بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

ارزیابی ساختار و خواص مغناطیسی فریت نانوساختار نیکل روی تولید شده به‌روش تخلیه قوس پلاسما

استاد راهنما

دکتر خلیل الله قیصری

استاد مشاور

دکتر منصور فربد

نگارنده

ابوالفضل صفری

اردیبهشت ماه ۹۴

بسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان‌نامه ارشد)

پایان‌نامه آقای **ابوالفضل صفری** دانشجوی رشته **مهندسی مواد** گرایش **شناسایی و انتخاب مواد مهندسی** دانشکده **مهندسی** به شماره دانشجویی **۹۱۱۷۴۰۵**

با عنوان:

ارزیابی ساختار و خواص مغناطیسی فریت نانوساختار نیکل روی تولید شده به‌روش تخلیه قوس پلاسما

جهت اخذ مدرک: **کارشناسی ارشد** در تاریخ: **۱۳۹۴/۲/۳۰** توسط هیئت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه **عالی** تصویب گردید.

۱. اعضای هیئت داوران:	**رتبه علمی**	**امضاء**
استاد راهنما: **دکتر خلیل الله قیصری**	**استادیار**	.....
استاد مشاور: **دکتر منصور فربد**	**دانشیار**	.....
استاد داور: **دکتر زهره صادقیان**	**استادیار**	.....
استاد داور: **دکتر مرتضی زرگر شوشتری**	**استاد**	.....
نماینده تحصیلات تکمیلی: **دکتر عزیز عظیمی**	**استادیار**	.....
۲. مدیر گروه: **دکتر خلیل الله قیصری**	**استادیار**	.....
۳. معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: **دکتر علی حقیقی**	**استادیار**	.....
۴. مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه: **دکتر عبدالرحمن راسخ**	**استاد**	.....

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان.

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید.

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

تشکر و قدردانی

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر خلیل الله قیصری که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از از استاد عزیز، جناب آقای دکتر منصور فربد، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، انجام این پروژه غیر ممکن بود، تشکر می نمایم.

همچنین بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید گروه مهندسی مواد و گروه فیزیک دانشکده علوم، مسؤلین آزمایشگاه های نانو، متالوگرافی، خوردگی و مواد نوین، مسؤلین کارگاه های ریخته گری و تراشکاری و همچنین تمامی دوستانی که مرا در انجام این پروژه یاری رساندند، تشکر و قدردانی نمایم.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر منابع ۳

۲-۱ تاریخچه ۳

۲-۲ مفاهیم مغناطیسی ٤

۲-۳ انواع مواد مغناطیسی ٥

۲-٤ فریت های مغناطیسی ٦

۲-٤-۱ ساختار بلوری فریت ها ۸

۲-٤-۲ شاخصه های ابعادی در ساختار اسپینل ۹

۲-٤-۳ منشاء مغناطش در فریت ها ۱۰

۲-٤-٤ انواع ساختار اسپینل و نحوه توزیع کاتیونی ۱۰

۲-٤-٥ رفتار دی الکتریک فریت ها ۱٤

۲-٤-٦ فریت نیکل و فریت نیکل-روی ۱٥

۲-٤-۷ روش های تولید فریت ها ۱٦

۲-٤-۸ مراحل تولید هسته های مغناطیسی از جنس فریت ۱۷

۲-٥ فرآیند قوس الکتریکی ۱۸

۲-٥-۱ تاریخچه قوس الکتریکی ۱۸

۲-٥-۲ معرفی قوس الکتریکی ۱۹

۲-٥-۳ پلاسما ۲۰

۲-٥-٤ نحوه برقراری قوس و تولید نانوذرات ۲۱

۲-۵-۵ منابع ایجاد قوس الکتریکی ۲۳
۲-٦ مروری بر پژوهش های انجام شده با روش تخلیه قوس الکتریکی پلاسما ۲٤

فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۳۷

۳-۱ تهیه مواد اولیه و آماده سازی ۳۷
۳-۲ ترکیب پودرها با نسبت مولی معین ۳۷
۳-۳ تهیه الکترود با استفاده از فرآیند متالورژی پودر ۳۸
۳-٤ تولید پودر با روش قوس الکتریکی ۳۹
۳-۵ متغیرهای در نظر گرفته شده جهت تولید پودر ٤۱
۳-۵-۱ ارزیابی اثر فشار ٤۱
۳-۵-۲ ارزیابی اثر اتمسفر ٤۲
۳-۵-۳ ارزیابی اثر شدت جریان ٤۳
۳-۵-٤ ارزیابی اثر ترکیب شیمیایی الکترودهای اولیه ٤۳
۳-۵-٦ ارزیابی اثر عملیات حرارتی ٤٤
۳-٦ بررسی خواص ٤٦
۳-٦-۱ آنالیز فازی ٤٦
۳-٦-۲ آنالیز ریزساختاری ٤۸
۳-٦-۳ بررسی خواص مغناطیسی ٤۸
۳-٦-٤ بررسی خواص الکترومغناطیس ٤۸
۳-٦-۵ بررسی خواص الکتریکی ۵۱

فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۳

٤-۱ تأثیر فشار اتمسفر ۵۳
٤-۱-۱ فشار ۱ اتمسفر ۵۳
٤-۱-۲ فشار ۲ اتمسفر ۵٦

٤-١-٣ مقایسه کیفی و کمی فازی نمونه های تهیه شده در فشارهای مختلف ٥٨
٤-٢ تأثیر اتمسفر ٦١
٤-٢-١ آنالیز کمی و کیفی فازی نمونه تولید شده در محیط هوا ٦١
٤-٢-٢ آنالیز کمی و کیفی فازی نمونه تولید شده در محیط آرگون ٦٣
٤-٢-٣ مقایسه آنالیز کمی و کیفی فازی نمونه های تولید شده در محیط هوا، اکسیژن و آرگون ٦٦
٤-٢-٤ بررسی های ریزساختاری ٦٨
٤-٢-٥ خواص مغناطیسی ٧١
٤-٢- ٦ خواص الکترومغناطیسی ٧٥
٤-٢-٧ خواص الکتریکی ٧٨
٤-٣ تأثیر شدت جریان ٨٩
٤-٣-١ آنالیز کمی و کیفی نمونه تولیدی با شدت جریان ٣٠٠ آمپر ٨٩
٤-٣-٢ آنالیز کمی و کیفی نمونه تولیدی با شدت جریان ٤٠٠ آمپر ٩١
٤-٣-٣ آنالیز کمی و کیفی نمونه تولیدی با شدت جریان ٥٠٠ آمپر ٩٢
٤-٣-٤ مقایسه نمونه های تولیدی در شدت جریانهای ٣٠٠، ٤٠٠ و ٥٠٠ آمپر ٩٤
٤- ٤ ارزیابی اثر ترکیب شیمیایی الکترودهای اولیه ٩٦
٤-٤-١ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:0.5:0.5) ٩٦
٤-٤-٢ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:0.6:0.4) ٩٦
٤-٤-٣ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:0.7:0.3) ٩٨
٤-٤-٤ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:0.8:0.2) ١٠٠
٤-٤-٥ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:0.9:0.1) ١٠٢
٤-٤-٦ نسبت مولی (Fe:Ni:Zn , 2:1:0) ١٠٥
٤-٤-٧ مقایسه الگوهای پراش نمونه های تولیدی با نسبت مولی اولیه متفاوت ١٠٧
٤-٤-٨ بررسی ریزساختار ١٠٩
٤-٤-٩ بررسی خواص مغناطیسی ١١٠
٤-٥ تأثیر عملیات حرارتی ١١٥

٤-٥-١ عملیات حرارتی در دمای $1000^{\circ}C$ ١١٥
٤-٥-٢ عملیات حرارتی در دمای $1100^{\circ}C$ ١٢١
٤-٥-٣ عملیات حرارتی در دمای $1200^{\circ}C$ ١٢٣
٤-٥-٤ عملیات حرارتی در دمای $1250^{\circ}C$ ١٢٨
٤-٥-٤-١ بررسی ریزساختار ١٣٢
٤-٥-٥ بررسی خواص مغناطیسی ١٣٤
٤-٥-٦ خواص الکترومغناطیس ١٤٠
٤-٥-٧ خواص الکتریکی ١٤٣

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها ١٥٢

٥-١ نتیجه گیری ١٥٢
٥-٢ پیشنهادها ١٥٤

مراجع ١٥٥
چکیده انگلیسی ١٥٩

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱. ماده فرو مغناطیس. الف) در غیاب میدان مغناطیس ب) در حضور یک میدان مغناطیس قوی ٦

