

## ساخت آلیاژ $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ به روش آلیاژسازی مکانیکی و بررسی تأثیر آلیاژ کبالت بر خواص ساختاری و ریخت‌شناسی آن

مرتضی زرگروشتری\*، الهه مرادیان، ایرج کاظمی‌نژاد

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز

### چکیده

در این تحقیق، آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  به روش آلیاژسازی مکانیکی و با آسیای گلوله‌ای سیاره‌ای ساخته شد. ساختار بلوری و ریخت‌شناسی پودرها به ترتیب به وسیله پراکندگی اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین تأثیر آلیاژ کبالت بر خواص ساختاری آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  با ترکیب شیمیایی  $Ni_{0.8-x}Co_xFe_{0.2}$  ( $x=0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش میزان آلیاژ Co، قله‌های پراش مربوط به آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  به تدریج تغییر کرده و قله‌های مربوط به آلیاژ آهن-کبالت و در نهایت  $Co_{0.8}Fe_{0.2}$  ظاهر می‌شوند. به عبارت دیگر، با افزایش میزان آلیاژ کبالت، به دلیل کوچک‌تر بودن شعاع یونی Co نسبت به Ni، قله‌ها به سمت زوایای بزرگتر جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه، ساختار بلوری محلول جامد کبالت (hcp) ظاهر می‌شود.

**کلیدواژگان:** آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ ، آلیاژسازی مکانیکی، آلیاژ کبالت، میومتال، ریخت‌شناسی، پرم‌الوی

### مقدمه

پرم‌الوی<sup>۱</sup> و میومتال<sup>۲</sup> معروف هستند و اولین بار توسط المن<sup>۳</sup> در سال ۱۹۱۴ کشف شد [۳]. جدول ۱. فازهای دوتایی بر اساس میزان نیکل موجود در آلیاژ آهن-نیکل در دمای اتاق [۱،۲].

درصد میزان نیکل	فاز موجود
۰-۷	bcc, $\alpha$
۷-۵۰	$\alpha+\gamma$
۵۰-۱۰۰	fcc, $\gamma$

از انواع مختلف پرم‌الوی می‌توان به  $Ni_{0.55}Fe_{0.45}$  اشاره کرد [۴]. آلیاژهایی با ۳۰ درصد نیکل که دارای بالاترین مقاومت الکتریکی هستند، معروف به اینوار<sup>۴</sup> و آنهایی که ۵۰ درصد نیکل دارند و دارای خاصیت مغناطیسی

آهن و نیکل در بسیاری از خواص شبیه هم می‌باشند. تفاوت عمده آن‌ها در ویژگی‌های مربوط به خوردگی است. طیف گسترده‌ای از خواص آهن و نیکل با ساختار بلوری bcc و fcc را می‌توان با ساخت آلیاژهای آهن-نیکل به دست آورد. نمودار فاز دوتایی آهن-نیکل به ترتیب دارای فازی بینابین این دو است. فازهای دوتایی بر اساس میزان نیکل موجود در آلیاژ آهن-نیکل در دمای اتاق در جدول ۱ نشان داده شده است [۱،۲].

در این میان آلیاژهایی به میزان ۸۰-۱۰۰ درصد نیکل، به‌ویژه ماده  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ ، از منحصراً به‌فردترین سیستم‌های آهن-نیکل می‌باشند [۲] که در صنعت به

<sup>۱</sup>Elmen  
<sup>۴</sup>Invar

\*نویسنده مسئول: zargar@scu.ac.ir

<sup>۲</sup>Permalloy  
<sup>۳</sup> $\mu$ -metal

که در آن  $m_{Ni}$ ،  $m_{Fe}$ ،  $M_{Ni}$ ،  $M_{Fe}$ ،  $m$  به ترتیب جرم نیکل اولیه، جرم آهن اولیه، جرم مولکولی نیکل، جرم مولکولی آهن و جرم آلیاژ مورد نیاز می باشند. پس از توزین مواد اولیه، پودرها و گلوله ها با اندازه قطر ۱۰ میلی متر (به نسبت ۱ به ۱۰)، به همراه اسید استتاریک به میزان ۰/۱ درصد وزنی به عنوان عامل کنترل کننده فرآیند<sup>۲</sup>، در یک آسیای سیاره ای مدل D-56070 Koblenz با محفظه فولادی در اتمسفر و دمای اتاق برای آغاز فرآیند آسیاکاری قرار گرفتند. لازم به ذکر است که پودر نیکل مورد استفاده دارای درصد ناچیزی اکسید نیکل به عنوان ناخالصی بود.

جدول ۲. برخی ویژگی های نیکل و آهن [۵].

