ماهنامه علمى پژوهشى

مهندسی مکانیک مدرس





ارزیابی ناحیه عیب ناشی از ضربه در کامپوزیت پایه پلیمری تقویت شده با الیاف کربن با دو روش رادیو گرافی و آزمون فراصوتی روبش C

 4 سىد عباس ارحام نمازى 1 ، نصرالله بنى مصطفى عرب 2* ، امير رفاهى اسكويى 3 ، فرانچسكو آيمريك

1- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران 2–دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران 3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران 4-استاد تمام، مهندسی مکانیک، دانشگاه کالیاری،کالیاری، ایتالیا

للاعات مقاله	چکیدہ
باله پژوهشی کامل یافت: 26 آذر 1396 یرش: 23 بهمن 1396 نه در سایت: 11 اسفند 1396	امروزه استفاده از مواد کامپوزیتی پایه پلیمری در صنایع مختلف به دلیل خواص مکانیکی خوب، سبکی و عایق بودن نسبت به حرارت و صوت و مقاومت به خوردگی با استقبال روزافزونی مواجه شده است. طی دو دهه اخیر کامپوزیتهای پایه پلیمریِ تقویتشده با الیاف کربن دارای ساختار لایهای کاربرد فراوانی در صنایع هوافضا و اتومبیل یافتهاند. این مواد ممکن است در زمان تولید یا سرویس تحت ضربه قرار گرفته و ناحیه عیب
ید <i>واژگان:</i> مپوریت تقویت شده با الیاف کرین مون غیرمخرب مون فراصوتی روبش C	کوچکی در آن ها به وجود آید. این عیب کوچک میتواند باعث کاهش خواص مکانیکی سازه شده و منجر به شکست آن گردد. از این رو لزوم بهره گیری از روشی جهت تشخیص عیوب در این مواد احساس میشود. در این مقاله نمونه کامپوزیتی پایه پلیمری از الیاف کربن در رزین پلی استر ساخته شد و تحت آزمون ضربه قرار گرفت. به منظور در نظر گرفتن تکرارپذیری در فرایند عیب یابی، نمونه تحت 4 آزمون متفاوت ضربه قرار گرفت و نواحی عیب با استفاده از روش های آزمون رادیوگرافی با مایع نافذ و آزمون فراصوتی بازتابی به روش غوطهوری روبش C، مورد ارزیابی قرار گرفت و نواحی عیب با استفاده از روش رادیوگرافی با مایع نافذ و آزمون فراصوتی بازتابی به روش غوطهوری روبش C، مورد ورار گرفت و نواحی عیب با ستفاده از روش رادیوگرافی با استفاده از دستگاه اسکنر دیجیتال اسکن شد و همچنین تصویر حاصل از آزمون فراصوتی روبش C با در نظر گرفتن مقدار رزولوشن در آزمون کالیبره گردید. مساحت نواحی عیب با استفاده از نرمافزار ایمیج جی به دست آمد. بررسی نتایج حاصل حاکی از توانایی دو روش یادشده در تشخیص و اندازه گیری نواحی عیب در نمونه کامپوزیتی است و روش روبش C ناحیه

Impact Area Assessment in the Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite using Radiography and Ultrasonic C-scan testing methods

Seyyed Abbas Arhamnamazi¹, Nasrollah Banimostafa Arab^{1*}, Amir Refahi Oskouei¹, Francesco Aymerich²

1- Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

2- Mechanical Engineering, University of Cagliari, Cagliari, Italy.

* P.O.B. 16785136, Tehran, Iran, n.arab@srttu.edu

ARTICLE INFORMATION	ABSTRACT
Original Research Paper Received 17 December 2017 Accepted 12 February 2018 Available Online 02 March 2018	Nowadays, the use of polymer composite materials in various industries has been increased due to their good mechanical properties, lightness, sound and thermal insulation and corrosion resistance. Over the past two decades, carbon fiber reinforced polymer (CFRP) materials have been widely used in aerospace and automotive industries. These materials may be subjected to impact during manufacturing
Keywords: Carbon Fibre Reinforced Polymer Non-Destructive Testing Radiography Ultrasonic C-scan	or service period and alsmal impact region may be produced in them. This small defect can reduce the mechanical properties of the structure and lead to its failure. Therefore, it is necessary to use a method for defect detection in these materials. In this study, a polymer composite sample made of carbon fiber in polyester resin was made and subjected to impact test. To consider the repeatability of the defect detection process, the sample was subjected to four various impact tests and the defect areas were evaluated using penetrant-enhanced X-ray radiography and ultrasound immersion pulse-echo C-scan. The image obtained from the penetrant-enhanced X-ray method was scanned using a digital scanner, and the image of the ultrasound C-scan test was calibrated, taking into account the step of scanning.The areas of the defect region were obtained using Imagej software. The results show that these methods are able to detect and measure the impact area in the composite sample and Ultrasonic C-scan method detect impact area more accurately.

كامپوزيتهاى پايه پليمرى تقويت شده با الياف كربن ابا اقبال روزافزونى

1- مقدمه

مواجه بوده است که دلیل این امر را می توان در ویژگی های خاص این

مواد کامپوزیتی در طیف وسیعی از صنایع از جمله هوا- فضا، کشتی سازی و خودروسازی مورد استفاده قرار می گیرند. در این زمینه استفاده از

¹ Carbon Fibre Reinforced polymer (CFRP)

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

S. A. Arhannamazi, N. Banimostafa Arab, A. Refahi Oskouei, F. Aymerich, Impact Area Assessment in the Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite using Radiography and Ultrasonic C-scan testing methods, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 18, No. 03, pp. 332-338, 2018 (in Persian)



كامپوزيت از جمله نسبت استحكام به وزن بالا، عايق حرارتي و صوتي، مقاومت در برابر خستگی، خوردگی کم و خواص مکانیکی بهتر در مقایسه با فلزات دانست [2,1]. در مراحل تولید یا سرویس مواد کامپوزیتی ممکن است عيوب مختلفى در نمونه ايجاد شود. به طور كلى عيب به هر نوع انحراف از ساختار ایده آل اطلاق می گردد. آسیب ناشی از ضربه یکی از عیوب رایج که ممکن است در تولید یا هنگام به کارگیری کامپوزیت ایجاد گردد [3].از آنجا که ضربه علت اولیه لایه لایه شدگی^۱ است، لازم است منطقه ضربه با استفاده از روشهای غیرمخرب^۲ پیش از تخریب کامپوزیت شناسایی شود.

مقالات بسیاری بر تشخیص آسیب ضربه با استفاده از روشهای مختلف غیرمخرب متمرکز شدهاند. مایرهوفر و همکاران [4]، یوسامنتیاجا و همکاران [5] و مئولا و کارلوماگنو [6] برای تعیین منطقه آسیب ضربه در نمونههای كامپوزيت تقويت شده با الياف كربن از روش ترموگرافى استفاده نمودند. لیانگ و همکاران [7]، چنگ و همکاران [8] و کویاما و همکاران [9] از آزمونهای جریان گردایی (ET)، رائتور و لامرینگ [10] و کاپریوتی و همکاران [11] از امواج هدایت شده و هاسیوتیس و همکاران [12] و شن و همکاران [13] از آزمون فراصوتی روبش C برای تشخیص آسیب ضربه در مواد كامپوزيت تقويت شده با الياف كربن استفاده كردند. اونو و همكاران [14]، آموروسوو همكاران [15] و چاندارانا و همكاران [16] از روش آکوستیک^۳ برای نظارت بر سلامت ساختمان در طی فرآیند تولید و زمان به کارگیری در شناسایی منطقه آسیب در نمونههای کامپوزیت تقویت شده با الیاف کربن استفاده کردند. در برخی از مقالات از دو یا چند روش برای مقایسه توانایی و دقت آنها در تشخیص منطقه آسیب بهره گرفته شده است، برای مثال چانتول و همکاران [17] و راویکیران و همکاران [18] از آزمون فراصوتی روبش C و رادیوگرافی و چمبرز و همکاران [19] از روش آکوستیک و رادیوگرافی اشعه ایکس استفاده کردند. پیکزونکا و همکاران [20] از ترموگرافی ارتعاشی، شروگرافی و از آزمون روبشی فراصوت C برای پیدا کردن محل آسيب ضربه بهره گرفتند.

در مقالات یاد شده نیاز به روشی احساس می شود که بتواند روش های آزمون غیرمخرب را به صورت کمی مقایسه کند. در راستای این هدف در این مطالعه نمونهای از جنس کامپوزیت تقویت شده با الیاف کربن در رزین پلی استر مورد استفاده قرار گرفت. این نمونه تحت 4 آزمون ضربه قرار گرفته و نواحی عیب با استفاده از دو روش آزمون فراصوتی روبش C و رادیوگرافی با مایع نافذ شناسایی شده و مساحت و مرز عیوب ناشی از ضربه بهدست آمد. بدین ترتیب نتایج دو روش آزمون غیرمخرب به کار گرفته شده به صورت کمی و دقیق قابل مقایسه شد. در پایان یکی از نواحی عیب برش خورده و با استفاده از تصوير ميكروسكوپي مورد تحليل قرار گرفت.

2- روش تحقيق

1-2- آماده سازی نمونه مورد آزمایش

در این تحقیق الیاف کربن بافته شده با چگالی سطحی 200g/m² به عنوان تقویت کننده از شرکت سازه گستر خریداری گردید. ماتریسی از رزین پلیاستر غيراشباع[†] با 40% وزنى استايرن به عنوان حلال با ويسكوزيته cP 6500 از شركت صنعت شيمي از استان بوشهر تهيه شد. متيل اتيل كتون پراكسيد⁶ و

نفتنات کبالت⁹ به عنوان آغازکننده و شتابدهنده مورد استفاده قرار گرفتند که به ترتیب از شرکت پراکسید ایران و نوبل^۷ تهیه گردیدند. نمونه مورد استفاده در این مطالعه در مؤسسه پلیمر و پتروشیمی ایران تولید گردید. صفحات كامپوزيت از الياف كربن و رزين پلي استر و با استفاده از روش لايه چيني دستي^ در شرايط خلاء و در ابعاد 250.1004 ميلي متر ساخته شد.

2-2- آزمون ضربه

آزمونهای ضربه با استفاده از تفنگ گاز انجام شد (شکل 1). تفنگ گاز متشکل از قسمتهای لوله تفنگ صاف و طولانی (به طول 3 متر) با قطر داخلی 8.7 میلیمتر، شیر بازکننده فشار سریع، واحد بارگیری پرتابه، مخزن گاز، یک مخزن گاز 500 میلیلیتر برای هر گلوله، نگهدارنده هدف و ضربه گیر بود. پرتابه کروی فولادی سخت با قطر 8.7 میلیمتر برای تمام آزمونهای ضربه استفاده شد. پرتابه در این سامانه به دلیل فشار گاز در لوله تفنگ به جلو رانده شده و به نمونه برخورد می کند. اگر پرتابه دارای سرعت بالا باشد، از نمونه عبور کرده و توسط ضربه گیر متوقف می گردد. با توجه به مقاله ناصرزاده و ثابت [21] بین فشارهای مختلف گاز و سرعتهای اولیه پرتابه (در نتيجه مقدار انرژی اوليه پرتابه) در محدوده کم فشار رابطه خطی وجود دارد. بر اثر ضربه پرتابه به نمونه کامپوزیتی عیوب مختلفی به وجود میآید که این عیوب در سطح انرژی پایین به صورت شکست زمینه بوده و در سطوح بالاتر از انرژی ضربه به صورت عیوب جدایش لایهای، جدایش الیاف از زمینه، شکست الیاف و برخی مواقع نفوذ پرتابه به داخل نمونه کامپوزیتی ظاهر می گردند و جز عیوب داخلی در کامپوزیت هاست. عیوب هندسی مثل ایجاد فرورفتگی سطح نمونه در اثر ضربه و اعواج مد نظر نبودهاند که به صورت چشمی قابل شناسایی هستند؛ بنابراین مقدار فشار گاز به اندازههای مختلف تغییر داده شد که ساچمه از نمونه عبور نکرده و ناحیه ضربه قابل مشاهده نباشد.

C−3-2 آزمون فراصوتی روبش C

در این مطالعه آزمون فراصوتی روبش C به روش غوطهوری و بازتابی برای ارزیابی نمونه ضربه دیده مورد استفاده قرار گرفت. نمونه با استفاده از یک تراگذار متمرکز (قطر 14 میلیمتر و طول کانونی 27 میلیمتر) با فرکانس مرکزی 1MHz خریداری شده از شرکت داپلر^۹ چین مورد آزمون قرار گرفت. سيستم آزمون فراصوت از پل روبشي با رزولوشن 0.025 ميليمتر، فرستنده/ دریافت کننده امواج فراصوت مدل کرات کرامر^{۱۰} با فرکانس 150MHz و یک اسیلوسکوپ دیجیتال مدل هیولت پاکارد^{۱۱} با فرکانس 500MHz تشکیل شده است که برای دریافت سیگنال فراصوت استفاده می شود. یک رایانه شخصی با نرمافزار لب ويو فرايند آزمون را كنترل مىكند. شكل موج فراصوت در طول زمان روبش كامل در هر نقطه به صورت ديجيتايزشده در حافظه بافر اسیلوسکوپ ذخیره شده و هنگامی که بافر پر شد به هارد دیسک رایانه منتقل مىشود.

شکل 2 چیدمان آزمون فراصوتی به روش غوطهوری و بازتابی را نشان میدهد. نمونه روی تکیهگاهی صاف در داخل مخزن آب قرار گرفته و زاویه پروب تنظیم می شود تا بیشترین دامنه اکوها مشاهده شود. این بازرسی طبق

¹ Delamination

Non-destructive Testing (NDT)

Acoustic Emission (AE) BUSHPOL 751129

⁵ Methyl ethyl ketone peroxide

⁶ Cobalt naphthenate

AKZO 8 Hand lay-up

⁹ Doppler

⁾ Krautkramer HIS2

¹¹ Hewlett Packard 54520A MHz



متوسط ارائه دهد.

2-5- تصوير ميكروسكوپي

Fig. 2 Ultrasonic Immersion Testing set up

رادیوگرافی با وضوح بالایی را برای نمونههای کامپوزیتی با اندازه کوچک تا

ميلي آمپر، زمان قرار گرفتن نمونه تحت اثر اشعه ايكس برابر 180 ثانيه و

فيلمريز^٣ استفاده شد. فاصله بين فيلم و منبع اشعه ايكس حدود 60 ميليمتر

بود. فیلم در اتاق تاریک پس از تاباندن اشعه ایکس به نمونه طی سه مرحله

ظاهر شد. در مرحله اول فیلم در اتاق تاریک در محلول مایع ظهور و آب با

درصد حجمی 4 به 1 به مدت 8 دقیقه قرار داده شد. در مرحله دوم فیلم با

آب كاملاً شسته شده و در مرحله آخر در محلول مايع تثبيت كننده و آب با

درصد حجمی 4 به 1 به مدت 2 دقیقه قرار گرفت. در نهایت فیلم ظاهر شده

در مجاورت محیط خشک شد. تصویر دیجیتال فیلم پس از پردازش فیلم با

استفاده از یک اسکنر نوری با مقدار وضوح 600dpi برای مشاهده و

نمونه در ابتدا به وسیله اره روکش داده شده با الماس بریده شده و در داخل

رزین اکریلیک قرار داده می شود تا بتوان نمونه را در مرحله پولیش کردن در

دست نگه داشت. سطح برش خورده نمونه طی سه مرحله با استفاده از

كاغذهاى سمباده سيليكن كاربايد با شمارههاى 300، 600 و 1200 ساييده

می شود تا اثر مرحله برش از آن حذف شده و سطح نمونه به صورت صفحهای صاف در آید. نمونه روی چرخ دوار با استفاده از خمیر الماس 3 میکرون و

اندازه گیری مساحت مناطق آسیب دیده مورد استفاده قرار گرفت.

برای بهدست آوردن تصویر رادیوگرافی از ولتاژ 21 کیلو ولت، جریان 3



استاندارد ASTM E494-10 انجام شد. سطح جلویی نمونه طبق این استاندارد باید عمود بر جهت ارسال موج و حداقل دارای صافی سطح 3.2 میکرومتر و حداکثر $^{2}\pm$ غیرموازی باشد. گام روبش جهت روبش سطح نمونه در طول و عرض محورها در مرحله اول 1 و در مرحله دوم 0.2 میلیمتر در نظر گرفته شد.

2-4- روش آزمون راديوگرافي

در این مطالعه از آنالیز اشعه ایکس برای شناسایی نواحی آسیبدیده از ضربه در نمونه کامپوزیتی استفاده شد. ابتدا نمونه به مدت 5 ساعت در محلول یدید روی (شامل 60 گرم یدید روی، 10 میلیلیتر آب، 10 میلیلیتر الکل ایزوپروپیل و 6 میلیلیتر کوداک فوتوفلو⁽⁾) که در برابر اشعه ایکس مات است، غوطهور شد [22]. به این ترتیب محلول در مناطق آسیب دیده نفوذ کرده و کنتراست بین مناطق آسیبدیده و سالم را با تغییر ضریب جذب اشعه ایکس در مناطق آسیب دیده، افزایش میدهد. سپس نمونه با استون به دقت پاکسازی شده و رادیوگرافی با استفاده از کابینت^۲ (مدل 438554) انجام شد.

سیستم رادیوگرافی متشکل از مولد اشعه ایکس خود یکسو شده با جریان 3 میلیآمپر و ولتاژ خروجی قابل تنظیم بین 10 و 130 کیلو ولت است. سیستم اشعه ایکس با توجه به استفاده از منبع اشعه ایکس با اندازه 0.5 میلیمتر و ضخامت دریچه بریلیوم برابر با 0.64 میلیمتر میتواند تصاویر

³ AGFA NDT D4

¹ Kodak Photoflo

² HP Faxitron



Fig .3 Ultrasonic Immersion pulse-echo Testing set up شکل 3 چیدمان آزمون فراصوتی غوطهوری بازتابی



Fig. 4 obtained signal from figure 3 set-up for: a- impacted areas, bintact areas منگل 4 سیگنالهای بهدستآمده از شکل 3 برای الف- ناحیه عیب، ب- ناحیه سالم

C روبش -2-1-3

در شكل 5 روش روبش C به صورت شماتيك نشان داده شده است. در اين تصوير مسير حركت پروب روى قطعه نشان داده شده است تا بتواند كل سطح قطعه را جاروب كند. مسير حركت پروب روى مسيرى خطى (محور X) انجام مىشود. مسير طولى نمونه با فاصلههاى گام بين دو نقطه متوالى طى شده و فرستادن و دريافتن اكو توسط تراگذار صورت مى گيرد. با رسيدن پروب به انتهاى مسير طولى، پروب به اندازه گام در راستاى عرض (محور Y) جابهجا شده و موازى مسير طولى پيشين و خلاف جهت آن مسير را طى مىكند. (لزوماً ميزان گام در راستاى $X \ Y$ برابر نيستند) در هر نقطه سيگنالى مشابه شكل 4-a,b ذخيره مىشود. با مقايسه دو شكل تفاوت اكوهاى بهدست آمده از دو ناحيه سالم و معيوب نمونه مشخص مىشود. در ناحيه معيوب دامنه اكوى سطح جلو افزايش يافته و دامنه اكوهاى WB و R كاهش يافته يا كاملاً ميرا مىشود. با توجه به تفاوت ذكر شده دو ناحيه سالم يا معيوب مشخص ميرا مىشود. با توجه به تفاوت ذكر شده دو ناحيه سالم يا معيوب مشخص

زمان آزمون با توجه به مقدار گام در نظر گرفته شده برای روبش C میتواند بسیار بالا رود. به منظور جلوگیری از اتلاف زمان و هزینه در ابتدا سپس پودر آلومینا همراه با آب مقطر پولیش می شود تا سطح مورد نظر کاملاً پرداخت شود. سطح پرداخت شده نمونه با کمک میکروسکوپ نوری مدل ویلد^۱ مشاهده شد و میکروگرافها توسط دوربین دیجیتال مدل کنون^۲ نصب شده بر لوله نوری میکروسکوپ، تهیه گردیدند.

3- نتايج

3-1- آزمون فراصوتی روبش C 1-1-3- روبش A

در شکل 3 آزمون فراصوتی غوطهوری و بازتابی نشان داده شده است. ابتدا نمونه در مخزن آب روی سطح صافی قرار داده شده و توسط تراگذار امواجی به داخل نمونه فرستاده میشود. در شکل 4-a, له ترتیب سیگنالهای بهدستآمده از قسمتهای سالم و معیوب نمونه تحت آزمون در شکل 3 آورده شده است. در این تصویر L فاصله بین تراگذار و نمونه، L ارتفاع پایهها، Dضخامت نمونه، FS اکوی حاصل از سطح جلویی نمونه⁷، WB اکوهای بازتاب از سطح پشتی⁴ نمونه و R اکوی حاصل از سطح جلویی سطح منعکس کننده⁶ هستند. با توجه به دو شکل نشان داده شده میتوان معادلات (2.) را بهدست آورد.

$$2t_1 = \frac{2L_1}{V_{\text{water}}} \tag{1}$$

$$2t_2 = \frac{2d}{V_{\text{sample}}} \tag{2}$$

در معادلات (2,1) $2t_1$ تأخیر زمانی⁶ بین اکوهای حاصل از سطح جلویی نمونه و تراگذار، 2t₂ تأخیر زمانی بین سطح جلویی نمونه و اکوی بازتابیده از سطح $V_{
m water}$ و سرعت صوت طولی در نمونه و $V_{
m sample}$ سرعت صوت طولی در نمونه و سرعت صوت طولى در آب است [23]. با مقايسه شكل 4-a,b مشخص می شود که در ناحیه معیوب سیگنال R حذف و سیگنال BW تضعیف یا حذف می شود. در مواد کامپوزیتی تضعیف امواج (میرایی) به شدت بالاست، به طوری که سطح نمونه در ناحیه ضربه دچار تغییرات شدیدی شده و موج برگشتی از سطح پشتی را تضعیف کرده و باعث کاهش دامنه آن می گردد. چه بسا در افزایش خیلی کم ضخامت، اکوی سطح پشت مشاهده نمی شود؛ بنابراین در نواحی که دچار ضربه شدهاند به دلیل پدیدههایی مثل پخششدگی موج برگشتی، خروج از توازی بین سطح پروب فراصوتی با سطح نمونه به دلیل اعوجاج و مواردی از این قبیل تضعیف اکوی سطح پشت و یا کاهش دامنه آن کاملاً قابل توجیه است. این پدیده در مورد اکوی R نیز به شدت تشدید می شود، زیرا باید مسافت بیشتری را طی کند. از این ویژگی می توان برای شناسایی نواحی معیوب و سالم استفاده کرد. برای حصول بیشترین قابلیت تفکیک از تراگذار متمرکزکننده لازم است فاصله کانونی را روى سطح بالايي نمونه متمركز كنيم. با توجه به فاصله كانوني پروب استفاده شده برابر با 27 میلیمتر و سرعت صوت طولی در محیط آبی برابر با 1481 متر بر ثانیه [24]، مقدار زمانی پیک در اکوی FS باید مطابق رابطه (3) بەدست آيد.

$$TD = \frac{27 \text{mm} \times 2}{1481 \text{m/s}} = 36.46 \ \mu\text{m}$$

(3)

¹ Wild M420

² Canon D650

³ Front Surface (FS)

⁴ Back Wall

⁵ Reflector surface

⁶ Time Delay

مقدار گام در دو راستای محور X و Y برابر 1 میلیمتر در نظر گرفته شد. شکل 6 تصویر روبش C برای نمونه با گام 1 میلیمتر را نشان میدهد. در این تصویر نواحی عیب به خوبی مشخص هستند.

به منظور بهبود دقت بعد از مشخص شدن حدود نواحی متأثر از ضربه، همان نواحی با گام 0.2 میلیمتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل 7 تصویر روبش C نواحی عیب را با گام 0.2 میلیمتر نشان میدهد. تصاویر بهدست آمده را برای بهدست آوردن مساحت ناحیه عیب تحت فیلتر آستانهای قرار داده و تصویر باینری بهدست میآید. با تنظیم نرمافزار ایمبچ جی روی 5 پیکسل بر میلیمتر و انتخاب نواحی عیب، مساحت این نواحی مطابق جدول 1 بهدست آمد.

شکل 8 تصویر روبش C از نمونه را به صورت سه بعدی نمایش می دهد. اثر ضربه وارد شده روی سطح نمونه در این تصویر به خوبی مشهود است. شکل 9 نواحی عیب را به صورت رویه نشان می دهد. در این تصویر مشاهده می شود نواحی اطراف مناطق ضربه خورده نیز دچار اعوجاج شدهاند.

3-2- آزمون راديوگرافي

شکل 10 تصویر حاصل از رادیوگرافی نمونه را نشان میدهد. در این تصویر چهار ناحیه متأثر از ضربه به خوبی مشحص هستند. با استفاده از فیلتر آستانهای نواحی عیب و سالم از هم تقکیک شده و مساحت نواحی عیب با استفاده از نرمافزار ایمبج جی مطابق جدول 2 بهدست میآید.



Fig .5 Ultrasonic C-scan set-up

شکل 5 چیدمان روبش C فراصوتی



Fig. 6 Ultrasonic C-scan result of specimen with step = 1 mm in X and Y direction

شکل 6 تصویر روبش C فراصوتی بهدست آمده از نمونه با گام 1 میلیمتر در دو راستای *X* و Y





Fig. 7 Ultrasonic C-scan result of specimen with step =0.2 mm in X and *Y* direction

شکل 7 تصویر روبش C فراصوتی بهدست آمده از نمونه با گام 0.2 میلیمتر در دو راستای X و Y

جدول 1 مساحت نواحی عیب بهدست آمده از روش فراصوتی روبش C و استفاده از نرم افزار ایمبج جی

 Table 1 Obtained impact region areas by using Ultrasonic C-scan method and ImageJ software

عيب چهارم	عيب سوم	عيب دوم	عيب اول	شمارہ عیب
114.349	575.690	418.301	237.295	مساحت (mm ²)





شکل 8 تصویر روبش C سه بعدی از نمونه با استفاده از روش روبش C و نرم افزار ایمیج جی

با مقایسه نتایج موجود در جدولهای 1 و 2 مشاهده می شود که مساحت نواحی عیب با استفاده از روش روبش C بیشتر از روش رادیوگرافی است. این پدیده می تواند بدین دلیل باشد که امواج فراصوتی دارای حساسیت بیشتری از امواج رادیوگرافی نسبت به اعوجاج و هرگونه انحراف از وضعیت ایده آل در نمونه هستند. شکل 9 به خوبی این مطلب را نشان می دهد.



Fig. 9 surface image of sample by Ultrasonic C-scan and ImageJ software

شکل 9 تصویر رویهای از نمونه با استفاده از روش روبش C و نرمافزار ایمبج جی



Fig. 10 X-ray radiography result

شکل 10 تصویر حاصل از رادیوگرافی نمونه

جدول 2 مساحت نواحی عیب بهدست آمده از روش رادیو گرافی و استفاده از نرمافزار ايمبج جي

Table 2 Obtained	impact r	region	areas	by	using	X-ray	radiography
method and ImageJ	software						

عيب چها	عيب سوم	عيب دوم	عيب اول	شماره عيب
160.880	695.200	444.720	308.400	مساحت (mm ²)

3-3- تصوير ميكروسكوپي

استفاده از تصویر میکروسکوپی برای مشاهده ریزساختار موجود در نواحی عيب، لازم است. شكل 11 تصوير ميكروسكوپي از ناحيه عيب شماره 2 را به

عنوان نمونهای از عیوب موجود نشان میدهد. در این تصویر دو ناحیه ترک خورده مشاهده می شود که راستای ضربه در سطح مقطع نمونه را نشان میدهد. عیب لایه لایه شدگی در نزدیکی سطح پشتی به وجود آمده است. لايهها در اثر ضربه وارد شده به نمونه در سطح بالايي نمونه دچار عيب عدم توازی شدهاند. این بخش تا قسمتهایی از نواحی سمت راست عیب نیز مشاهده می شود. اندازه ناحیه بین دو ترک ریز حاصل از ضربه با استفاده از نرمافزار ایمیج جی قابل اندازه گیری است که مقدار آن به قطر ناحیه عیب بهدستآمده از روش رادیوگرافی نزدیک است، اما در اطراف ناحیه یادشده لایه لایه شدگی و عیوب دیگری هست که پس از برش نمونه و بررسی سطح مقطع ناحیه ضربه خورده به وسیله میکروسکوپ نوری مشخص شدهاند. با در نظر گرفتن کل ناحیه عیوب و مقایسه آن با نتایج حاصل از روبش C مشخص می شود که روش روبش C دقت و احتیاط بیشتری در مقایسه با روش رادیوگرافی در شناسایی و اندازهگیری عیوب دارد. تعدادی از مکهای موجود در نمونه که در شکل مشخص هستند در مرحله تولید ایجاد شدهاند. از پروب متمر کزشونده برای انجام تست روبش C استفاده شده که این عیوب نمی تواند داخل پهنای باند موج قرار گرفته و به راحتی قابل تشخیص است. این مطلب برتری پروب متمرکز شونده را نسبت به پروبهای نرمال نشان میدهد.

4- نتيجه گيري

در این تحقیق دقت اندازه گیری ناحیه عیب در مواد کامپوزیتی بررسی شد. بدین منظور نمونهای کامپوزیتی از الیاف تقویت شده کربن در رزین پلی استر مورد استفاده قرار گرفت. این نمونه با استفاده از روش دستی تولید شده و تحت آزمون ضربه قرار گرفت. با تغییرات مقدار انرژی اولیه در نمونه 4 ناحیه عیب ایجاد شد. نواحی عیب با استفاده از دو روش آزمون فراصوتی شامل روش رادیوگرافی با مایع نافذ و آزمون فراصوتی روبش C مورد ارزیابی قرار گرفت. تصویرهای بهدستآمده از دو روش با استفاده از نرمافزار ایمبججی مورد ارزیابی قرار گرفته و مساحت نواحی عیب محاسبه شد. با مقایسه نتایج حاصل از دو روش مشاهده شد که دو روش توانایی شناسایی ناحیه عیب را به خوبی دارند، اما روش روبش C مساحت ناحیه عیب را بیشتر نشان میدهد. این روش حساسیت بیشتری به تغییرات به وجود آمده در نمونه بر اثر ضربه دارد. بر اثر ضربه در سطح نمونه اعوجاج صفحهای ایجاد می شود که روش رادیوگرافی توانایی شناسایی آنها را ندارد. با استفاده از خروجی روش روبش C می توان تصویری سه بعدی از نمونه بهدست آورد که تمامی اعوجاجهای سطح نمونه را به شکل سه بعدی نمایش دهد. با در نظر گرفتن مطالب یادشده به نظر میرسد که روش روبش C روش مطمئن تری است. البته بیان



Fig. 11 Microscopic image from second impacted area

شکل 11 تصویر میکروسکوپی از ناحیه عیب دوم

thermography, Infrared Physics & Technology, Vol. 58, No.1, pp. 36-46, 2013.

- [6] C. Meola, G. M. Carlomagno, Infrared thermography to evaluate impact damage in glass/epoxy with manufacturing defects, *Impact Engineering*, Vol. 67, No. 1, pp. 1-11, 2014.
- [7] T. Liang, W. Ren, G. Y. Tian, M. Elradi, Y. Gao, Low energy impact damage detection in CFRP using eddy current pulsed Thermography, *Composite Structure*, Vol. 143, No. 1, pp. 352-361, 2016.
- [8] L. Cheng, B. Gao, G. Y. Tian, W. L. Woo, G. Berthiau, Impact damage detection and identification using eddy current pulsed thermography through integration of PCA and ICA, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 14, No. 5, pp. 1655-1663, 2014.
- [9] K. Koyama, H. Hoshikawa, T. Hirano, Investigation of impact damage of carbon fiber rainforced plastic (CFRP) by eddy current non-destructive testing, *International Workshop Smart Materials, Structures & NDT in Aerospace*, Montreal, Canada, 2011.
- [10] N. Rauter, R. Lammering, Impact damage detection in composite structures considering nonlinear lamb wave propagation, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, Vol. 22, No. 1-2, pp. 44-51, 2014.
- [11] M. Capriotti, H. E. Kim, F. L. D. Scalea, H. Kim, Non-Destructive inspection of impact damage in composite aircraft panels by ultrasonic guided waves and statistical processing, *Materials*, Vol. 10, No. 6, pp. 1-12, 2017.
- [12] Th. Hasiotis, E. Badogiannis, N. G. Tsouvalis, Application of ultrasonic cscan techniques for tracing defects in laminated composite materials, *Journal* of Mechanical Engineering, Vol. 57, No. 3, pp.192-203, 2011.
- [13] Q. Shen, M. Omar, Sh. Dongri, Ultrasonic NDE techniques for impact damage inspection on CFRP laminates, *Journal of Materials Science Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 2-16, 2012.
 [14] K. Ono, Y. Mizutani, M. Takemoto, Analysis of acoustic emission from
- [14] K. Ono, Y. Mizutani, M. Takemoto, Analysis of acoustic emission from impact and fracture of CFRP laminates, *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 25, No. 1, pp. 179-186, 2007.
- [15] M. P. Amoroso, C. Caneva, F. Nanni, M. Valente, Acoustic emmision performance for damage monitoring of impacted FRP Composites Laminates, *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 22, No. 1, pp. 1447-1454, 2003.
- [16] N. Chandarana, D. M. Sanchez, C. Soutis, M. Gresil, Early damage detection in composites during fabrication and mechanical testing, *Materials*, Vol. 10, No. 7, pp. 1-16, 2017.
- [17] W, J. Cantwell, J. Morton, Detection of impact damage in CFRP laminates, *Composite Structures*, Vol. 3, No. 3, pp. 241-257, 1985.
- [18] N. K. Ravikiran, A. Venkataramanaiah, M. R. Bhat, C. R. L. Murthy, Detection and evaluation of impact damage in CFRP laminates using ultrasound c-scan and IR thermography *National Seminar on Non-Destructive Evaluation*, Hyderabad, India, 2006.
- [19] A. R. Chambers, N. O. Heinje, Damage charactrisation in CFRP using acoustic emission, X-Ray tomography and FBG Sensors, 17th international conference on composite material, Edinburgh, England, July 27-31, 2009.
- [20] L. Pieczonka, F. Aymerich, W. J. Staszewski, Impact damage detection in light composite sandwich panels, *Procedia Engineering*, Vol. 88, No. 1, pp. 216 – 221, 2014.
- [21] R. Nasirzadeh, A. R. Sabet, Influence of nanoclay reinforced polyurethane foam toward composite sandwich structure behavior under high velocity impact, *Journal of Cellular Plastics*, Vol. 52, No. 3, pp. 253-275, 2015.
- [22] J. Summerscales, Non-destructive testing of fibre-reinforced plastics composites, pp. 1-24, London, Elsevier applied science, 1987.
- [23] A. Arhamnamazi, F. Honarvar, Improvement of ultrasonic wave velocity measurements in steel components by using the SAGE algorithm, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 15, pp. 241-248, 2015. (in Persian, فارسی)
- [24] Speed of Sound in Water Engineering ToolBox, Accessed on 15 November 2016; https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-water-d_598.html.

این مطلب نیز ضروری است که روش رادیوگرافی نیاز به زمان کمتری دارد؛ بنابراین میتوان از دو روش به عنوان مکمل یکدیگر استفاده کرد.

5- فهرست علايم

BW اکوی بازتاب از سطح پشتی نمونه

- D ضخامت نمونه
- FS اکوی حاصل از سطح جلویی نمونه
 - فاصله بین تراگذار و نمونه L_1
 - *L*_ ارتفاع پايەھا
- R اکوی حاصل از سطح جلویی سطح منعکس کننده
- تأخیر زمانی بین اکوهای حاصل از سطح جلویی نمونه و 2t₁ تراگذار
- تأخیر زمانی بین سطح جلویی نمونه و اکوی بازتابیده از سطح $2t_2$ پشتی اول

سرعت صوت طولی در نمونه $V_{
m sample}$

، سرعت صوت طولی در آب *V*water

6- تقدير و تشكر

نویسندگان این مقاله برخود لازم میدانند از مسئولین آزمایشگاه پلاستیک در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران برای ساخت نمونه و از آزمایشگاه آزمون غیرمخرب دانشگاه کالیاری در ایتالیا برای در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمون روبش C رادیوگرافی و سایر امکانات کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

7- مراجع

- D. A. Hutchins, A. C. Pardoe, D. R. Billson, D. L. Hines, Neural network correction of ultrasonic C-scan images, *Ultrasonic*, Vol. 37, No. 4, pp. 263-272, 1999.
- [2] Y. He, G. Y. Tian, M. Pan, D. Chen, Non-destructive testing of low-energy impact in CFRP laminates and interior defects in honeycomb sandwich using scanning pulsed eddy current, *Composites: Part B*, Vol. 59, No. 1, pp. 196-203, 2014.
- [3] X. E. Gros, K. Takahashi, Non-destructive evaluation of the effect of ply orientation on the impact resistance of thermoplastic toughened thermoset resin polymeric matrix composite, *International Conference on Advanced Materials*, Vol. 4, No. 3, pp. 8-14, 1998.
- [4] Ch. Maierhofer, Ph. Myrach, M. Reischel, H. Steinfurth, M. Röllig, M. Kunert, Characterizing damage in CFRP structures using flash thermography in reflection and transmission configurations, *Composites: Part B*, Vol. 57, No. 1, pp. 35-46, 2014.
- [5] R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediaga, L. Vega, I. López, Automatic detection of impact damage in carbon fiber composites using active

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-03