

در این مطالعه از رزین پلی استر غیر اشباع به عنوان ماتریس استفاده شده‌است. الیاف نارگیل که از پوشش خارجی سطح سخت نارگیل استخراج می‌شود به عنوان الیاف طبیعی به کار رفته است. به منظور افزایش استحکام بیوکامپوزیت از دو نوع نانوپودر (نانورس و نانوسیلیکا) به عنوان پرکننده استفاده شده‌است. جدول ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانورس و نانوسیلیکا به کار رفته در این مطالعه می‌باشد. همچنین آنالیز شیمیایی نانوسیلیکا و نانورس به ترتیب در جدول ۳ و ۴ آورده شده‌است.

۲-۲- بهبود الیاف

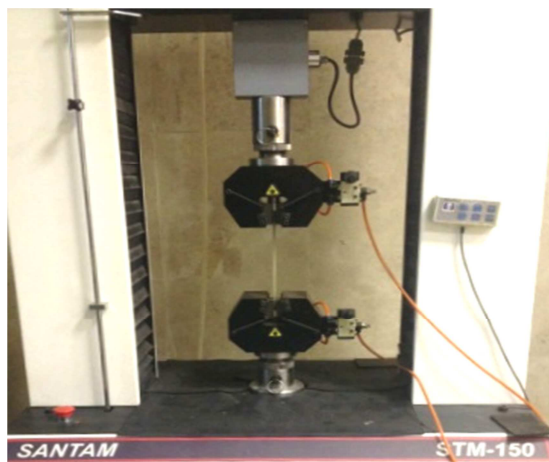
الیاف طبیعی به کار رفته در این بررسی، الیاف نارگیل است. همان‌طور که در مقدمه نیز به آن اشاره شد، بزرگترین مشکل استفاده از الیاف طبیعی در اتصال با پلیمرهای آب‌گریز، عدم اتصال و چسبندگی مناسب بین الیاف و ماتریس است که به منظور حل این مشکل باید بهبودهایی روی آنها قبل از مصرف صورت گیرد. [۱۷ و ۱۸] در این مقاله همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، از بهبود قلیایی به کمک سدیم هیدروکسید استفاده شده‌است. بدین منظور الیاف در سایز ۲ میلی‌متر بریده می‌شود. سپس برای ۵ ساعت در محلول سدیم هیدروکسید باقی می‌ماند و در ادامه به مدت ۳ ساعت در کوره در دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار می‌گیرد.



شکل ۲- تعدادی از قطعات ساخته شده برای انجام تست

۳- تست کشش

تست کشش به منظور تعیین خواص کششی همچون استحکام کششی و ... بر روی نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM-D3039 انجام شد. در این راستا، مطابق با استاندارد نمونه‌هایی با مقطع مستطیل شکل به ابعاد $25\text{mm} \times 3\text{mm}$ و طول 250mm برای انجام تست کشش ساخته شد. پس از قرارگیری نمونه‌ها در فک‌های دستگاه تست یونیورسال، سرعت کشش مطابق با شرایط استاندارد ASTM-D3039 برابر با 2 mm/min تنظیم شد. شکل ۲ نحوه‌ی قرارگیری نمونه در دستگاه را نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی نمودار تنش کرنش حاصل از تست کشش برای چند نمونه می‌باشد که در آن محور عمودی نشان‌دهنده‌ی تنش و محور افقی نشان‌دهنده‌ی کرنش می‌باشد که به ترتیب با σ و ϵ نمایش داده شده‌اند. شیب این نمودار نشان‌دهنده‌ی مدول الاستیک می‌باشد و با توجه به این نمودار بالاترین مدول الاستیک مربوط به نمونه‌ی شماره ۳ می‌باشد.



شکل ۴- نحوه‌ی قرارگیری نمونه در دستگاه تست کشش

جدول ۶ همان جدول طراحی آزمایش است که ۸ قطعه بر اساس این جدول ساخته شد. در این جدول هر ستون نشان‌دهنده‌ی یک فاکتور و هر سطح نشان‌دهنده‌ی یک آزمایش می‌باشد. همچنین هر خانه‌ی جدول بیانگر سطح منتخب برای پارامتر می‌باشد.