نام عنصر	جرم مولی ( $\frac{g}{mol}$ )	شعاع اتمی (Å)	آرایش الکترونی	ساختار بلوری
نیکل	۵۸٫۷۱	۱٫۶۲	$1s^2$ $2s^2p^6$ $3s^2p^6d^8$ $4s^2$	Fcc
آهن	۵۵٫۸۵	۱٫۲۶	$1s^2$ $2s^2p^6$ $3s^2p^6d^6$ $4s^2$	Bcc

به منظور تعیین کمترین زمان ممکن برای ساخت میومتال مورد نظر، زمان های ۳، ۵، ۶ و ۹ ساعت در سرعت ۴۵۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند. همان طور که از شکل ۱ مشاهده می شود در زمان های ۳ و ۵ ساعت هنوز جانشینی به طور کامل و جابه جایی به سمت زوایای کوچک تر صورت نگرفته است. همچنین نمونه های مختلفی با سرعت های ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ دور در دقیقه با زمان ۶ ساعت تهیه شدند. به دنبال ساخت آلیاژ پرم الوی، به منظور دستیابی به

می باشد که برای کنترل جوش سرد به پودر اضافه می شود. مقدار عامل کنترل کننده فرآیند معمولاً حدود ۵-۱ درصد وزنی است و عمدتاً مواردی مثل اسید استتاریک، هگزان، اتانول و تولون می باشد. عامل کنترل کننده فرآیند مورد استفاده می تواند تر یا خشک (جامد) باشد [۷].

در حالت اشباع بالایی می باشند، معروف به هایپرنیک<sup>۱</sup> می باشند.

میومتال دارای خواص متعددی است که آن را برای مطالعه و کاربرد شاخص کرده است. میومتال یک ماده مغناطیسی نرم و دارای یک نیروی وادارندگی بسیار کم، مغناطش اشباع بزرگ و نفوذپذیری نسبی بسیار بالا است که برای توده آن به ترتیب برابر است با ۰/۰۵ اورستد، ۱۵-۱۰ کیلوگوس و  $9 \times 10^4$  است. این آلیاژ کاربردهایی در زمینه ترانسفورماتور<sup>۲</sup> قدرت، القاگرها، حفاظ های مغناطیسی و ترانسفورماتورهای فرکانس بالا دارد [۳، ۵]. در این پژوهش علاوه بر ساخت آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ ، خواص ساختاری و ریخت شناسی آن با آلیش کبالت مورد بررسی قرار گرفته شده است.

## کارهای آزمایشگاهی

به منظور ساخت ترکیبی با فرمول شیمیایی  $Ni_{0.8}$   $xCo_xFe_{0.2}$  (x=۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)، ابتدا آلیاژ پرم الوی ( $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ ) ساخته و در نهایت با عنصر کبالت جانشینی صورت گرفته شد. پودرهای خام اولیه با ویژگی های ذکر شده در جدول ۲ توزین و با هم مخلوط شدند. در هر مرحله از تولید، مواد اولیه مورد نیاز با نسبت استوکیومتری  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ ، به صورت زیر محاسبه شدند.

$$M_{Ni} = 58.71 \frac{g}{mol}, \quad M_{Fe} = 55.85 \frac{g}{mol}$$

$$m_{Ni} = \frac{0.8 \times M_{Ni}}{M_{Ni} + M_{Fe}} \times m$$

$$m_{Fe} = \frac{0.2 \times M_{Fe}}{M_{Ni} + M_{Fe}} \times m$$

<sup>۱</sup>Hipernik

<sup>۲</sup>Transformer

<sup>۳</sup> هنگامی آلیاژسازی به صورت بهینه صورت می گیرد که تعادلی بین جوش سرد و شکست ذرات برقرار شود. عامل کنترل کننده فرآیند ماده ای

که در شکل ۴ نشان داده شده و در نتیجه جابه‌جایی به سمت زوایای کوچک‌تر می‌شود [۸]. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳ آمده است. هم‌چنین جابه‌جایی به سمت زوایای کوچک‌تر را می‌توان به-برهم‌کنش بین عناصر نسبت داد. با توجه به جدول ۴ شعاع یونی آهن از نیکل بزرگ‌تر می‌باشد که این سبب تغییر نیروی برهم‌کنش بین یون‌ها و در نتیجه افزایش فاصله بین صفحات شبکه (d) می‌شود. افزایش فاصله بین صفحات شبکه، افزایش ثابت شبکه (a) را به دنبال دارد (رابطه ۳). در نتیجه مطابق با کارت استاندارد به- شماره ۰۴۱۹-۰۳۸-۰۰۰ آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  در سرعت ۴۵۰ دور در دقیقه (T/min) و زمان ۶ ساعت ساخته شده است [۹-۱۲].

$$a = d(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2} \quad 3$$

تصویرهای ریخت‌شناسی ساختاری آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  در سرعت‌های مختلف آسیابکاری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شده است که در شکل ۵ آورده شده‌اند. نمونه‌هایی از شکست ذرات با نماد (←) که عبارت است از تقسیم یک ذره به دو یا چند ذره در اثر برخوردها و جوش سرد (→) که اتصال دو یا چند ذره به هم در فرآیند آسیابکاری می‌باشند در شکل ۵ الف و شکل ۵ ج، به نمایش گذارده شده است. هنگامی که دو گلوله با هم برخورد می‌کنند، به‌طور آماری حدود ۱۰۰۰ ذره به وزن کلی ۰/۲ میلی‌گرم در هر برخورد بین دو گلوله حبس می‌شوند. نیروی وارد بر ذره باعث تغییر شکل ذرات پودر می‌شود که این عمل باعث سخت شدن و در نهایت شکست ذرات می‌شود. سطح جدید به وجود آمده باعث آسان‌تر شدن جوش خوردن ذرات می‌شود. از آنجایی که در مراحل اولیه آلیاژسازی مکانیکی برای سیستم‌های نرم-نرم و نرم-ترد، ذرات نرم هستند، تمایل آن‌ها به جوش خوردن و تشکیل ذرات بزرگ‌تر

ترکیب  $\text{Ni}_{0.8-x}\text{Co}_x\text{Fe}_{0.2}$  ( $x=0-0.2-0.4-0.6-0.8$ ) فرآیند جانشینی بین عنصر کبالت و نیکل موجود در آلیاژ پرم‌الوی صورت گرفت. ریخت‌شناسی پودرها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (vp1455) ساخت شرکت LEO از آلمان و آنالیز اشعه ایکس توسط دستگاه XRD با آند مس  $\text{CuK}\alpha$  و طول موج  $(\lambda=1.54056 \text{ \AA})$  بین ۱۰۰-۳۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. اندازه بلورک‌ها و کرنش ذرات توسط رابطه دبا- شرر و ویلیامسون- هال مورد بررسی قرار گرفتند.

$$D = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad 1$$

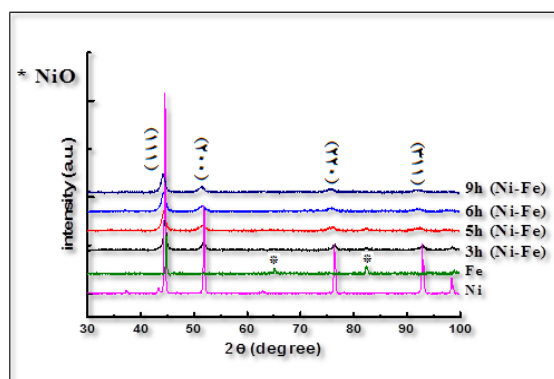
$$\beta \cos(\theta) = \frac{0.9\lambda}{D} + 2\epsilon \sin \theta \quad 2$$

در رابطه ۱،  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس،  $\beta$  پهنای نصف قله بیشینه و برحسب رادیان و  $\theta$  زاویه پراش قله بیشینه است و در رابطه ۲،  $\epsilon$  کرنش ذرات است.

## نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های XRD در شکل ۱ نشان می‌دهند که حداقل زمان برای تولید آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  برابر ۶ ساعت می‌باشد. هم‌چنین بنا بر نتایج حاصل از XRD نمونه-های آسیا شده، شکل ۲، با افزایش سرعت، تنها قله‌های نیکل با ساختار fcc مشاهده می‌شود و اثری از قله‌های آهن با ساختار bcc دیده نمی‌شود، که بیان‌گر جانشینی اتم‌های آهن به جای نیکل است. پهن‌شدگی در قله‌های پراش به سبب تنش‌های داخلی مرتبه دوم (که در سطح میکروسکوپی بلورک‌ها عمل می‌کند) مشهود است، که سبب کاهش اندازه بلورک‌ها می‌شود (شکل ۳). هم‌چنین جابه‌جایی قله‌ها به سمت زوایای کوچک‌تر منسوب به شکل‌دهی آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  و تنش‌های مرتبه اول ناشی از آسیابکردن مشاهده شد. این تنش‌ها در سطح میکروسکوپی اثر کرده و سبب تغییر ثابت شبکه

مشاهده می‌شود. با افزایش میزان آلیاژ، قله‌های مربوط به  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  به عبارتی دیگر قله‌های نیکل حذف و قله‌های مربوط به کبالت ظاهر می‌شوند. با افزایش میزان آلیاژ کبالت، به دلیل کوچک‌تر بودن شعاع یونی کبالت نسبت به نیکل و در نتیجه ضعیف‌تر شدن نیروی برهم‌کنش و هم‌چنین کم‌تر بودن ضریب پخش آهن در کبالت، نسبت به کبالت در آهن، قله‌ها به سمت زوایای بزرگ‌تر جابه‌جا می‌شوند، در نتیجه، ساختار بلوری محلول جامد کبالت-hcp ظاهر می‌شود. نتایج حاصل از این الگوی پراش در جدول ۶ و شکل ۷ آورده شده است [۹، ۱۵، ۱۶]. همچنین ریخت‌شناسی سطح و ریزساختار آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8-x}\text{Co}_x\text{Fe}_{0.2}$ ،  $(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8)$  با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفته شده است که در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل از این تصویرها نشان می‌دهند که ریخت ذرات اکثراً چندضلعی می‌باشند.



شکل ۱. الگوی پراش ترکیب Ni-Fe آسیا شده با سرعت ۴۵۰ دور بر دقیقه و گلوله‌هایی به اندازه قطر ۱۰ میلی‌متر در زمان‌های مختلف آسیا.

زیاد است. در این مرحله، دامنه وسیعی از اندازه ذرات ایجاد می‌شود که ممکن است حتی ۳ برابر بزرگ‌تر از پودرهای اولیه باشد. با ادامه تغییر شکل ذرات دچار سختی می‌شوند و شکست ذرات رخ می‌دهد. محصول این مرحله ذرات خرد شده‌ای است که ممکن است در عدم حضور نیروی قوی آگلومراسیون<sup>۱</sup> ریز شوند. در این مرحله، تمایل به شکست بیشتر از تمایل به جوش سرد است [۱۳]. به‌طور کلی تصویرهای SEM نمونه‌ها بیان‌گر این مسئله می‌باشند که افزایش سرعت، سبب شکل‌دهی ذرات به صورت ورقه‌ها و صفحه‌های کوچک چندضلعی و کاهش اندازه ذرات می‌شود، که این صفحه‌ها متناسب با افزایش سرعت به یکدیگر نزدیک‌تر و مشابه‌تر می‌شوند. علاوه بر این، با توجه به این‌که در دستگاه‌های نرم-نرم و نرم-ترد، ذرات نرم هستند، تمایل آن‌ها به جوش خوردن و تشکیل ذرات بزرگ‌تر زیاد است، بنابراین افزایش بیش از اندازه سرعت سبب افزایش دمای محفظه آسیا و در نتیجه توزیع ذرات کلوخه‌ای و به هم چسبیده می‌شود (شکل ۵). نتایج مربوط به اندازه ذرات با توجه به تصویرهای SEM که با نرم‌افزار measurement اندازه‌گیری شده‌اند، در جدول ۵ آورده شده است [۱۴، ۱۵].

در نهایت پس از ساخت آلیاژ  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ ، جانشینی عنصر کبالت به جای نیکل با ترکیب شیمیایی  $(0.6, 0.8)$ ،  $\text{Ni}_{0.8-x}\text{Co}_x\text{Fe}_{0.2}$  (x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8) مورد بررسی قرار گرفت. زمان و سرعت آسیاکاری برای تمام نمونه‌ها ۶ ساعت و ۴۵۰ دور در دقیقه در نظر گرفته شد. از اسید استتاریک به عنوان عامل کنترل‌کننده فرآیند به میزان ۰.۰۲ درصد وزنی استفاده شد.

در الگوی پراش پودرهای  $\text{Ni}_{0.8-x}\text{Co}_x\text{Fe}_{0.2}$ ، که در آن x برابر ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸ و ۰.۸ است (شکل ۶)، با توجه به الگوهای پراش نیکل، کبالت و آهن، ویژگی قله‌های نیکل-fcc، آهن-bcc، کبالت-hcp و  $\text{fcc-Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$

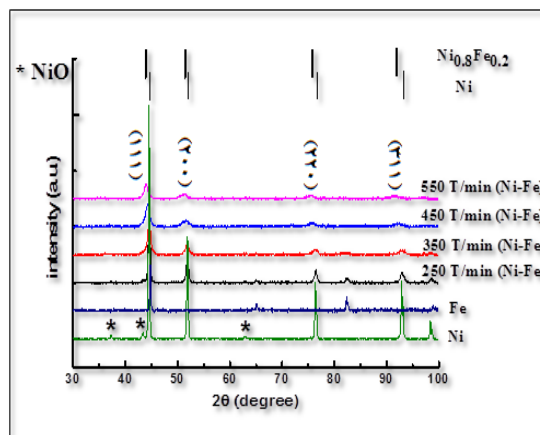
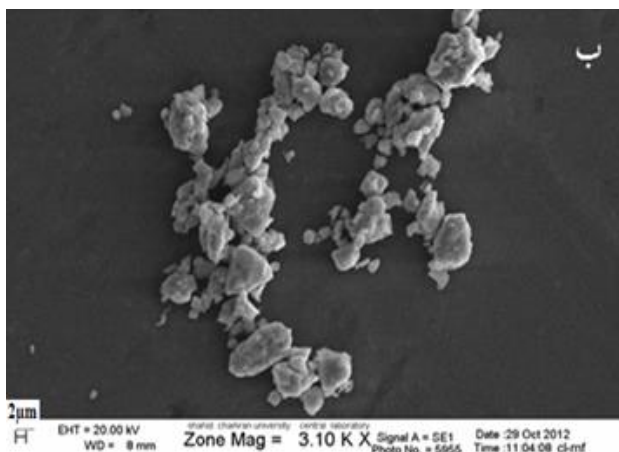
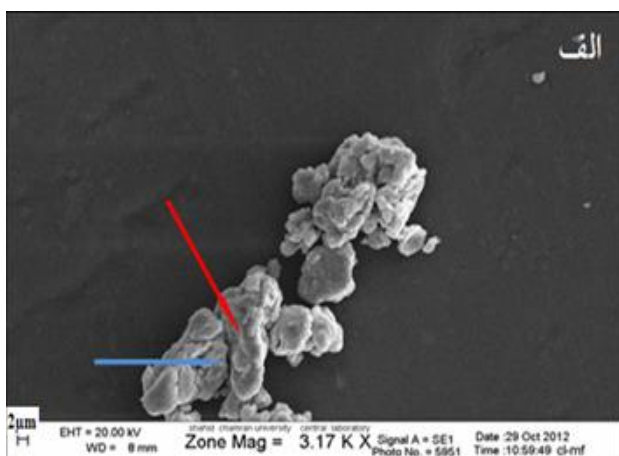
<sup>۱</sup> agglomeration

جدول ۳. ثابت شبکه، اندازه بلورکها، متوسط اندازه ذرات و کرنش آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  در سرعت‌های مختلف آسیابکاری.

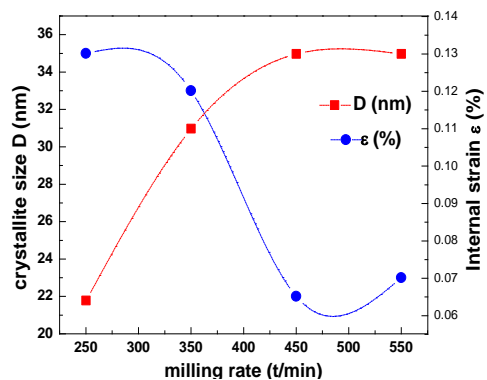
کرنش (%)	اندازه بلورکها (nm)	ثابت شبکه a (Å)	سرعت آسیابکاری (T/min)	زمان آسیابکاری (h)
۰٫۶۴	۳۵±۱	۳٫۵۲۳۱	۲۵۰	۶
۰٫۱۱	۳۳±۱	۳٫۵۲۴۲	۳۵۰	۶
۰٫۱۳	۲۲±۱	۳٫۵۴۱۷	۴۵۰	۶
۰٫۱۳	۲۳±۱	۳٫۵۵۲۹	۵۵۰	۶

جدول ۴. شعاع یونی عناصر مختلف [۵]

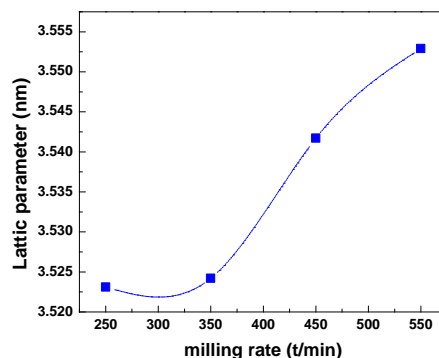
کبالت	آهن	نیکل	عناصر
۶۳	۷۶	۷۰	شعاع یونی (pm)



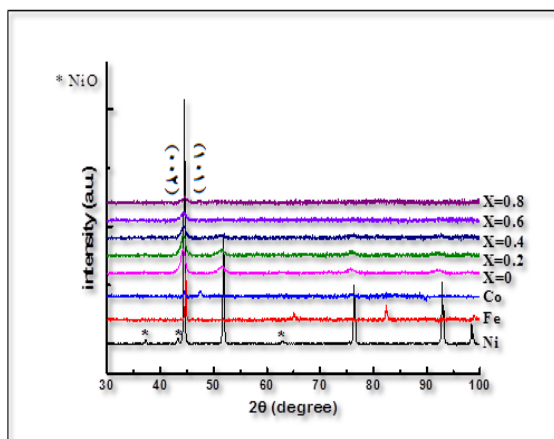
شکل ۲. الگوی پراش ترکیب آسیا شده به مدت ۶ ساعت با گلوله‌هایی به اندازه قطر ۱۰ میلی متر در سرعت‌های مختلف. خطوط عمودی کوتاه بیان گر جابه‌جایی قله‌ها می‌باشد.



شکل ۳. نمودار اندازه بلورک و کرنش برحسب سرعت آسیاب.



شکل ۴. نمودار پارامتر شبکه به‌عنوان تابعی از سرعت آسیاب.

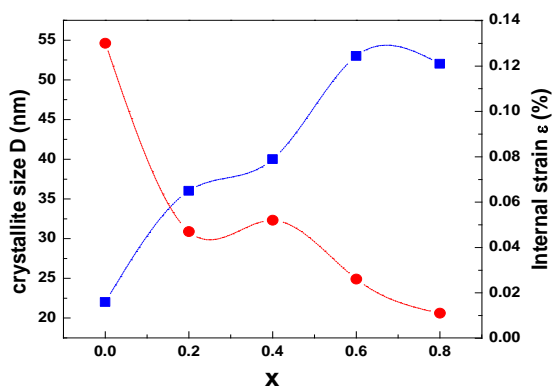


شکل ۶. الگوی پراش ترکیب  $Ni_{0.8-x}Fe_{0.2}Co_x$  در  $x$  های متفاوت.

جدول ۶. ثابت شبکه، اندازه بلورک، اندازه ذرات و کرنش آلیاژ

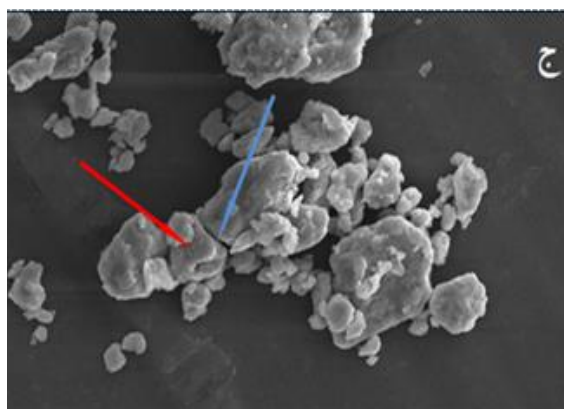
$(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8) Ni_{0.8-x}Co_xFe_{0.2}$

سرعت آسیاکاری (T/min)	زمان آسیاکاری (h)	x	a (Å)	c (Å)	c/a	اندازه بلورکها (nm)	کرنش (%)
۴۵۰	۶	۰	۳,۵۴۱۷	---	---	۲۲±۱	۰,۱۳
۴۵۰	۶	۰,۲	۳,۵۲۹۳	---	---	۲۶±۱	۰,۰۴۷
۴۵۰	۶	۰,۴	۳,۵۴۰۸	---	---	۴۰±۱	۰,۰۵۲
۴۵۰	۶	۰,۶	۲,۵۳۰۷	۴,۰۵۶۴	۱,۶۰۲۹	۵۳±۱	۰,۰۲۶
۴۵۰	۶	۰,۸	۲,۵۲۰۴	۴,۰۴۹۵	۱,۶۰۶۷	۵۲±۱	۰,۰۱۱

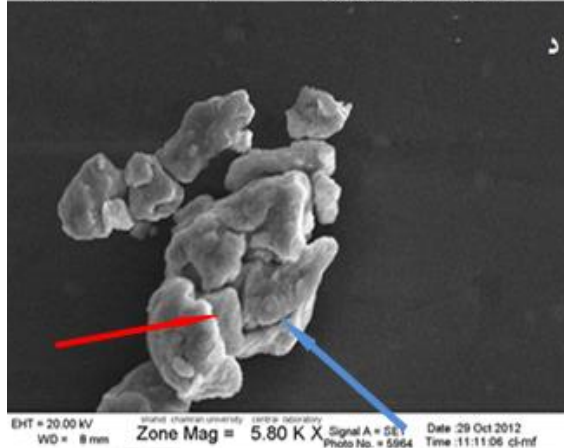


شکل ۷. نمودار اندازه بلورک و کرنش در ترکیب  $Ni_{0.8-x}Co_xFe_{0.2}$

با درصدهای مختلف  $x$ .



EHT = 21.16 kV, Zone Mag = 4.09 K X, Date: 13 Jan 2013



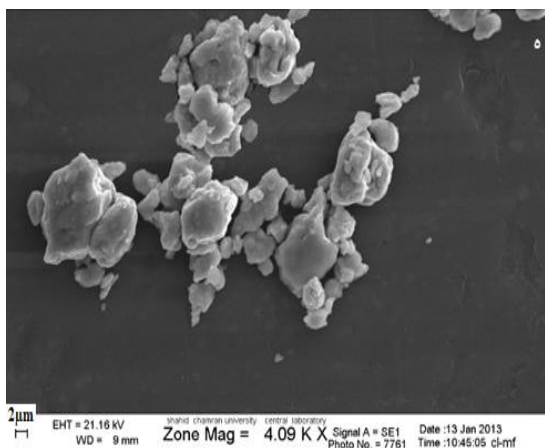
EHT = 20.00 kV, Zone Mag = 5.80 K X, Date: 29 Oct 2012

شکل ۵. تصاویر SEM آلیاژ Ni-Fe در مقیاس دو میکرومتر در

سرعت های مختلف (الف) ۲۵۰ T/min (ب) ۳۵۰ T/min (ج) ۴۵۰ T/min (د) ۵۵۰ T/min

جدول ۵. اندازه ذرات آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  آسیا شده در سرعت های مختلف.

سرعت آسیا (T/min)	۲۵۰	۳۵۰	۴۵۰	۵۵۰
متوسط اندازه ذرات (μm)	۲,۷	۱,۵	۰,۹	---



شکل ۸. تصاویر SEM در مقیاس دو میکرومتر (الف)  $X=0$  (ب)

$X=0.2$  (ج)  $X=0.4$  (د)  $X=0.6$  (ه)  $X=0.8$

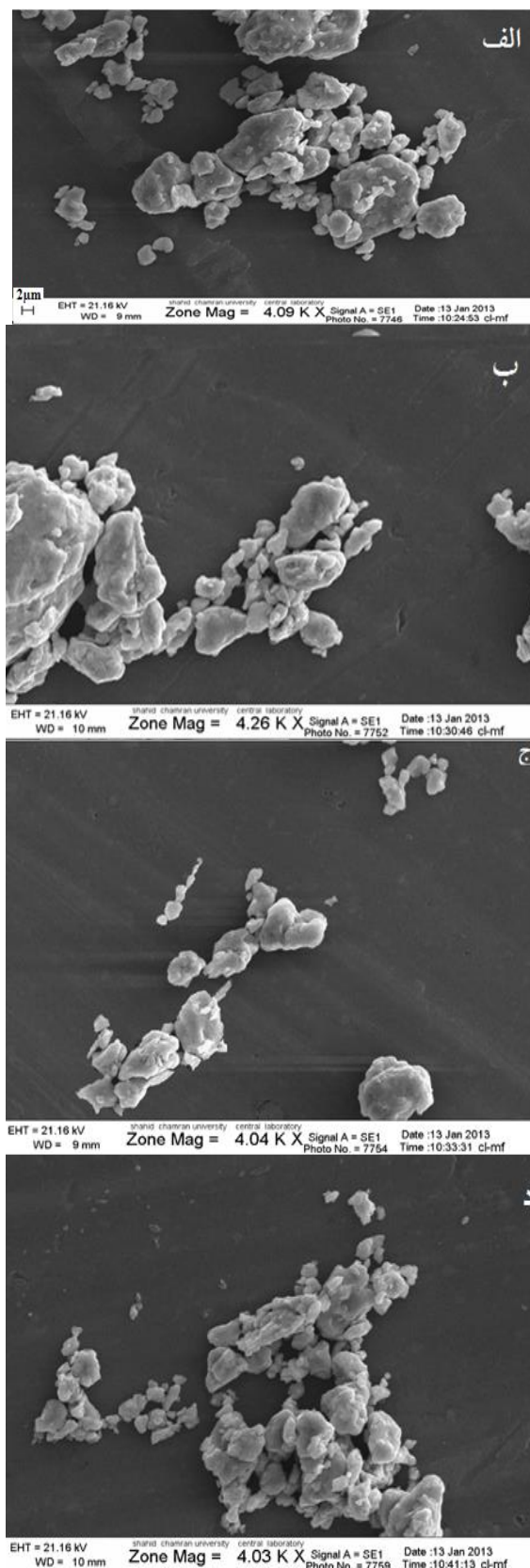
### نتیجه‌گیری

با افزایش سرعت آسیای نمونه  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  در زمان ثابت ۶ ساعت، شدت قله‌ها و در نتیجه بلورینگی نمونه کم‌تر شده، قله‌ها به سمت زاویه‌های کوچک‌تر جابه‌جا شده‌اند. پهنای قله‌ها افزایش یافته و هم‌چنین شدت قله‌های ناشی از ناخالصی NiO کاهش یافته و در سرعت ۴۵۰ دور در دقیقه به‌طور کامل حذف شده است، در نتیجه مطابق با کارت استاندارد ۰۴۱۹-۰۳۸-۰۰ آلیاژ  $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$  در سرعت ۴۵۰ دور در دقیقه و زمان ۶ ساعت ساخته شده است.

با افزایش میزانی آلیایش کبالت در نمونه (۰٫۸، ۰٫۶، ۰٫۴، ۰٫۲) ساختار بلوری ماده در مقادیر ۰٫۸ و ۰٫۶ از fcc به hcp تغییر کرده است و در بیش‌ترین مقدار آلیایش، قله‌های پراش تقریباً مطابق با قله‌های کبالت خالص می‌باشد. اندازه بلورک‌ها با افزایش میزان آلیایش کبالت، افزایش پیدا کرده است.

### قدردانی

نویسندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز برای حمایت مالی از این کار پژوهشی کمال تشکر را دارند.



obtained by hydrothermal reduction, *Solid State Sciences* 14 7 (2012) 809-813.

مراجع

[11] I. Chicinaş, V. Pop, O. Isnard, J. Le Breton, J. Juraszek, Synthesis and magnetic properties of  $\text{Ni}_3\text{Fe}$  intermetallic compound obtained by mechanical alloying, *Journal of alloys and compounds* 352 1 (2003) 34-40.

[12] H.A. Baghbaderani, S. Sharafi, M.D. Chermahini, Investigation of nanostructure formation mechanism in Fe-Co-Ni magnetic alloy synthesized by mechanical alloying, *Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures* 3 (2012).

[13] Z. Sparchez, I. Chicinas, O. Isnard, V. Pop, F. Popa, Mechanical alloying of  $\text{Ni}_3\text{Fe}$  in the presence of  $\text{Ni}_3\text{Fe}$  nanocrystalline germs, *Journal of alloys and compounds* 434 (2007) 485-488.

[14] A. Djekoun, N. Boudinar, A. Chebli, A. Otmani, M. Benabdeslem, B. Bouzabata, and J. Greneche, Structure and magnetic properties of Fe-rich nanostructured  $\text{Fe}_{100-x}\text{Ni}_x$  powders obtained by mechanical alloying, *Physics Procedia* 2 3 (2009) 693-700.

[15] A.N. Popova, Y.A. Zaharov, V.M. Pugachev, Chemical synthesis, structure and magnetic properties of nanocrystalline Fe-Co alloys, *Materials Letters* 74 (2012) 173-175.

[16] N. Poudyal, C. Rong, Y. Zhang, D. Wang, M. Kramer, R. J. Hebert, J. Ping Liu, Self-nanoscaling in FeCo alloys prepared via severe plastic deformation, *Journal of alloys and compounds* 521 (2012) 55-59.

[1] R.W. Cahn, P. Haasen, *Physical metallurgy*, volume 1 (1996).

[2] R. Valenzuela, *Magnetic ceramics*. Cambridge University Press (2005).

[3] H.M. Olson, *Oblique Pumping, Resonance Saturation, and Spin Wave Instability Processes* (2008).

[4] Kh. Gheisari, S. Javadpour, J.T. Oh and M. Ghaffari, The Effect of Milling Speed on the Structural Properties of Mechanically Alloyed Fe-45%Ni Powders, *Journal of Alloys and Compounds*, 472, Issues 1-2 (2009) 416-420.

[5] C.P. Sharma, *Engineering Materials: Properties and Applications of Metals and Alloys*. PHI Learning Pvt. Ltd (2003).

[6] C.E. Mortimer, *Chemistry: A conceptual approach*. Van Nostrand (1971).

[7] M. Gupta, N.M.L. Sharon, *Magnesium, magnesium alloys, and magnesium composites*. Wiley.com (2011).

[8] M. Kutz, *Handbook of materials selection*. Wiley Online Library (2002).

[9] S. Bergheul, F. Otmane, M. Azzaz, Structural and microwave absorption properties of nanostructured Fe-Co alloys, *Advanced Powder Technology* (2011).

[10] Y.C. Chen, F.C. Zheng, Y.L. Min, T. Wang, Y.G. Zhao, Synthesis and properties of magnetic  $\text{FeNi}_3$  alloyed microchains