شکل ۲-۲. یک حوزه مربوط به ماده فری مغناطیس ٦

شکل ۲-۳. منحنی مغناطش برای مواد مغناطیسی نرم و سخت ۷

شکل ۲-٤. سلول واحد اسپینل ۹

شکل ۲-۵. زوایا و فواصل بین یونی در ساختار بلوری اسپینل ۹

شکل ۲-٦. دو قطبی شدن دی الکتریک با اعمال میدان الکتریکی ١٤

شکل ۲-۷. طرحواره ای از رآکتور فرآیند قوس الکتریکی جهت تولید نانوذرات ۲۲

شکل ۲-۸. طرحواره‌ای از مراحل آزمایش انجام شده توسط سونگ و همکاران ۲۵

شکل ۲-۹. ترکیب بندی مواد خام و نانوذرات تولید شده به روش قوس الکتریکی ۲۵

شکل ۲-۱۰. نمایشی از چگونگی برقراری میدان مغناطیسی حول الکترود.....۲٦

شکل ۲-۱۱. مقایسه الگوهای پراش نانوذرات تولیدی در محیط های مختلف ۲۷

شکل ۲-۱۲. مقایسه تصاویر SEM مربوط به نمونه های آلیاژ برنج ابتدایی و نانوذرات آلیاژی تولید شده در محیط آب تقطیر شده ۲۷

شکل ۲-۱۳. شماتیکی از فرآیند تخلیه قوس پلاسما جهت تولید نانو ذرات آلیاژی Mn-Al ۲۸

شکل ۲-١٤. الگوی پراش مربوط به تشکیل نانوذرات NiO ۲۹

شکل ۲-۱۵. تصویر TEM مربوط به نانوذرات NiO تشکیل شده ۲۹

شکل ۲-١٦. تأثیر سرعت جریان گاز حامل و فرکانس قوس بر اندازه نانو ذرات ۳۰

شکل ۲-۱۷. مقایسه الگوی پراش برای تولید آلیاژ در سه جریان متفاوت ۳۱

شکل ۲-۱۸. تصویر SEM برای نمونه با شرایط بهینه حاصل که منجر به تولید نانوذرات با ابعاد ۲۰ نانومتر شده است ۳۱

شکل ۲-۱۹. حلقه پسماند Fe_2o_3-α و Fe_2O_3-Y در دمای اتاق ۳۳

شکل ۲-۲۰. الگوهای پراش برای نمونه های تولیدی در شرایط مختلف ۳۵

شکل ۲-۲۱. تصویر SEM برای نمونه با فشار ا اتمسفر و شدت جریان ۱۰۰ آمپر که منجر به تولید نانوذرات با میانگین ابعاد ۱۰۰ نانومتر شده است.....۳۵
شکل ۲-۲۲. حلقه پسماند مربوط به نمونه های تولیدی در شرایط مختلف ۳۶
شکل ۳-۱. قالب مورد استفاده جهت تولید الکترود و الکترود تهیه شده توسط آن.....۳۸
شکل ۳-۲. رآکتور مورد استفاده در این پژوهش جهت انجام فرآیند قوس الکتریکی ۳۹
شکل ۳-۳. دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش ۳۹
شکل ۳-٤. طرحواره‌ای از رآکتور فرآیند قوس الکتریکی.....٤۱
شکل ۳-۵. نمونه ای از پودرهای تولید شده قبل و بعد از عملیات حرارتی ٤۵
شکل ۳-٦. انطباق سازی الگوی پراش محاسباتی با الگوی پراش واقعی
برای نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$. ٤۷
شکل ۳-۷. قالب حلقه‌ای شکل و حلقه‌های شکل یافته به کمک آن. ٤۹
شکل ۳-۸. حلقه‌های سیم پیچی شده در این پژوهش با سیم های مسی روکش‌دار. ٤۹
شکل ۳-۹. الف. دستگاه LCR-meter. ب. قطعه LCR-06. .....۵۰
شکل ۳-۱۰. قطعه LCR-09. .....۵۱
شکل ۳-۱۱. نمونه‌ی قرصی آغشته به چسب نقره برای ارزیابی رفتار دی‌الکتریک. ۵۲
شکل ٤-۱. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}.....۵٤
شکل ٤-۲. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}.....۵۵
شکل ٤-۳. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع ۵٦
شکل ٤-٤. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400}. ۵۷
شکل ٤-۵. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400}.....۵۷
شکل ٤-٦. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400} با الگوهای پراش مرجع. ۵۸
شکل ٤-۷. مقایسه الگوهای XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} و نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400}. ٦۰
شکل ٤-۸. مقایسه آنالیز کمی نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} و نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400}. ٦۰
شکل ٤-۹. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{400}. ٦۱
شکل ٤-۱۰. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{400}. ٦۲

شکل ٤-١١. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع. ٦٣
شکل ٤-١٢. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-Ar_1I_{400}. ٦٤
شکل ٤-١٣. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-Ar_1I_{400} ٦٤
شکل ٤-١٤. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-Ar_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع. ٦٥
شکل ٤-١٥. مقایسه الگوهای XRD مربوط به نمونه های تولید شده با اتمسفر هوا، اکسیژن و آرگون. ٦٧
شکل ٤-١٦. مقایسه آنالیز کمی نمونه های تولید شده با اتمسفر هوا، اکسیژن و آرگون.....٦٧
شکل ٤-١٧. طرحواره ای از ذرات اولیه، ذرات ثانویه و کلوخه. ٦٩
شکل ٤-١٨. تصاویر میکروسکوپ FESEM با بزرگنمایی مختلف. الف) نمونه تولیدی در اتمسفر هوا. ب) نمونه تولیدی در اتمسفر اکسیژن. ج و د) نمونه تولیدی در اتمسفر آرگون. ٧٠
شکل ٤-١٩. منحنی پسماند برای نمونه های تولیدی در اتمسفرهای هوا، اکسیژن و آرگون. ٧٢
شکل ٤-٢٠. بخشی از منحنی پسماند برای نمونه های تولیدی در اتمسفرهای هوا، اکسیژن و آرگون. ٧٣
شکل ٤-٢١. تغییرات نفوذپذیری مغناطیسی(μ) بر حسب فرکانس برای نمونه های مختلف. ٧٥
شکل ٤-٢٢. تغییرات مقاومت سری سیم پیچ (R) در اثر حضور هسته در بازه فرکانسی 10^2 تا 10^6 هرتز برای نمونه های مختلف. ٧٧
شکل ٤-٢٣. تغییرات مقاومت سری سیم پیچ (R) در اثر حضور هسته در بازه فرکانسی 10^6 تا 10^7 هرتز برای نمونه های مختلف. ٧٨
شکل ٤-٢٤. تغییرات ثابت دی الکتریک حقیقی(ε') بر حسب فرکانس
برای نمونه های $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}. ٨٠
شکل ٤-٢٥. تغییرات ثابت دی الکتریک حقیقی(ε'') بر حسب فرکانس
برای نمونه های $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}. ٨١
شکل ٤-٢٦. تغییرات تلفات دی الکتریک ($Tan\ \delta$) بر حسب فرکانس
برای نمونه های $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}. ٨٣
شکل ٤-٢٧. تغییرات رسانایی الکتریکی (σ) بر حسب فرکانس

برای نمونه های $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}. ۸۵
شکل ٤-۲۸. تغییرات رسانایی الکتریکی (ac) نمونه های $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-A_1I_{400} را به‌عنوان تابعی از فرکانس. ۸٦
شکل ٤-۲۹. تغییرات امپدانس موهومی بر حسب امپدانس حقیقی برای نمونه های $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-A_1I_{400}. ۸۸
شکل ٤-۳۰. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{300}. ۸۹
شکل ٤-۳۱. الگوهای مرجع پراش مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{300}. ۹۰
شکل ٤-۳۲. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{300} با الگوهای پراش مرجع. ۹۱
شکل ٤-۳۳. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{500}. ۹۲
شکل ٤-۳٤. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{500}. ۹۲
شکل ٤-۳۵. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{500} با الگوهای پراش مرجع. ۹۳
شکل ٤-۳٦. الگوهای XRD مربوط به نمونه های تولیدی در شدت جریان های ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰ آمپر. ۹٤
شکل ٤-۳۷. مقایسه آنالیز کمی نمونه های تولیدی با شدت جریان‌های متفاوت. ۹۵
شکل ٤-۳۸. الگوی XRD مربوط به‌نمونه $Ni_{0.6}$-A_1I_{400} ۹۷
شکل ٤-۳۹. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.6}$-A_1I_{400}. ۹۷
شکل ٤-٤۰. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.6}$-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع ۹۸
شکل ٤-٤۱. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.7}$-A_1I_{400} ۹۹
شکل ٤-٤۲. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.7}$-A_1I_{400} ۹۹
شکل ٤-٤۳. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.7}$-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع ۱۰۰
شکل ٤-٤٤. الگوی XRD مربوط به‌نمونه $Ni_{0.8}$-A_1I_{400} ۱۰۱
شکل ٤-٤۵. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.8}$-A_1I_{400} ۱۰۱
شکل ٤-٤٦. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.8}$-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع ۱۰۲
شکل ٤-٤۷. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.9}$-A_1I_{400}. ۱۰۳
شکل ٤-٤۸. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.9}$-A_1I_{400}. ۱۰٤

شکل ٤-٤٩. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.9}$-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع ١٠٤
شکل ٤-٥٠. الگوی XRD مربوط به نمونه Ni_1-A_1I_{500}. ١٠٥
شکل ٤-٥١. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه Ni_1-A_1I_{500}. ١٠٦
شکل ٤-٥٢. میزان تطابق الگوی پراش نمونه Ni_1-A_1I_{400} با الگوهای پراش مرجع. ١٠٧
شکل ٤-٥٣. مقایسه الگوهای XRD مربوط به‌نمونه ها با نسبت‌های مولی مختلف. ١٠٨
شکل ٤-٥٤. مقایسه آنالیز کمی مربوط به‌نمونه‌های تولید شده با نسبت مولی اولیه متفاوت. ... ١٠٨
شکل ٤-٥٥. تصاویر میکروسکوپ FESEM برای نمونه Ni_1-A_1I_{400}. ١٠٩
شکل ٤-٥٦. مقایسه منحنی پسماند مربوط به نمونه ها با نسبت های مولی مختلف. ١١١
شکل ٤-٥٧. بخشی از منحنی پسماند مربوط به نمونه ها با نسبت های مولی مختلف. ١١٢
شکل ٤-٥٨. منحنی تغییرات مغناطش اشباع و میدان پسماند زدا بر حسب نسبت مولی. ١١٣
شکل ٤-٥٩. وضعیت پر شدن مدار (اوربیتال) لایه ظرفیت یون ها. ١١٤
شکل ٤-٦٠. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1000}$. ١١٦
شکل ٤-٦١. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1000}$. ١١٧
شکل ٤-٦٢. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1000}$ با الگوهای پراش مرجع. ١١٧
شکل ٤-٦٣. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1000}$. ١١٩
شکل ٤-٦٤. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1000}$. ١١٩
شکل ٤-٦٥. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1000}$ با الگوهای پراش مرجع. ١٢٠
شکل ٤-٦٦. مقایسه الگوی XRD مربوط به نمونه های $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1000}$ و
$Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1000}$ ١٢١
شکل ٤-٦٧. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1100}$. ١٢٢
شکل ٤-٦٨. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1100}$. ١٢٢
شکل ٤-٦٩. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1100}$ با الگوهای پراش مرجع. ١٢٣
شکل ٤-٧٠. الگوی XRD مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1200}$. ١٢٤
شکل ٤-٧١. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1200}$. ١٢٥
شکل ٤-٧٢. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1200}$ با الگوهای پراش مرجع. ١٢٥