جدول ۵- فاکتورها و مقدار هر سطح

سطح	درصد وزنی الیاف Wt%	نوع نانوپودر	درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبودقلیایی Wt%	درصد وزنی نانوپودر Wt%
۱	۶	نانو رس	۱۰	۲
۲	۱۰	نانو سیلیکا	۵	۱

جدول ۶- طراحی آزمایش توسط تاگوچی در مینی‌تب

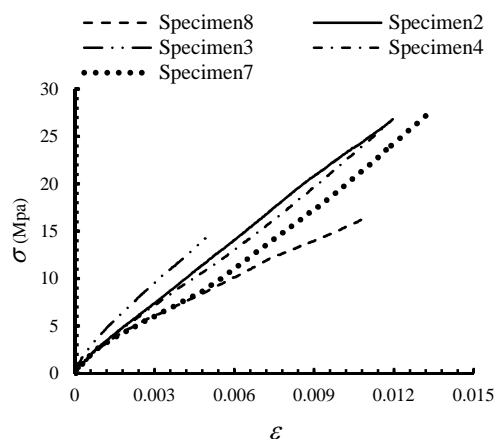
شماره نمونه	درصدوزنی الیاف	نوع نانوپودر	درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبودقلیایی	درصد وزنی نانوپودر
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۲	۲
۳	۱	۲	۱	۲
۴	۱	۲	۲	۱
۵	۲	۱	۱	۲
۶	۲	۱	۲	۱
۷	۲	۲	۱	۱
۸	۲	۲	۲	۲

۲-۴- ساخت کامپوزیت

روش‌های مختلفی برای ترکیب ماتریس و نانوپودر وجود دارد که با توجه به نوع ماتریس و نانوپودر انتخاب می‌شوند. با توجه به ماتریس و نانوپودر انتخابی در این مطالعه و بررسی مقالات و کارهای انجام شده تاکنون در رابطه با ترکیب این مواد، روش مناسبی برای ترکیب آنها انتخاب شد. بدین منظور، مقدار مناسب از نانوپودر با ماتریس با دست مخلوط شده سپس در حمام اولتراسونیک قرار گرفتند و در ادامه، با همزن مکانیکی کاملاً مخلوط شدند. [۱۹] پس از وزن کردن مقدار مورد نیاز از الیاف بهبود یافته بر اساس جدول طراحی آزمایش، این الیاف با ماتریس مخلوط شده و پس از تمیز کردن سطح قالب در آن ریخته شدند. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی تعدادی از قطعات ساخته شده می‌باشد.

۵- آنالیز حساسیت

تاگوچی روشی آماری برای طراحی آزمایش و تحلیل نتایج با استفاده از تعداد کمتری آزمایش و در نتیجه کاهش وقت و هزینه‌ها می‌باشد. مدول الاستیک حاصل از تست کشش به عنوان خروجی در مینی‌تب وارد و بررسی شده‌است.



شکل ۵- نمودار تنش کرنش حاصل از تست کشش

۶- نسبت سیگنال به نویز S/N

این تابع در واقع نشان‌دهنده تغییرات موجود بین نتایج آزمایشات و مقادیر مطلوب می‌باشد و با توجه به این که در این بررسی بیشینه بودن خروجی مطلوب است، مقدار آن با توجه به فرمول (۱) بدست می‌آید.

$$S/N_{ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

که در آن n تعداد تکرار هر آزمایش و y_i نشان‌دهنده‌ی خروجی‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. جدول ۸ نشان‌دهنده‌ی مقادیر نسبت سیگنال به نویز برای هر نمونه می‌باشد.

پارامتری که دارای نسبت سیگنال به نویز بالاتری می‌باشد، مهم‌تر بوده و تاثیر بیشتری بر روی خروجی دارد. براین اساس، همانطور که از جدول ۹ نیز پیداست، پارامتر وزن الیاف بیشترین تاثیر را بر خروجی دارد و بعد از آن به ترتیب پارامترهای نوع نانوپودر، وزن نانوپودر و درصد سدیم‌هیدروکسید در بهبود کلیایی الیاف تاثیرگذارترین پارامترها می‌باشند.

۷- آنالیز واریانس

برای پیدا کردن اهمیت نسبی پارامترها بر روی خروجی، از تکنیک آماری آنالیز واریانس استفاده شده‌است. مقادیر حاصل از آنالیز واریانس در جدول ۱۰ آورده شده‌است که در این جدول WT وزن الیاف، NP نوع نانو پودر، WNP وزن نانو پودر و همچنین AT وزن سدیم هیدروکسید در بهبود کلیایی می‌باشد.

۴- مدول الاستیسیته

جدول ۷ نشان دهنده‌ی مدول الاستیسیته برای هر نمونه می‌باشد. با توجه به این جدول، بیشترین مقدار مدول الاستیک مربوط به نمونه‌ی ۳ می‌باشد. براساس نتایج این جدول مقدار الیاف بیشترین تاثیر را بر مدول الاستیک دارد. بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر نیازمند روشی مانند تاگوچی و یا آنالیز واریانس دارد.

جدول ۷- مدول الاستیک حاصل از تست کشش

شماره‌ی نمونه	مدول الاستیک تست کشش (MPa)
۱	۱۵۰۹۶۵۸
۲	۲۲۸۸۷
۳	۲۶۱۷۹
۴	۲۱۹۰٫۱
۵	۹۸۷٫۷
۶	۱۶۰۳٫۲
۷	۱۹۵۸٫۱
۸	۱۰۳۷

جدول ۸- نسبت سیگنال به نویز برای هر نمونه

شماره نمونه	درصد وزنی الیاف % Wt	نوع نانو پودر	درصد وزنی NaOH	درصد وزنی نانو پودر	مدول الاستیک (MPa)	نسبت سیگنال به نویز
۱	۱	۱	۱	۱	۱۵۰۹٫۷	۶۳٫۵۸
۲	۱	۱	۲	۲	۲۲۸۸٫۷	۶۷٫۱۹
۳	۱	۲	۱	۲	۲۶۱۷٫۹	۶۸٫۳۶
۴	۱	۲	۲	۱	۲۱۹۰٫۱	۶۶٫۸۱
۵	۲	۱	۱	۲	۹۸۷٫۷	۵۹٫۸۹
۶	۲	۱	۲	۱	۱۶۰۳٫۲	۶۴٫۱۰
۷	۲	۲	۱	۱	۱۹۵۸٫۱	۶۵٫۸۴
۸	۲	۲	۲	۲	۱۰۳۷	۶۰٫۳۲

جدول ۹- مقادیر نسبت سیگنال به نویز و تاثیرگذاری هر پارامتر

سطح	درصد وزنی الیاف %Wt	نوع نانوپودر	درصد سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی	درصد وزنی نانوپودر
۱	۶۶٫۴۸	۶۳٫۴۹	۶۴٫۴۲	۶۸٫۰۸
۲	۶۲٫۵۴	۶۵٫۳۳	۶۴٫۶۰	۶۳٫۹۴
تاثیرگذاری	۱	۲	۴	۳

جدول ۱۰- مقادیر حاصل از آنالیز واریانس

فاکتور	f	درجه آزادی	واریانس کل هر پارامتر	S	V	واریانس	F	نسبت واریانس	S	مجموع مربعات خالص	P	درصد مشارکت
WF	۱	۱	۱۱۴۰۳۲۰٫۳	۱۱۴۰۳۲۰٫۳	۱۱۴۰۳۲۰٫۳	۳۲۸۷۶	۰٫۷۲۰۴	۷۹۳۴۶۷٫۲	۴۶٫۶۵	۴۶٫۶۵	۴۶٫۶۵	۴۶٫۶۵
NP	۱	۱	۲۴۹۸۶۸٫۷	۲۴۹۸۶۸٫۷	۲۴۹۸۶۸٫۷	۰٫۷۲۰۴	۰٫۷۲۰۴	-۹۶۹۸۴٫۵	۱۰٫۲۲	۱۰٫۲۲	۱۰٫۲۲	۱۰٫۲۲
WNP	۱	۱	۲۶۰٫۴	۲۶۰٫۴	۲۶۰٫۴	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۸	-۳۴۶۵۹۲٫۷	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
AT	۱	۱	۱۳۵۹۲٫۵	۱۳۵۹۲٫۵	۱۳۵۹۲٫۵	۰٫۰۳۹۲	۰٫۰۳۹۲	-۳۳۳۲۶۰٫۶	۰٫۵۶	۰٫۵۶	۰٫۵۶	۰٫۵۶

$$P_A = \frac{S_A}{S_T} * 100 \quad (۸)$$

در این فرمول نیز S_A واریانس کل برای پارامتر A و S_T واریانس کل می‌باشد. برای پارامترهایی با درصد توزیع بالا، تغییراتی هر چند کوچک باعث تاثیر زیاد بر خروجی می‌شود. براین اساس فاکتورهای وزن الیاف، نوع نانوپودر، وزن نانوپودر و درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی به ترتیب بیشترین تاثیر را بر خروجی دارند. با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس و همچنین نسبت سیگنال به نویز، در هر دو روش به ترتیب پارامترهای وزن الیاف، نوع نانوپودر، وزن نانوپودر و درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر خروجی تعیین شده‌اند و این دو روش در این مورد کاملاً همدیگر را تصدیق می‌کنند.

۸- جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، تاثیر ۴ فاکتور درصد وزنی الیاف، نوع نانوپودر، درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی الیاف طبیعی و همچنین درصد وزنی نانوپودر در خواص کششی بیوکامپوزیت ساخته شده از الیاف نارگیل مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مطالعه موثر و جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه از روش تاگوچی برای طراحی آزمایش در نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد و در نتیجه ۸ نمونه طراحی و ساخته شد. در ادامه این ۸ نمونه مطابق با استاندارد ASTM-D3039 تحت تست کشش قرار گرفت و آنالیز حساسیت توسط تاگوچی و روش آنالیز واریانس بر روی مدول الاستیک حاصل از تست کشش به عنوان خروجی انجام شد و تاثیرگذاری هر یک از ۴ پارامتر بر روی این خروجی مشخص گشت. نتایج آنالیز حساسیت توسط تاگوچی کاملاً با هم مطابقت کرده و حاکی از آن است که پارامتر وزن الیاف بیشترین تاثیر را بر خواص کششی و مدول الاستیک دارد. پس از آن به ترتیب نوع نانوپودر، وزن نانوپودر و درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر خروجی می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان به اهمیت طراحی در کامپوزیت‌ها پی برد زیرا تغییر در هر پارامتر منجر به تغییر در خواص می‌شود. در نتیجه

f_k نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی آزادی هر پارامتر می‌باشد، از رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید:

$$f_A = A - \text{تعداد سطوح فاکتور} \quad (۲)$$

واریانس کل برای هر فاکتور از رابطه‌ی (۳) بدست می‌آید که در آن، A_1 و A_2 به ترتیب مجموع جواب‌های آزمایش‌های شامل فاکتور A در سطح ۱ و سطح ۲ می‌باشند. همچنین N_{A_1} و N_{A_2} به ترتیب نشان‌دهنده‌ی تعداد آزمایشات شامل فاکتور A در سطح ۱ و ۲ می‌باشد.

$$S_A = \frac{A_1^2}{N_{A_1}} + \frac{A_2^2}{N_{A_2}} - C.F \quad (۳)$$

$$C.F = \frac{T^2}{N} \quad (۴)$$

که در فرمول (۴)، N نشان‌دهنده‌ی تعداد کل آزمایشات و T میانگنر مجموع نتایج تمام آزمایش‌ها است. واریانس هر پارامتر نیز مطابق فرمول (۵) از تقسیم واریانس کل آن پارامتر بر درجه‌ی آزادی آن بدست می‌آید.

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} \quad (۵)$$

نسبت واریانس هر پارامتر که آن را با F نشان می‌دهیم، از تقسیم واریانس آن پارامتر بر واریانس خطا مطابق فرمول (۶) بدست می‌آید. با توجه به این پارامتر می‌توان فاکتوری را که بیشترین تاثیر را بر خروجی دارد تعیین کرد. بر این اساس، پارامترهای وزن الیاف، نوع نانوپودر، وزن نانوپودر و درصد وزنی سدیم هیدروکسید در بهبود قلیایی به ترتیب بیشترین تاثیر را بر خروجی دارند.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (۶)$$

مجموع مربعات خالص نیز برای هر پارامتر از فرمول (۷) محاسبه می‌شود.

$$S'_A = S_A - f_A * V_e \quad (۷)$$

که در آن S_A ، واریانس کل برای پارامتر A و f_A ، درجه‌ی آزادی پارامتر A و V_e ، همان واریانس خطا می‌باشد. درصد توزیع هر پارامتر نیز از فرمول (۸) بدست می‌آید.

- poly(butylene succinate) biodegradable composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 42, pp. 1648-1656, 9// 2011.
- [15] Yousif B. F. and Ku H., Suitability of using coir fiber/polymeric composite for the design of liquid storage tanks, *Materials & Design*, vol. 36, pp. 847-853, 4// 2012.
- [16] Islam M. S., Hasbullah N. A. B., Hasan M., Talib Z. A., Jawaid M., and Haafiz M. K. M., Physical, mechanical and biodegradable properties of kenaf/coir hybrid fiber reinforced polymer nanocomposites, *Materials Today Communications*, Vol. 4, pp. 69-76, 9// 2015.
- [17] Gu H., Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment, *Materials & Design*, vol. 30, pp. 3931-3934, 10// 2009.
- [18] Andic-Cakir O., Sarikanat M., Tufekci H. B., Demirci C. and Erdigan U. H., Physical and mechanical properties of randomly oriented coir fiber-cementitious composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 61, pp. 49-54, 5// 2014.
- [19] Chowdary M., Kumar M.N., Effect of nanoclay on the mechanical properties of polyester and s-glass fiber, *IJAST Int. J. Adv. Sci. Technol.* Vol. 74, pp. 35-42// 2015.
- بیوکامپوزیت‌ها را می‌توان با توجه به کاربرد در نظر گرفته‌شده برایشان طراحی کرد و با تغییر در پارامترهای گوناگون به خواص مورد نظر دست یافت.
- ### ۹-مراجع
- [1] Rowell R. M., Han J. S., and Rowell J. S., Characterization and Factors Effecting Fiber Properties, *Natural Polymers and Agro fibers composite*, pp. 115-134, 2000.
- [2] Deepak K., Reddy N. S., and Naidu T. V. S., Thermosetting Polymer and Nano Clay Based Natural Fiber Bio- Composites, *Procedia Materials Science*, Vol. 10, pp. 626-631, // 2015.
- [3] Mir S. S., Nafsin N., Hasan M., Hasan N., and A. Hassan, "Improvement of physico-mechanical properties of coir-polypropylene biocomposites by fiber chemical treatment," *Materials & Design*, Vol. 52, pp. 251-257, 12// 2013.
- [4] Hbib M., Guessasma S., Bassir D., and Benseddiq N., Interfacial damage in biopolymer composites reinforced using hemp fibres: Finite element simulation and experimental investigation, *Composites Science and Technology*, Vol. 71, pp. 1419-1426, 7/28/ 2011.
- [5] A. Shabbar, The study of natural composite I-beam in three point bending test, BS, Aerospace Engineering Department, California polytechnic state university, 2012.
- [6] Ihueze C. C., Okafor C. E., and Okoye C. I., Natural fiber composite design and characterization for limit stress prediction in multiaxial stress state, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, Vol. 27, pp. 193-206, 7// 2015.
- [7] Lu N. and Oza S., A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 45, pp. 1651-1656, 2// 2013.
- [8] Asasutjarit C., Charoenvai S., Hirunlabh J., and J. Khedari, "Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, pp. 633-637, 10// 2009.
- [9] Nam T. H., Ogihara S., and Kobayashi S., Interfacial, mechanical and thermal properties of coir-fiber-reinforced poly(lactic acid) biodegradable composites, *Advanced Composite Materials*, Vol. 21, pp. 103-122, 2012.
- [10] Nam T. H., Ogihara S., Tung N. H., and Kobayashi S., Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 42, pp. 1648-1656, 9// 2011.
- [11] Lai C. Y., Sapuan S. M., Ahmad M., Yahya N., and Dahlan K. Z. H. M., Mechanical and Electrical Properties of Coconut Coir Fiber-Reinforced Polypropylene Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 44, pp. 619-632, 2005.
- [12] Jayabal S. and Natarajan U., Influence of fiber parameters on tensile, flexural, and impact properties of nonwoven coir-polyester composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 54, pp. 639-648, 2011.
- [13] Lomeli Ramirez M. G., Satyanarayana K. G., Iwakiri S., de Muniz G. B., Tanobe V., and Flores-Sahagun T. S., Study of the properties of biocomposites. Part I. Cassava starch-green coir fibers from Brazil, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 86, pp. 1712-1722, 10/15/ 2011.
- [14] Nam T. H., Ogihara S., Tung N. H., and Kobayashi S., Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced