

## تاثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت مس/گرافن

سید حمید دانشمند\*<sup>۱</sup>، محمد ذاکری<sup>۲</sup>، تقی شجاعی<sup>۳</sup>، علی محمد بیگی<sup>۱</sup> و علی نظری<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

۲- استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

۳- دانشجوی دکتری، گروه هوافضا، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۶/۷، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۲/۱۰/۲۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۱۰/۲۲

### چکیده:

در این تحقیق، برای بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت مس/گرافن با استفاده از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی و پرس سرد از طراحی آزمون تاگوچی استفاده شده است که متغیرهایی نظیر درصد گرافن، زمان آسیاب کاری، فشار پرس و دمای تف جوشی در این تحقیق بکار برده شده است. در این مقاله تاثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت مس/گرافن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور عملیات آلیاژسازی مکانیکی پودرهای مذکور به مدت حداکثر ۲۰ ساعت درون آسیاب گلوله‌ای سایشی و تحت محیط گاز آرگون انجام شد. برای بررسی مورفولوژی ذرات پودر از میکروسکوپ الکترونی روبشی، آنالیز مخلوط پودری از الگوی پراش پرتو X و برای ردیابی گرافن از طیف سنج آنالیز رامان استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود خواص مکانیکی می باشد به صورتی که بالاترین استحکام فشاری (۵۶۲MPa) در میزان ۰/۵ درصد گرافن و بالاترین سختی (۶۳/۳BHN) در میزان ۰/۲ درصد گرافن به دست آمد.

### واژه‌های کلیدی:

نانوکامپوزیت مس/گرافن، آلیاژسازی مکانیکی، خواص مکانیکی.

## The effect of graphene percent on mechanical properties of Cu/graphene nanocomposites.

Seyed Hamid Daneshmand\*<sup>1</sup>, Mohammad Zakeri<sup>2</sup>, Taghi shojaee<sup>3</sup>, Ali Mohammadbeigy<sup>1</sup>, Ali Nazari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Engineering, Islamic Azad University, Saveh, Iran

<sup>2</sup>Institute of Ceramics, Materials and Energy Research Institute, Karaj, Iran

<sup>3</sup>Aerospace Faculty, University of Imam Hussain (AS), Tehran, Iran

**Abstract** In this study, to investigate the mechanical properties of Cu / graphene nanocomposite using by mechanical alloying process of cold pressing of the Taguchi experimental design is used when variables such as percentage of graphene, milling time, pressure pressing and sintered temperatures used in this study. In this article the effect of graphene on the mechanical properties of copper / graphene nanocomposite has been studied. For this operation, the mechanical alloying powders in a ball mill for ۲۰ hours maximum wear under argon atmosphere was carried out. Powder particle morphology by scanning electron microscopy, X-ray diffraction analysis of the powder mixture model and Raman spectra analyze has been used for graphene detect. According to the results mechanical properties are improved such that the highest compressive strength (MPa<sup>۵۶۲</sup>) and highest hardness (۶۳/۳ BHN) are achieved in the Al composite reinforced with ۰/۵ % and ۰/۲% graphene respectively.

**Key word :** Cu/Graphene nanocomposites, Mechanical alloying, mechanical properties.

## ۱- مقدمه :

میکرومکانیکی، روش رشد همبافته، رسوب بخار شیمیایی و روش های شیمیایی را نام برد. برخی روش های دیگری همانند شکافتن نانو لوله های کربنی برای تولید نانو نوارهای گرافن و ساخت با امواج ماکروویو نیز اخیراً بکاربرده شده اند [۷]. در تحقیقاتی که بر روی نانو کامپوزیت مس/گرافن انجام شده است نشان می دهد که گرافن باعث افزایش هدایت حرارتی مس شده است. با استفاده از گرافن تک لایه در این نانو کامپوزیت ها میزان هدایت حرارتی به بیشترین مقدار خود یعنی حدود MW<sup>-۱</sup> K<sup>-۱</sup> ۵۰۰ می رسد در حالی که هدایت حرارتی این نانو کامپوزیت ها با استفاده از گرافن دو لایه به حدود نصف میزان گرافن تک لایه می باشد و برای گرافن های بیشتر از سه لایه هدایت حرارتی به <sup>-۱</sup> K<sup>-۱</sup> MW ۱۰۰ کاهش پیدا می کند [۸]. کامپوزیت های پایه مس تقویت شده با گرافن به سبب هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب و استحکام بالا، ماده مناسب برای اتصالات الکتریکی می باشد. همچنین از گرافن بعنوان فاز تقویت کننده در نانو کامپوزیت آلومینیوم/گرافن توسط استفن بارتولوچی و همکارانش در امریکا انجام شده است. که در آن پژوهش سه نمونه شامل آلومینیوم خالص، آلومینیوم ۱ درصد نانولوله های کربنی و آلومینیوم ۰/۱ درصد گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی و پرس ایزواستاتیک گرم و اکستروود تولید شده است. نتایج نشان دهنده افت خواص مکانیکی شده نانو کامپوزیت آلومینیوم/گرافن است که دلیل آن را تشکیل کاربید آلومینیوم ناشی از کیفیت پایین گرافن بیان کرده است [۹]. حال در این پژوهش قصد بر تولید نانو کامپوزیت مس/گرافن با درصد های مختلف و بررسی خواص مکانیکی این نانو کامپوزیت می باشد.

## ۲- مواد و روش تحقیق :

در این پژوهش برای تهیه نانو کامپوزیت مس-گرافن از روش آلیاژسازی مکانیکی استفاده شده است که متغیرهای موجود در این پژوهش شامل درصد گرافن که عبارتند از ۰/۲، ۰/۵ و ۱، زمان آسیاب کاری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ساعت، دمای تف جوشی ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد و فشار تف جوشی ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ مگاپاسکال می باشد که برای جلوگیری از انجام آزمون های تکراری که نتایج آنها با توجه به آزمون های دیگر قابل پیش بینی

مس یکی از فلزات مهم مهندسی است زیرا در شرایط غیرآلیاژی و همچنین به صورت آلیاژ با فلزات دیگر کاربرد وسیعی دارد. در شرایط غیرآلیاژی، این فلز ترکیب خارق العاده ای از خواص دارد که آن را بصورت ماده ای اساسی در صنایع الکتریکی در می آورد [۱]. در گذشته اغلب از نقره بعنوان فلز پایه برای اتصالات الکتریکی استفاده می شد اما با گسترش صنایع الکتریکی و افزایش قیمت نقره یافتن جایگزین برای نقره در کنتاکت های الکتریکی با هدایت الکتریکی، گرمایی و استحکام بالا مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. از این رو کامپوزیت های پایه مس به سبب هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب آنها برای کاربرد در کنتاکت های الکتریکی مورد توجه قرار گرفت [۲]. گرافن یک ماده جذاب قابل توجه در سال های اخیر بوده است. گرافن ساختار دو بعدی از یک لایه منفرد شبکه لانه زنبوری کربنی می باشد. گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی الکتریکی (  $200000 \text{ Vs/cm}^2$  ) و رسانندگی گرمایی (  $5000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$  )، چگالی پایین (  $0.77 \text{ mg/m}^3$  ) و تحرک پذیری حامل های بار، رسانندگی نوری و خواص مکانیکی (مدول یانگ ۱۱۰۰ GPa و مقاومت بالا در برابر شکست ۱۲۵ GPa) به ماده ای منحصر بفرد تبدیل شده است. این سامانه جدید حالت جامد به واسطه این خواص فوق العاده به عنوان کاندید بسیار مناسب برای جایگزینی سیلیکون در نسل بعدی قطعه های فوتونیک و الکترونیک در نظر گرفته شده است و از این رو توجه کم سابقه ای را در تحقیقات بنیادی و کاربردی به خود جلب کرده است [۳]؛ [۴] مدل سازه های مولکولی حاکی از مدول و مقاومت مکانیکی بسیار بالای لایه های گرافن در گرافیت (  $\sigma = 125 \text{ GPa}$  ) و (  $E = 1 \text{ TPa}$  ) است که در نتیجه سبب شد تا از مواد کربنی به عنوان یک تقویت کننده عالی در صنایع مختلف کاربردهای فراوانی داشته باشد [۵]. برخی از کاربردهای گرافن عبارتند از : استفاده به جای فیبرهای کربن در کامپوزیت ها که باعث ایجاد هواپیماها و ماهواره های سبک تر گردد، استفاده شدن به جای سیلیکون های نیمه رسانا در ترانزیستورها، کاربرد در الکترونیک نوری و ایجاد توربین های بادی کارآمدتر [۶]. امروزه روش های بسیار متنوعی برای ساخت گرافن بکار برده می شود که از متداول ترین آنها می توان به روش های پوسته پوسته کردن

بایر آلمان با اندازه دانه کمتر از ۲۰ میکرون و کد محصول ۹۲۰۰۵ استفاده شده است. همچنین پودر گرافن با خلوص ۹۹٪ از شرکت نانو ساختار آویژه (نانو ساو) با تعداد لایه  $20 < n$  استفاده شده است. برای تهیه نمونه مس خالص و مس/گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی به ترتیب مراحل زیر انجام گرفت:

در این مرحله پژوهش ابتدا پودرهای مس و گرافن را با نسبت وزنی تعیین شده همراه با ۲ درصد وزنی اسیداستئاریک بعنوان تنظیم کننده فرآیند (PCA) با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰:۱ با قطر ۱۰ میلی‌متر در دستگاه آسیاب گلوله‌ای سایشی با محفظه آبگرد با سرعت چرخش ۲۵۰ دور بر دقیقه و تحت محیط گاز آرگون بطور مکانیکی آسیاب کاری شدند و آلیاژ مس/گرافن بدست آمد. جنس محفظه و گلوله‌های مورد استفاده از فولاد زنگ نزن بود. برای پرس از یک قالب فولادی گرم کار که تحت آبکاری و سخت کاری سطحی قرار گرفته است به قطر داخلی ۱۲ میلی‌متر استفاده شد. در این مرحله به منظور جلوگیری از اکسید شدن ذرات پودر، پودرها تحت فشار ۳۰ MPa و دمای ۵۰۰ °C قرار گرفت. احتمالاً با توجه به دمای ۵۰۰ °C اثر کار سرد حاصل از آسیاب مکانیکی حذف می‌شود. به همین ترتیب نیز ماده روان ساز خارج و انسجام اولیه حاصل می‌شود. به منظور بالا بردن چگالی نمونه‌ها و کاهش تخلخل، نمونه‌ها در همین مرحله، تحت فشار ۴۰۰ مگاپاسکال پرس شدند. سپس برای تف جوشی، نمونه‌ها را در محفظه ای حاوی گرافیت قرار داده و درب آنرا بسته و در داخل کوره عملیات حرارتی قرار دادیم تا نمونه‌ها در دمای ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ °C تف جوشی شوند، افزایش دما با نرخ ۱۰ °C/min و انتخاب شد همچنین زمان تف جوشی هم‌دما برابر یک ساعت بود، در نهایت نمونه‌ها در کوره سرد شدند. برای بررسی تشکیل فازها از XRD ساخت شرکت Bruker AXS با پرتو با طول موج ۱/۵۴۰۴ آنگستروم Cu K $\alpha$  و فیلتر نیکل استفاده شد. در این آزمایش زوایای مورد بررسی از ۱۰-۸۰ درجه می‌باشد. محاسبه اندازه بلورچه‌ها از طریق رابطه Williamson-Hall [۱۱] و بر مبنای پهنایش الگوهای XRD انجام شد. برای بررسی مورفولوژی پودرها از دستگاه SEM ساخت شرکت JEOL استفاده شد. همچنین برای ردیابی گرافن از دستگاه طیف سنج رامان ساخت شرکت BRUKER استفاده شد. چگالی نمونه‌های تولید شده با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم به روش ارشمیدس به دست آمده است. در ادامه به بررسی استحکام فشاری نمونه‌ها بر اساس استاندارد E9-89a [۱۲] با نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ در نظر گرفته شده است که قطر نمونه‌ها در این پژوهش ۱۲ میلی‌متر و

است، از طراحی آزمون به روش تاگوجی استفاده خواهد شد تا تعداد آزمون‌های لازم برای رسیدن به جواب بهینه مشخص گردد. طرح آزمایشی که توسط روش تاگوجی ارائه شده است، شامل آرایه‌های متعامدی است که متغیرهای تأثیرگذار بر روی فرآیند را سازماندهی می‌کند و نیز سطوحی را تعیین می‌کند که این متغیرها می‌توانند در آن سطوح تغییر نمایند. این آزمایش عواملی را تعیین می‌کند که کیفیت محصول را تا بیشترین حد و با کمترین میزان آزمایش‌ها، تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین در زمان و منابع صرفه‌جویی خواهد شد. با وارد کردن اطلاعات موجود به نرم‌افزار مربوطه (که در این پژوهش از نرم‌افزار کوآلتک استفاده خواهد شد)، تعداد آزمون‌های لازم به دست می‌آید [۱۰]. برای ۴ فاکتور که هر کدام ۳ سطح داشته باشند جدولی مطابق زیر داریم:

جدول (۱): متغیرهای موجود در تولید نانو کامپوزیت مس-گرافن.

عامل	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
عامل اول: درصد گرافن	۰/۲	۰/۵	۱
عامل دوم: زمان آسیاب کاری (h)	۱۰	۱۵	۲۰
عامل سوم: فشار تفجوشی (MPa)	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
عامل چهارم: دمای تفجوشی °C	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰

جدول (۲): مشخصات تولید نانو کامپوزیت مس-گرافن.

کد آزمون	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
N <sup>۱</sup>	۰/۲	۱۰	۴۰۰	۷۰۰
N <sup>۲</sup>	۰/۲	۱۵	۵۰۰	۸۰۰
N <sup>۳</sup>	۰/۲	۲۰	۶۰۰	۹۰۰
N <sup>۴</sup>	۰/۵	۱۰	۵۰۰	۹۰۰
N <sup>۵</sup>	۰/۵	۱۵	۶۰۰	۷۰۰
N <sup>۶</sup>	۰/۵	۲۰	۴۰۰	۸۰۰
N <sup>۷</sup>	۱	۱۰	۶۰۰	۸۰۰
N <sup>۸</sup>	۱	۱۵	۴۰۰	۹۰۰
N <sup>۹</sup>	۱	۲۰	۵۰۰	۷۰۰
N <sup>۱۰*</sup>	۰	۱۰	۴۰۰	۷۰۰

\* لازم به ذکر است که نمونه N<sup>۱۰</sup> به عنوان نمونه شاهد

می‌باشد.

در این پژوهش از پودرهای مس با خلوص ۹۹/۹٪ از شرکت

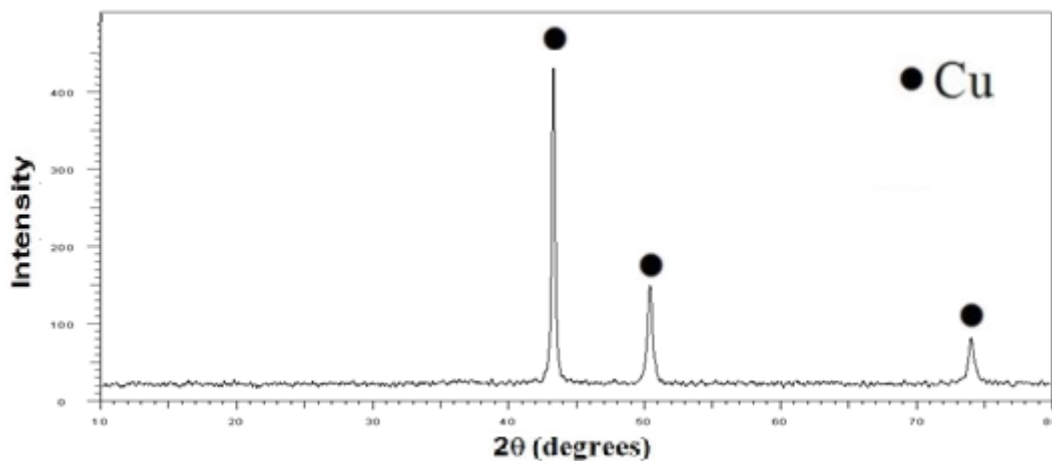
حین آلیاژسازی مکانیکی، مقدار جابجایی در قله های اصلی مس به دلیل افزایش زمان آسیاب کاری و همچنین تفاوت قطر اتمی مس و گرافن و تغییر یافتن ثابت شبکه مس به علت حضور گرافن در شبکه آن، مشاهده می شود. از نتایج الگوی پراش پرتو X در زمان های مختلف بر نمونه Cu-۰/۵wt% Graphene بر می آید که پهن شدن قله ها با گذشت زمان نشان دهنده ریز شدن ذرات است. با توجه به حضور احتمالی ذرات آهن در حین برخورد ذرات پودر به گلوله و محفظه آسیاب در شبکه مس وارد شدند، مقداری بر جابجایی قله ها تاثیر می گذارد. از آنجا که قطر اتمی آهن A ۲/۵۲ بوده و از مس کوچکتر است و در صورت قرار گرفتن اتم آهن در شبکه مس، فاصله بین صفحات بلوری مس و ثابت شبکه آن کاهش پیدا می کند و با توجه به رابطه براگ زاویه پراش متناسب با قله های اصلی مس خالص افزایش می یابد.

ارتفاع آنها ۱۸ میلیمتر در نظر گرفته شده است و تمام نمونه ها دارای ابعاد و سطح مقطع مساوی تحت بار ۰/۱۵ kg انجام گرفت. در نهایت برای بررسی سختی نمونه ها از دستگاه سختی سنجی برینل تحت بار ۶۰۰ N و قطر ساچمه ۲/۵ میلیمتر استفاده شد.

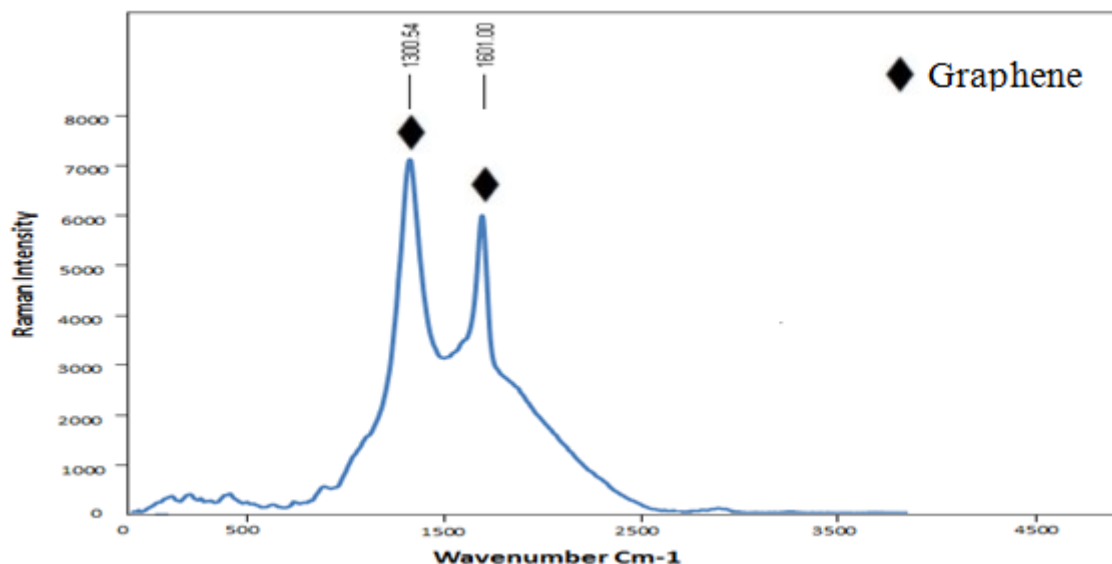
### ۳- نتایج و بحث :

#### ۳-۱- ارزیابی ساختار

نمودار ۱ نتایج آزمون پراش پرتو X نمونه Cu-۰/۵wt% Graphene به صورت مخلوط پودرها پس از مدت زمان ۱۵ ساعت آسیاب کردن، با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰ به ۱ را نشان می دهد. به دلیل تشابه الگوی پراش و نزدیک بودن درصد گرافن نمونه ها و ذرات تقویت کننده از ارائه آزمون پراش پرتو X برای تمام نمونه ها صرف نظر شد. با توجه به اینکه دستگاه قادر به تشخیص گرافن موجود در نمونه ها نبود، تنها قله های مس در این نتایج مشاهده می شود. اما با توجه به ایجاد محلول جامد در نمونه ها در



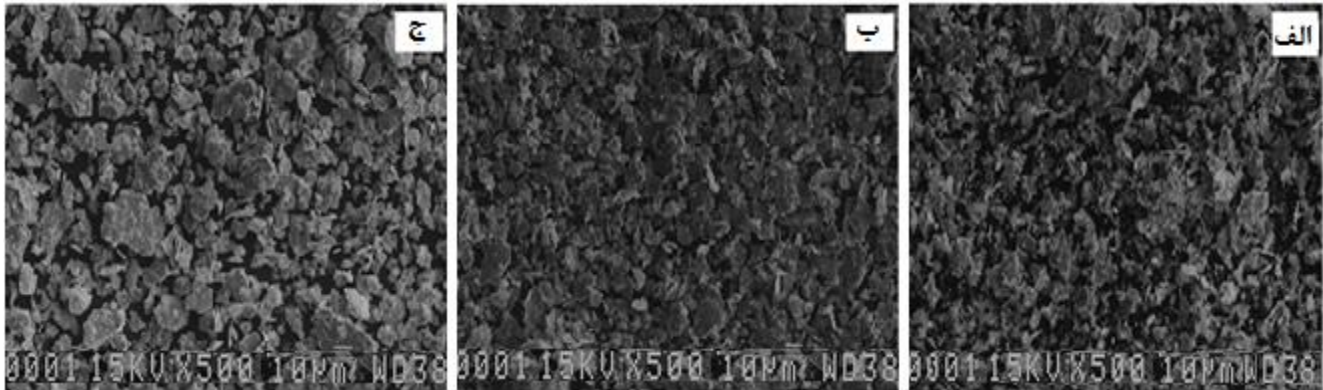
نمودار (۱): الگوی پراش پرتو X برای پودر Cu-1 wt% Graphene در زمان ۱۵ آسیاب کاری.



نمودار (۲): طیف رامان (Raman) برای ردیابی صفحات گرافن در نانو کامپوزیت Cu-۱wt% Graphene.

انجام شده که در نقاط مختلف آن طیف های مشابهی مشاهده شده است که از هر کدام یکی به شرح ذیل گزارش شده است. [۱۳] به منظور ارزیابی مورفولوژی ساختار از مخلوط پودر Cu-۰/۵ wt% Graphene در زمان های مختلف آسیاب تصاویر SEM گرفته شد که تصاویر آن در شکل (۱) آورده شده است.

نمودار (۲) طیف رامان را برای نمونه پودری مس ۱ درصد گرافن را نشان می‌دهد. از این آزمون جهت ردیابی گرافن در نانو کامپوزیت مس/گرافن استفاده گردید. همانطور که در نمودار (۲) مشاهده می شود دو قله بدست آمده است که نشان دهنده وجود گرافن در نانو کامپوزیت Cu-۱wt% Graphene می باشد. در این آزمون از چند نقطه مختلف نمونه طیف گیری



شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودر Cu-۰/۵ wt% Graphene در زمان های مختلف آسیاب، الف) ۱۰ ساعت، ب) ۱۵ ساعت و ج) ۲۰ ساعت آسیاب شده در بزرگنمایی X۵۰۰.

جدول (۳): نتایج بدست آمده از استحکام فشاری، سختی و چگالی.

شماره نمونه	سختی (BHN)	استحکام فشاری (MPa)	چگالی ( $gr/cm^3$ )	درصد تخلخل (%)
N۱	۵۶	۳۴۰	۷/۱۳	۱۹/۸۸
N۲	۶۴	۶۶۰	۶/۹۰	۲۲/۴۸
N۳	۷۰	۵۰۵	۶/۴۴	۲۷/۶۴
N۴	۵۸	۳۹۵	۶/۷۴	۲۴/۲۷
N۵	۷۲	۷۸۰	۷/۳۸	۱۷/۰۷
N۶	۵۷	۵۱۰	۶/۹۳	۲۲/۱۳
N۷	۶۲	۳۸۰	۷/۱۶	۱۹/۵۵
N۸	۶۰	۳۷۵	۶/۸۴	۲۳/۱۴
N۹	۵۰	۳۷۰	۷/۱۲	۲۰
*N۱۰	۳۹	۲۸۰	۶/۸۳	۲۳/۲۵

با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که بالاترین استحکام فشاری، سختی، چگالی و کمترین تخلخل در نمونه

با توجه به اینکه مس نرم است در حین آسیاب کاری، ذرات پودر نرم پهن می شوند، پس از جوش سرد شکسته و دوباره جوش می خورند. وقتی دو گلوله فلزی به هم برخورد می کنند مقداری پودر در بین آنها به دام می افتد. تغییر شکل پلاستیکی ذرات در اثر نیروی ضربه ای منجر به کار سختی و سپس شکست آنها می شود و سطوح جدید ذرات را قادر به جوش خوردن با هم و در نتیجه افزایش اندازه دانه می کند. از آنجایی که در مراحل اولیه آسیاب کردن، ذرات نرم اند و تمایل آنها به جوش خوردن و شکل گیری ذرات بزرگتر زیاد است، اندازه ذرات افزایش می یابد و به چند برابر ذرات اولیه می رسد. ذرات کامپوزیت در این مرحله دارای ساختار لایه ای با ترکیب متفاوت از ترکیب اولیه هستند. آلیاژ شدن مس با گرافن از این مرحله به بعد به علت تماس سطحی بیشتر و امکان نفوذ بهتر آسان می شود [۱۴].

### ۳-۲- ارزیابی خواص مکانیکی

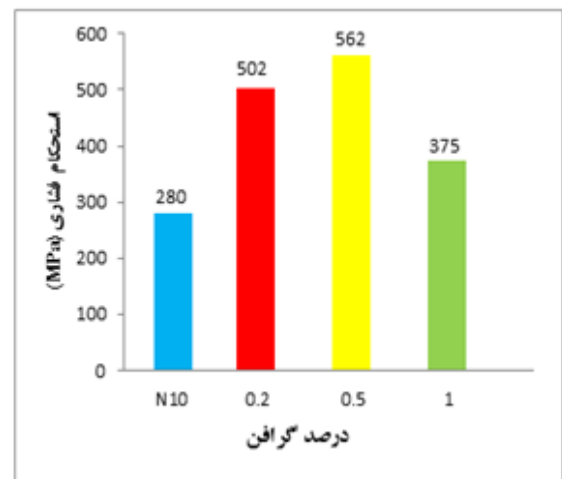
نتایج حاصل از خواص مکانیکی شامل آزمون سختی برینل و استحکام فشاری و همچنین چگالی نمونه ها به روش ارشمیدوس در جدول (۳) آمده است:

های حاوی گرافن مربوط به نمونه N5 می باشد.

### ۳-۳- نتایج حاصله از نرم افزار ۴-Qualitek

الف : تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانوکامپوزیت مس/گرافن :

به منظور بررسی تاثیر گرافن بر خواص استحکام فشاری نتایج ۹ آزمون طراحی شده به روش تاگچی را در نرم افزار ۴-Qualitek وارد نموده و نتایج زیر حاصل شد. در نمودار ۳ نمودار تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانو کامپوزیت مس/گرافن نشان داده شده است.



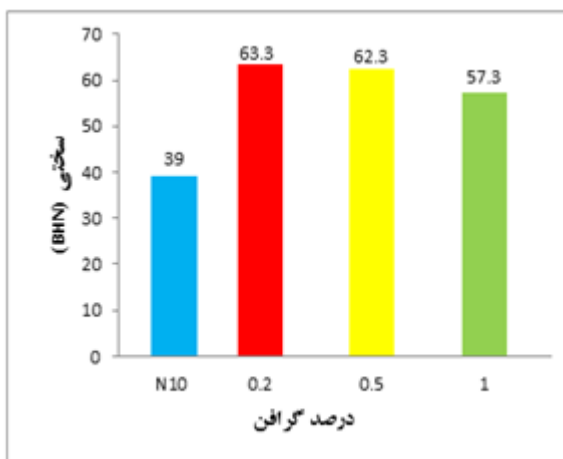
نمودار (۳): تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانوکامپوزیت مس/گرافن.

همانطور که در نمودار (۳) مشاهده می شود در حضور گرافن استحکام افزایش چشمگیری می یابد که یکی از دلایل افزایش استحکام در نانوکامپوزیت ها حضور فاز تقویت کننده در زمینه می باشد. در یک سامانه کامپوزیت فلزی انتقال نیرو از زمینه به فاز تقویت کننده و نیز افزایش چگالی نابعایی ها موجب افزایش استحکام فلز زمینه می شود [۱۵]. با افزایش درصد گرافن از ۰/۲ درصد به ۰/۵ درصد استحکام فشاری افزایش یافته است ولی با افزایش درصد گرافن از ۰/۵ به ۱ درصد استحکام کاهش یافته است. نکته دیگری که در نمودار مشهود است، کاهش استحکام در ۱ درصد گرافن می باشد، که احتمال می رود در ۱ درصد گرافن فازهای میانی ضعیفی تشکیل شده که این فاز باعث کاهش استحکام شده است. ( به دلیل

افزایش درصد گرافن و واکنش گرافن با مس احتمالاً یک فاز میانی ضعیفی در ساختار تشکیل شده باشد.) که از آنجایی که گرافن دارای خواص مکانیکی بی نظیری است، حضور آن به عنوان فاز تقویت کننده باعث افزایش استحکام شده است.

ب : تاثیر درصد گرافن بر سختی نانوکامپوزیت مس/گرافن :

همانطور که در نمودار (۴) مشاهده می شود حضور گرافن باعث افزایش سختی این نانو کامپوزیت شده و سختی حدود دو برابر افزایش یافته است. با توجه به نمودار ملاحظه می شود که بالاترین سختی در ۰/۲ درصد گرافن حاصل شده است همچنین در مقایسه با نمونه های شاهد تاثیر حضور گرافن در افزایش سختی به خوبی مشاهده می شود.



نمودار (۴): تاثیر درصد گرافن بر سختی نانوکامپوزیت مس/گرافن.

### ۴- نتیجه گیری :

به منظور تولید نانو کامپوزیت مس/گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی، در این پژوهش زمان مناسب برای آلیاژسازی ۱۵ ساعت و نسبت گلوله به پودر ۱۰ به ۱ در نظر گرفته شده است. پس از بررسی خواص مکانیکی نتایج زیر بدست آمده است :

۱. افزایش استحکام فشاری با افزودن ۰/۵ درصد گرافن برحسب نتایج نرم افزار کوآلتک .

of cervical ring” cage J. Biomech. In press ۲۰۰۷.

[۱۱] G.K.Williamson and W.H.Hall , “ X-Ray line broadening from filed Alminium and wolfram”, Acta Metallurgica. Vol. ۱. ۲۲-۳۱ Jan ۱۹۵۳.

[۱۲] William E. Luecke and Stephen M. Graham and Matthew A. Adler Repeatability and reproducibility of compression strength measurements conducted according to ASTM E۹ ۲۰۱۰.

[۱۳] S.-L. Zhang, Y.-T. Zhao, G. Chen, X.-N. Cheng, Q.-X. Dai, J. A.C. ۴۲۹, ۲۰۰۷.

[۱۴] عنایتی، محمد حسین، "مواد نانو ساختار"، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۶.

[۱۵] Park , Ohio ASM HandBook , "Composites" ASM Internationals. Material vol.۲۱, ۵۱-۵۵ ۱۹۹۰.

۲. افزایش سختی با افزودن گرافن به میزان ۰/۲

درصد گرافن برحسب نتایج نرم افزار کوآلتک.

۳. نمونه بهینه بدست آمده، نمونه N۵ با ۰/۵ درصد

گرافن، ۱۵ ساعت آسیاب کاری، فشار پرس

۶۰۰ MPa و دمای تف جوشی ۷۰۰ °C می باشد

که از استحکام فشاری ۷۸۰ MPa و سختی ۷۲

برینل برخوردار است.

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق نتیجه می شود

که از گرافن می توان به عنوان یک فاز تقویت کننده مناسب در

کامپوزیت های زمینه مسی استفاده نمود و همچنین با توجه به

کارهای صورت گرفته توسط دیگران در زمینه گرافن، نتیجه

می شود عواملی نظیر روش ساخت گرافن، درصد گرافن و

روش ساخت کامپوزیت می تواند بر خواص مکانیکی تاثیر گذار

باشد.

## ۵- مراجع :

[۱] William F . Smith Mc Graw Hill Structure and Properties of Engineering Material ۱۹۸۷.

[۲] V.Rajkovic, D.Bozic and M. T. Jovanovic, Material and Design, Vol. ۳۱, pp. ۲۰۱۰.

[۳] Geim , A. K. and K. S. Novoselov .The rise of graphene . Nature Materials ۲۰۰۷.

[۴] Compiled by the class for Physics of the Royal Swedish Academy of sciences .Scientific background on the Nobel prize in physics GRAPHENE. ۲۰۱۰.

[۵] Robertj,young,Ian A. Kinloch , Lei Gong , Kostya S. Novoselov.The mechanics of graphene nano composites : A review ۲۰۱۰.

[۶] تقی اسکویی م - روند تحقیقات در زمینه گرافن - ماهنامه

فناوری نانو - سال هشتم اسفند ۱۳۸۸- شماره ۱۲، پیاپی ۱۴۹.

[۷] Robertj,young,Ian A. Kinloch , Lei Gong , Kostya S. Novoselov. The mechanics of graphene nano composites : A review ۲۰۱۰.

[۸] Shu-Wei Chang, Arun K Nair and Markus J Buehler . Geometry and temperature effects of the interfacial thermal conductance in copper- and nickel-graphene nanocomposites ۲۰۱۲.

[۹] Stephen F. Bartolucci , Joseph . Paras , Mohammad A.Rafiee , Javad Rafiee , Sabrina Lee, DeepakKapoor,Nikhil Koratkar.Graphene-aluminum nanocomposites ۲۰۱۱.

[۱۰] Yang K., E. Teo, and F. K. Fuss; “Application of Taguchi method in optimization