شکل ٤-٧٣. الگوی XRD مربوط به‌نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1200}$ ١٢٦
شکل ٤-٧٤. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1200}$ ١٢٧
شکل ٤-٧٥. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1200}$ با الگوهای پراش مرجع. ١٢٧
شکل ٤-٧٦. الگوی XRD مربوط به‌نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$ ١٢٨
شکل ٤-٧٧. الگوهای مرجع مربوط به XRD نمونه عملیات $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$ ١٢٩
شکل ٤-٧٨. میزان تطابق الگوی پراش نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1250}$ با الگوهای پراش مرجع. ١٣٠
شکل ٤-٧٩. الگوهای XRD نمونه های عملیات حرارتی شده و فاقد عملیات حرارتی. ١٣١
شکل ٤-٨٠. نمودار آنالیز کمی نمونه های عملیات حرارتی شده و نشده. ١٣٢
شکل ٤-٨١. تصاویر میکروسکوپ FESEM نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$ ١٣٣
شکل ٤-٨٢. طیف تفکیک انرژی مربوط به‌آنالیز عنصری نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$ ١٣٤
شکل ٤-٨٣. منحنی پسماند مربوط به نمونه های عملیات حرارتی شده و فاقد عملیات حرارتی. ١٣٥
شکل ٤-٨٤. بخشی از منحنی پسماند مربوط به نمونه های عملیات حرارتی شده و فاقد عملیات حرارتی. ١٣٦
شکل ٤-٨٥. نمودار تغییرات مغناطش اشباع بر حسب دمای عملیات حرارتی. ١٣٧
شکل ٤-٨٦. نمودار تغییرات مغناطش پسماند و میدان پسماند زدا بر حسب دمای عملیات حرارتی. ١٣٨
شکل ٤-٨٧. تغییرات دو نمودار مربوط به نیل (خط چین) و مربوط به یافت کیتل(پر رنگ) بر حسب افزایش فریت روی..... ١٤٠
شکل ٤-٨٨. تغییرات نفوذپذیری مغناطیسی(μ) بر حسب فرکانس برای نمونه های مختلف. .. ١٤١
شکل ٤-٨٩. تغییرات فاکتور تلفات ($\tan\delta / \mu$) بر حسب فرکانس برای نمونه های مختلف. .. ١٤٣
شکل ٤-٩٠. تغییرات ثابت دی الکتریک حقیقی(ε') بر حسب فرکانس برای نمونه‌های مختلف. ١٤٤
شکل ٤-٩١. تغییرات ثابت دی الکتریک موهومی(ε'') بر حسب فرکانس برای نمونه‌های مختلف. ١٤٤

شکل ٤-٩٢. تغییرات ثابت دی الکتریک در چند فرکانس مختلف بر حسب دما.....١٤٦
شکل ٤-٩٣. تغییرات تلفات دی الکتریک بر حسب فرکانس برای نمونه‌های مختلف. ١٤٧
شکل ٤-٩٤. تغییرات رسانایی الکتریکی بر حسب فرکانس برای نمونه‌های مختلف. ١٤٨
شکل ٤-٩٥. تغییرات رسانایی الکتریکی جریان متناوب در مقیاس لگاریتمی بر حسب لگاریتم مربع فرکانس زاویه‌ای برای نمونه‌های عملیات حرارتی شده در دماهای مختلف. الف) دمای ١٠٠٠ ب) دمای ١١٠٠ ج)دمای ١٢٠٠ د) دمای ١٢٥٠ درجه سانتیگراد. ١٤٩
شکل ٤-٩٦. تغییرات امپدانس موهومی بر حسب امپدانس حقیقی برای نمونه های مختلف. ...١٥١

فهرست جداول

جدول ۲-۱. فواصل بین فضاهای ساختار بلوری اسپینل ۱۰

جدول ۲-۲. نمونه ای از اسپینل های نرمال، معکوس و مخلوط به همراه مقادیر پارامتر شبکه، پارامتر موقعیت شبکهٔ اکسیژن و نحوهٔ توزیع کاتیونی ۱۳

جدول ۲-۳. توزیع کاتیونی گشتاور کل برای فریت نیکل و فریت روی ۱۳

جدول ۲-٤. پژوهش های پیشین برای تهیه فریت نیکل ۱٦

جدول ۲-۵. روش های تهیه فریت نیکل–روی در پژوهش های پیشین..... ۱۷

جدول ۲-٦. مقایسه اندازه ذرات تولیدی با تغییر پارامترها ۳۲

جدول ۲-۷. مقایسه اندازه ذرات تولیدی با تغییر پارامترها ۳۲

جدول ۳-۱. مشخصات پودرهای اولیه ۳۷

جدول ۳-۲. متغیرهای در نظر گرفته جهت بررسی اثر فشار اتسمفر. ٤۲

جدول ۳-۳. متغیرهای در نظر گرفته جهت بررسی اثر اتمسفر. ٤۲

جدول ۳-٤. متغیرهای در نظر گرفته جهت بررسی اثر شدت جریان. ٤۳

جدول ۳-۵. نسبت مولی عناصر در ترکیب الکترودهای اولیه جهت ایجاد ترکیب های مختلف فریت نیکل روی. ٤٤

جدول ۳-٦. مشخصات نمونه های تولید شده در اثر فرآیند قوس الکتریکی به‌همراه عملیات حرارتی ثانویه. ٤۵

جدول ٤-۱. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-O_1I_{400}. ۵۵

جدول ٤-۲. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-O_2I_{400}. ۵۸

جدول ٤-۳. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{400}. ٦۳

جدول ٤-٤. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-Ar_1I_{400}. ٦۵

جدول ٤-۵. اندازه نانوذرات تولیدی در اتمسفرهای مختلف. ۷۱

جدول ٤-٦. شاخصه‌های مغناطیسی استنتاج شده از منحنی پسماند. ۷۲

جدول ٤-۷. مقاومت DC ، مقاومت ویژه الکتریکی DC و چگالی برای نمونه تولیدی در

اتمسفرهای هوا، اکسیژن و آرگون. ۷۹
جدول ٤-۸. ثوابت n و A محاسبه شده برای نمونه های مختلف. ۸۷
جدول ٤-۹. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{300}. ۹۱
جدول ٤-۱۰. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.5}$-A_1I_{500}. ۹۳
جدول ٤-۱۱. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.6}$-A_1I_{400}..... ۹۸
جدول ٤-۱۲. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.7}$-A_1I_{400}..... ۱۰۰
جدول ٤-۱۳. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.8}$-A_1I_{400}..... ۱۰۲
جدول ٤-۱٤. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه $Ni_{0.9}$-A_1I_{400}. ۱۰٤
جدول ٤-۱۵. آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک برای نمونه Ni_1-A_1I_{500} ۱۰٦
جدول ٤-۱٦. اطلاعات استخراج شده از منحنی پسماند نمونه ها. ۱۱۱
جدول ٤-۱۷. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1000}$. ۱۱۷
جدول ٤-۱۸. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1000}$. ۱۲۰
جدول ٤-۱۹. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1100}$. ۱۲۳
جدول ٤-۲۰. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$A_1I_{400}T_{1200}$. ۱۲۵
جدول ٤-۲۱. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1200}$. ۱۲۷
جدول ٤-۲۲. نتایج آنالیز کمی، پارامتر شبکه و اندازه بلورک نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$..... ۱۳۰
جدول ٤-۲۳. درصد اتمی نظری و محاسبه شده از طیف تفکیک انرژی شکل ۲۳-٤
مربوط به نمونه $Ni_{0.5}$-$O_1I_{400}T_{1250}$. ۱۳٤
جدول ٤-۲٤. اطلاعات استخراج شده از منحنی پسماند نمونه ها..... ۱۳۵
جدول ٤-۲۵. اطلاعات مربوط به مغناطش نظری و تجربی نمونه های $Ni_{0.5}$-O_1I_{400} و $Ni_{0.5}$-
$O_1I_{400}T_{1250}$. ۱۳۹
جدول ٤-۲٦. ثوابت n و A محاسبه شده برای نمونه های مختلف به همراه فاکتور انطباق. .. ۱۵۰

علامت‌ها و اختصارها

A	مساحت سطح‌مقطع
a	پارامتر شبکه
B	چگالی شار مغناطیسی
B_0	چگالی شار در خلأ
B_s	چگالی شار اشباع
C	ظرفیت خازن
H	شدت میدان
H_c	میدان پس‌ماندزدا
I	جریان
L	القاییدگی
L_0	القاییدگی خلأ
M	مغناطش
m	گشتاور مغناطیسی آهن‌ربا
M_r	مغناطش پس‌ماند
M_s	مغناطش اشباع
N	تعداد دور سیم
p	توان قطب‌ها
q	میزان بار روی یک صفحه خازن
t	ضخامت ماده دی‌الکتریک
V	اختلاف پتانسیل
Z	امپدانس
Z'	امپدانس حقیقی
Z''	امپدانس موهومی
χ_m	حساسیت‌پذیری مغناطیسی

ε	نفوذپذیری الکتریکی محیط دی‌الکتریک
ε_0	گذردهی (نفوذپذیری) الکتریکی خلأ
ε'	ثابت دی‌الکتریک حقیقی
ε''	ثابت دی‌الکتریک موهومی
ε_r	نفوذپذیری الکتریکی نسبی
Φ_H	شار مغناطیسی گذرنده از سطح‌مقطع چنبره
μ	نفوذپذیری
μ_0	نفوذپذیری در خلأ
μ_r	نفوذپذیری نسبی
ρ	مقاومت ویژه
σ	رسانایی الکتریکی

VSM	vibrating-sample magnetometer
SEM	Scanning Electron Microscopy
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscopy