

دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده فیزیک - کرایش حالت جامد

## رشد و مشخصه‌یابی لایه‌های آلیاژی Cu-Co

نگارش:

روح‌الله حفیظی

اساتید راهنما:

دکتر محمد ابراهیم قاضی

دکتر مرتضی ایزدی‌فرد

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل عبدلی نسلجی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: فیزیک

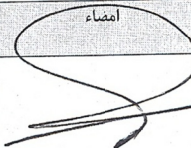

پایان نامه ارشد آقای روح ... حفیظی


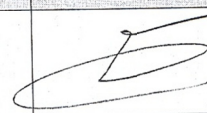
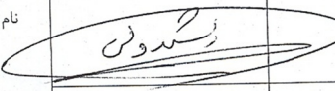
تحت عنوان:

رشد و مشخصه یابی لایه های Cu-Co

در تاریخ ۸۹/۴/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با

درجه شایسته مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور:	امضاء	اساتید راهنما:
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: دکتر محمدابراهیم قاضی
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: مرتضی ایزدی فرد

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور:
	نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی مؤمنی		نام و نام خانوادگی: دکتر حسین عشقی
			نام و نام خانوادگی: دکتر رشید ولی
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم به

# خانواده ام

که حمایت ایشان، بزرگترین پشتوانه برای آغاز و انجام هر کاری است.

## تشکر و قدردانی

اکنون که در سایه الطاف پروردگار، دوره‌ای دیگر از زندگی تحصیلی‌ام را به پایان می‌رسانم، قدردانی از کسانی که مرا در این امر یاری کردند، وظیفه‌ای بزرگ است. از اساتید راهنمای خود، **دکتر قاضی و دکتر ایزدی‌فرد** که با راهنمایی، دلسوزی و حمایت‌هایشان، امید به ادامه و پیمودن مسیری نو را در بنده ایجاد کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. خرسندم که افتخار شاگردی جناب **دکتر قاضی و همکاری** با ایشان درس‌های بزرگی از زندگی برای بنده دربرداشته است. همچنین از استاد مشاورم، **دکتر عبدلی نسلجی**، که با حضوری گرمی‌بخش در آزمایشگاه رشد بلور و انتقال تجربیات گرانقدرشان، این مسیر را هموارتر کردند، و از **دکتر عشقی و دکتر ولی** که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند، نیز سپاسگزارم.

در پایان از زحمات بی‌دریغ **مهندس مسکنی** در آزمایشگاه رشد بلور و پیگیری‌های دلسوزانه ایشان تشکر داشته و از دوست خوبم آقای **علی مخلصیان** در آزمایشگاه تحقیقاتی شیمی تجزیه، مهندس کلی در آزمایشگاه شیمی تجزیه، مهندس اخیانی در کارگاه مکانیک، مهندس خراط‌ها در کارگاه برق، مهندس رضاپور، جناب آقای احسانی و همه کسانی که به هر نحو در انجام این پروژه همکاری داشته‌اند، نهایت قدردانی را دارم.

امیدوارم که مطالعه این نوشته در آینده، تداعی خاطراتی به‌یادماندنی باشد، از همه دوستان این مقطع و در کنار آن‌ها.

## تعهد نامه

اینجانب **روح‌الله حفیظی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد فیزیک - حالت جامد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه رشد و مشخصه‌یابی لایه‌های آلیاژی **Co-Cu** تحت راهنمایی دکتر محمد ابراهیم قاضی و دکتر مرتضی ایزدی فرد متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب درج شده در پایان‌نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو:

### ماکلیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

از زمانی که برای اولین بار اثر مغناطومقاومت بزرگ (GMR) در لایه‌های نازک مغناطیسی مشاهده شد، این ساختارها مورد توجه و بررسی زیادی قرار گرفتند، زیرا این مواد برای ساخت حسگرهای مغناطیسی و هد های دیسک‌های سخت گزینه مناسبی به حساب می‌آیند. آلیاژ Co-Cu از جمله ساختارهایی است که دارای چنین خواصی می‌باشد. در این کار با استفاده از روش الکتروانباشت لایه Co-Cu رشد داده شد و خواص ساختاری و مغناطیسی آن مورد بررسی قرار گرفت.

در این پایان نامه، ابتدا به بررسی رفتار پتانسیودینامیکی یون‌های موجود در الکترولیت انباشت به صورت جداگانه و در حضور یکدیگر پرداخته شد. این امر مشخص نمود که یون مس در ولتاژهای کمتر از  $-0.4$  ولت و یون کبالت در ولتاژهای کمتر از  $-0.95$  ولت نسبت به SCE انباشت می‌شوند. ضمن اینکه مناسب است ولتاژ انباشت، کمتر از  $-1.2$  ولت اختیار نشود، چرا که واکنش‌های مزاحم شدت بیشتری پیدا می‌کنند و خطای محاسبات جرم و ضخامت را افزایش می‌دهند.

اندازه‌گیری انجام شده با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) مشخص کرد که با کاهش ولتاژ انباشت، درصد کبالت در ترکیب لایه انباشت شده افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، با کاهش درصد یون مس در الکترولیت انباشت، درصد کبالت لایه افزایش و با اعمال هم‌خوردگی به هنگام انباشت، درصد کبالت لایه کاهش می‌یابد.

در هر مرحله با تهیه الگوی پراش پرتو X (XRD)، تشکیل ساختار مورد تأیید قرار گرفت و با توجه به این الگوهای پراش X، اندازه بلورک‌ها، در محدوده ۲۰ الی ۳۰ nm به دست آمد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) تهیه شده از این نمونه‌ها، نشان‌دهنده دانه‌هایی غیرکروی با توزیع نایکنواخت و با ابعاد متوسط حدود ۱۳۰ nm است.

اندازه‌گیری مغناطیسی توسط مغناطیس‌سنج گرادیان میدان متناوب (AGFM) نیز نشان‌دهنده حلقه پسماند برای همه نمونه‌ها بود که نشان داد این لایه‌ها در دمای اتاق فرومغناطیس می‌باشند، همچنین مشاهده شد با افزایش درصد کبالت در لایه انباشت‌شده، مغناطش اشباع افزایش و میدان وادارندگی کاهش می‌یابد و با کاهش ضخامت لایه، حلقه‌های پسماند چهارگوشی‌تر می‌شوند.

درنهایت با افزودن سدیم ساخارین به الکترولیت انباشت، با تهیه تصاویر FESEM مشخص گردید که با افزایش مقدار سدیم ساخارین همواری سطح لایه‌ها افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر اندازه متوسط دانه‌ها از حدود ۱۳۰nm برای نمونه‌ای که از الکترولیت بدون سدیم ساخارین تهیه شده، به حدود ۷۰nm برای نمونه‌ای که در الکترولیت آن ۰/۰۲ مولار سدیم ساخارین وجود دارد، کاهش می‌یابد.

**کلید واژه:** الکتروانباشت، Co-Cu، خواص مغناطیسی، میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدانی، پراش پرتو X، طیف‌سنجی جذب اتمی، مغناطیس‌سنج گرادیان میدان متناوب



## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- روح‌الله حفیظی، محمد ابراهیم قاضی، مرتضی ایزدی‌فرد، مجید باقرزاده، اسماعیل عبدلی نسلجی، (۱۳۸۹) «بررسی اثر pH حمام و افزودنی سدیم ساخارین بر ساختار و مورفولوژی سطح آلیاژهای  $\text{Cu}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$  تهیه‌شده به روش الکتروانباشت»، پذیرفته شده در کنفرانس سالانه فیزیک ایران، همدان.

2- R. Hafizi, M. E. Ghazi, M. Izadifard, (2010) “Structural and Magnetic Characterization of the electrodeposited  $\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x$  films”, Accepted in ICNM 2010, Turkey.

## فهرست

صفحه

عنوان

### فصل اول - مقدمه

- ۱-۱ مقدمه ..... ۲
- ۲-۱ دلیل انتخاب آلیاژ Co-Cu ..... ۵

### فصل دوم - مطالعه روش الکتروانباشت و ابزارهای مشخصه یابی

- ۱-۲ مقدمه ..... ۱۰
- ۲-۲ زیرلایه ..... ۱۱
- ۳-۲ الکتروشیمی ..... ۱۴
- ۱-۳-۲ اصطلاح شناسی ..... ۱۵
- ۴-۲ روابط بنیادی ..... ۱۷
- ۱-۴-۲ قانون فارادی و محاسبه جرم و ضخامت لایه انباشت شده ..... ۱۹
- ۵-۲ انتقال جرم ..... ۲۰
- ۶-۲ الکتروانباشت ..... ۲۳
- ۱-۶-۲ سلول سه الکترودی ..... ۲۴
- ۱-۱-۶-۲ الکتروود مرجع ..... ۲۵

۲۷	..... ۲-۶-۲- منحنی ولتامتری چرخه‌ای
۲۹	..... ۳-۶-۲- روش انباشت
۳۰	..... ۴-۶-۲- نمودار جریان زمان
۳۱	..... ۵-۶-۲- عوامل مؤثر بر لایه‌نشانی به روش الکتروانباشت
۳۲	..... ۷-۲- روش‌های مشخصه‌یابی
۳۳	..... ۱-۷-۲- پراش پرتو X (XRD)
۳۶	..... ۲-۷-۲- میکروسکوپ الکترون روبشی SEM
۴۰	..... ۳-۷-۲- XRF

## فصل سوم- الکتروانباشت لایه‌های نازک $Cu_{1-x}Co_x$ با استفاده از سلول سه الکترودی

۴۴	..... ۱-۳- مقدمه
۴۵	..... ۲-۳- عملیات آماده‌سازی زیرلایه‌ها
۴۶	..... ۱-۲-۳- پولیش مکانیکی زیرلایه
۴۷	..... ۲-۲-۳- ماسک‌زنی و برقراری اتصال اهمی
۴۸	..... ۳-۲-۳- پولیش الکتروشیمیایی زیرلایه مس
۵۰	..... ۳-۳- سلول الکتروشیمیایی
۵۰	..... ۱-۳-۳- الکترولیت‌های استفاده شده
۵۱	..... ۲-۳-۳- پیکربندی سلول
۵۳	..... ۴-۳- منحنی ولتامتری چرخه‌ای

۵-۳- الکتروانباشت لایه‌های نازک آلیاژی  $Cu_{1-x}Co_x$  ..... ۵۴

۳-۶- نتیجه‌گیری ..... ۵۶

## فصل چهارم - مشخصه‌یابی لایه‌های آلیاژی $Cu_{1-x}Co_x$

۴-۱- مقدمه ..... ۵۸

۴-۲- بررسی رفتار پتانسیودینامیکی الکترولیت‌ها ..... ۵۸

۴-۲-۱- منحنی ولتامتری چرخه‌ای زیرلایه مس در آب یون‌زدایی‌شده ..... ۵۹

۴-۲-۲- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول اسید بوریک ..... ۶۱

۴-۲-۳- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول تری‌سیترات سدیم ..... ۶۲

۴-۲-۴- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات مس ..... ۶۳

۴-۲-۵- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات کبالت ..... ۶۴

۴-۲-۶- منحنی ولتامتری محلول تری‌سیترات سدیم و اسید بوریک ..... ۶۵

۴-۲-۷- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات مس و تری‌سیترات سدیم و اسید بوریک ..... ۶۶

۴-۲-۸- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات کبالت و تری‌سیترات سدیم و اسید بوریک ..... ۶۷

۴-۲-۹- منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول انباشت ..... ۶۹

۴-۳- بررسی اثر تغییر ولتاژ انباشت بر ترکیب لایه انباشت شده ..... ۷۰

۴-۴- بررسی اثر ترکیب الکترولیت بر ترکیب لایه انباشت شده ..... ۷۷

۴-۵- بررسی اثر هم‌خوردگی الکترولیت به هنگام انباشت بر ترکیب لایه انباشت‌شده ..... ۸۲

۴-۶- بررسی اثر زیرلایه و تغییر ترکیب بر خواص مغناطیسی لایه انباشت‌شده ..... ۸۷

۴-۶-۱- خواص مغناطیسی لایه‌های انباشت شده بر روی زیرلایه مس ..... ۸۸

۴-۶-۲- خواص مغناطیسی لایه‌های انباشت شده بر روی زیرلایه ITO..... ۹۰

۴-۷- بررسی افزودنی سدیم ساخارین بر مورفولوژی سطح آلیاژهای Co-Cu..... ۹۳

۴-۸- نتیجه‌گیری..... ۱۰۰

مراجع..... ۱۰۲

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل (۱-۱): دیاگرام فازی سیستم Co-Cu ..... ۶
- شکل (۱-۲): نمای شماتیک مدهای رشد مختلف الف) لایه به لایه ب) جزیره‌ای و ج) لایه‌به‌لایه به اضافه جزیره‌ای ..... ۱۴
- شکل (۲-۲): طرحواره‌ای از سه مد انتقال جرم ..... ۲۳
- شکل (۳-۲): طرحواره‌ای از سلول سه الکترودی ..... ۲۵
- شکل (۴-۲): طرحواره‌ای از الکتروود کالومل اشباع (SCE) ..... ۲۷
- شکل (۵-۲): نمونه‌ای از منحنی ولتامتری چرخه‌ای ..... ۲۸
- شکل (۶-۲): نمودار جریان - زمان برای دو لایه که در شرایط یکسان و در حضور و عدم حضور تلاطم انباشت شده‌اند. .... ۳۰
- شکل (۷-۲): چگونگی پراش پرتو X از صفحات بلوری با توجه به فرضیات براگ ..... ۳۴
- شکل (۸-۲): پیکربندی براگ-بنتانو،  $\theta:2\theta$  ..... ۳۴
- شکل (۹-۲): پیکربندی براگ-بنتانو،  $\theta:\theta$  ..... ۳۵
- شکل (۱۰-۲): طرحواره‌ای از دستگاه SEM ..... ۳۸
- شکل (۱۱-۲): طبقه بندی الکترون‌ها در SEM ..... ۳۹
- شکل (۱۲-۲): دستگاه SEM مدل Hitachi S-4160 ..... ۴۰
- شکل (۱۳-۲): طرحواره‌ای از فرآیندهایی که در دستگاه XRF رخ می‌دهد ..... ۴۱

- شکل (۲-۱۴): طرحواره‌ای از فرآیندهای حاکم بر گسیل پرتو X در دستگاه XRF ..... ۴۲
- شکل (۲-۱۵): طرحواره‌ای از دستگاه XRF ..... ۴۲
- شکل (۳-۱): الگوی پراش پرتو X زیرلایه مس ..... ۴۶
- شکل (۳-۲): مراحل ماسک‌گذاری زیرلایه جهت انباشت ..... ۴۸
- شکل (۳-۳): طرحواره‌ای از پیکربندی سلول پولیش الکتروشیمیایی ..... ۴۹
- شکل (۳-۴): طرحواره‌ای از سلول سه الکترودی استفاده شده ..... ۵۲
- شکل (۳-۵): دستگاه پتانسیوستات شرکت بهپژوه مدل +۲۰۶۳ آزمایشگاه رشد بلور ..... ۵۵
- شکل (۴-۱): منحنی ولتامتری چرخه‌ای آب یون‌زدایی شده با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۵۹
- شکل (۴-۲): منحنی ولتامتری محلول اسید بوریک ۰/۱۱ مولار با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۶۱
- شکل (۴-۳): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سیترات سدیم ۰/۶ مولار با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۶۲
- شکل (۴-۴): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات مس ۰/۱۶ مولار با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۶۴
- شکل (۴-۵): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات کبالت ۰/۲۴ مولار با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۶۵
- شکل (۴-۶): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول تری‌سیترات سدیم و اسید بوریک ..... ۶۶
- شکل (۴-۷): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات مس در حضور اسید بوریک و تری‌سیترات سدیم ..... ۶۷
- شکل (۴-۸): منحنی ولتامتری چرخه‌ای محلول سولفات کبالت در حضور تری‌سیترات سدیم و اسیدبوریک ..... ۶۸

- شکل (۹-۴): طرحواره‌ای از محدوده فعالیت یون‌های موجود در الکترولیت ..... ۶۹
- شکل (۱۰-۴): منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکترولیت انباشت با سرعت جاروب  $20 \text{ mVs}^{-1}$  ..... ۷۰
- شکل (۱۱-۴): وابستگی ترکیب لایه انباشت‌شده به ولتاژ انباشت برای الف) الکترولیت  $1-3-4$  و ب)  $3-4$  ..... ۷۲
- شکل (۱۲-۴): الگوی پراش پرتو X نمونه  $4-3-4$  با ترکیب  $\text{Cu}_{.118}\text{Co}_{.182}$  ..... ۷۳
- شکل (۱۳-۴): تصویر FESEM از سطح نمونه  $4-3-4$  با ترکیب  $\text{Cu}_{.118}\text{Co}_{.182}$ ، با بزرگنمایی الف) ۶۰۰۰ برابر، ب) ۱۵۰۰۰ برابر و ج) ۶۰۰۰۰ برابر ..... ۷۶
- شکل (۱۴-۴): منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکترولیت‌های  $1-4-4$  و  $2-4-4$  ..... ۷۸
- شکل (۱۵-۴): وابستگی ترکیب لایه انباشت‌شده به ترکیب الکترولیت انباشت ..... ۷۹
- شکل (۱۶-۴): الگوی پراش پرتو X برای آلیاژ  $\text{Cu}_{.167}\text{Co}_{.33}$  ..... ۷۹
- شکل (۱۷-۴): الگوی پراش پرتو X برای آلیاژ  $\text{Cu}_{.142}\text{Co}_{.58}$  ..... ۸۰
- شکل (۱۸-۴): منحنی ولتامتری چرخه‌ای برای دو محلول شامل الف) سولفات مس و ب) سولفات کبالت در دو حالت بدون هم‌خوردگی و در حال هم‌خوردگی با سرعت  $150 \text{ rpm}$  ..... ۸۲
- شکل (۱۹-۴): منحنی ولتامتری چرخه‌ای در دو وضعیت بدون هم‌خوردگی و در حال هم‌خوردگی الکترولیت برای الف) الکترولیت  $1-4-4$  و ب) الکترولیت  $2-4-4$  ..... ۸۴
- شکل (۲۰-۴): اثر هم‌خوردگی بر ترکیب لایه‌های انباشت‌شده برای الکترولیت الف)  $1-4-4$  و ب)  $4-4$  ..... ۸۶
- شکل (۲۱-۴): الگوی پراش پرتو X نمونه  $4-3-4$  با ترکیب  $\text{Cu}_{.191}\text{Co}_{.109}$  ..... ۸۶
- شکل (۲۲-۴): نمایشی از دستگاه AGFM ..... ۸۸
- شکل (۲۳-۴): منحنی پسماند نمونه‌های  $1-4-4$  تا  $4-4-4$  در دمای اتاق ..... ۸۹



- شکل (۴-۲۴): منحنی پسماند نمونه‌های ۴-۲-۶-۴ تا ۴-۲-۶-۴ در دمای اتاق..... ۹۲
- شکل (۴-۲۵): منحنی های ولتامتری چرخه‌ای الف) محلول‌های ۱-۷-۴ تا ۴-۷-۴ و ب) محلول‌های ۴-۷-۴ تا ۵-۷-۴..... ۹۵
- شکل (۴-۲۶): منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکترولیت‌های انباشت شامل سدیم ساخارین..... ۹۶
- شکل (۴-۲۷): تصویر FESEM سطح با بزرگنمایی ۶۰۰۰۰ برابر برای نمونه تهیه شده از الکترولیت الف) بدون ب) ۰/۰۰۵ مول ج) ۰/۰۱ مول و د) ۰/۰۲ مول سدیم ساخارین در شرایط انباشت یکسان..... ۹۷
- شکل (۴-۲۸): ساختار مولکول‌های ساخارین و سدیم ساخارین ..... ۹۸
- شکل (۴-۲۹): نمودار جریان زمان برای نمونه‌های تهیه شده برای بررسی افزودنی سدیم ساخارین ..... ۹۹

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲): پتانسیل‌های استاندارد چند الکتروود استاندارد.....	۱۸
جدول (۲-۲): پتانسیل الکتروودهای مرجع در حمام آبی و در دمای ۲۹۸K.....	۲۶
جدول (۱-۳): مقدار بار لازم برای انباشت لایه‌ای به مساحت $1.8 \text{ cm}^2$ بر حسب ضخامت لایه.....	۵۶
جدول (۱-۴): ترکیب الکتروولیت‌های استفاده شده برای بررسی اثر تغییر ولتاژ انباشت بر ترکیب لایه انباشتی.....	۷۱
جدول (۲-۴): ترکیب لایه‌های انباشته شده برای بررسی اثر ولتاژ انباشت، که با استفاده از AAS تعیین گردیده‌اند.....	۷۲
جدول (۳-۴): اطلاعات به دست آمده از الگوی پراش پرتو X نمونه ۴-۳-۴ با ترکیب $\text{Cu}_{.182}\text{Co}_{.118}$ .....	۷۵
جدول (۴-۴): ترکیب الکتروولیت‌های استفاده شده برای بررسی اثر ترکیب الکتروولیت بر ترکیب لایه انباشت شده.....	۷۷
جدول (۵-۴): ترکیب لایه‌های انباشته شده برای بررسی اثر ترکیب الکتروولیت، که با استفاده از AAS تعیین گردیده‌اند.....	۷۸
جدول (۶-۴): اطلاعات به دست آمده از الگوی پراش پرتو X آلیاژهای $\text{Cu}_{.67}\text{Co}_{.33}$ و $\text{Cu}_{.42}\text{Co}_{.58}$ .....	۸۱
جدول (۷-۴): ترکیب لایه‌های انباشته شده برای بررسی اثر هم‌خوردگی، که با استفاده از AAS تعیین گردیده‌اند.....	۸۵
جدول (۸-۴): اطلاعات به دست آمده از الگوی پراش پرتو X نمونه ۴-۵-۴ با ترکیب $\text{Co}_{.91}\text{Cu}_{.09}$ .....	۸۷

جدول (۹-۴): داده‌های استخراج شده از نتایج اندازه‌گیری با دستگاه AGFM برای نمونه‌های ۱-۴-۴ تا

۴-۴-۴..... ۹۰

جدول (۱۰-۴): مشخصات نمونه‌های ۱-۶-۴ تا ۴-۶-۴..... ۹۱

جدول (۱۱-۴): داده‌های بدست آمده از AGFM برای نمونه‌های ۱-۲-۶-۴ تا ۴-۲-۶-۴..... ۹۱

جدول (۱۲-۴): ترکیب الکترولیت‌های استفاده شده برای بررسی اثر سدیم ساخارین بر رفتار

پتانسیودینامیک منفرد یون‌های مس و کبالت..... ۹۴

جدول (۱۳-۴): ترکیب الکترولیت‌های استفاده شده برای بررسی اثر افزودنی سدیم ساخارین بر

مورفولوژی سطح..... ۹۵

# فصل اول

## مقدمه

- مروری بر کارهای انجام شده در گذشته
- دلیل انتخاب آلیاژ Co-Cu