

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی نساجی

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی تکنولوژی نساجی

تهیه قطعات الکترونیکی ساخته شده به روش جوهر افشانی حاوی نانوذرات نقره و مس بر زیرلایه های انعطاف پذیر

اساتید راهنما:
دکتر سید منصور بیدکی
دکتر محمد علی توانایی

استاد مشاور:
دکتر عباسعلی حیدری

پژوهش و نگارش:
محمد رسول زاده
زمستان ۹۱

چکیده

استفاده از شیوه چاپ جوهر افشان برای طراحی و تولید اجزای الکتریکی امروزه مورد توجه ویژه قرار گرفته است. روش مذکور به دلیل غیر تماسی بودن، سرعت، انعطاف پذیری، خلاقیت و تنوع و پاکیزگی و غیر آلاینده بودن به عنوان ابزاری برای تولید قطعات و ادوات جهت هوشمند سازی منسوجات از اهمیت روز افزونی برخوردار شده است. روش مرسوم در چاپ جوهر افشان، استفاده از جوهرهای حاوی نانوذرات فلزی نقره، مس و نیکل برای ایجاد طرحهایی با هدایت الکتریکی بر سطح بسترهای انعطاف پذیر و صلب است. در یکی از روشهای نوین استفاده از روش جوهر افشانی برای تولید اجزاء مدارهای الکتریکی از یک محلول ماده کاهنده و محلول نمک فلزی به عنوان جوهرهای جوهر افشان برای استحصال فلز روی لایه مورد نظر استفاده شده است. محلول کاهنده و نمک فلزی مانند جوهر از طریق نازل های چاپگر جوهر افشان بر سطح کالا پاشیده شده و با یکدیگر بر روی سطح کالا مخلوط شده و در نتیجه این اختلاط، استحصال شیمیایی فلز و یا ترکیبات فلزی جهت تولید مدارهای چاپی، آنتن ها و غیره روی سطح بستر مورد نظر که حتماً از آبدوستی مناسبی برخوردار بوده است صورت می پذیرد. در این پژوهش سعی شد ابتدا به فرمولاسیونی پایدار جهت سنتز نانو ذرات مس دست یافته شود، بدین منظور و پس از آزمایشات متعدد مشخص گردید که مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید با هم بهترین نتیجه را به عنوان احیاءکننده در سنتز نانو ذرات مس از سو لفات مس میدهد. همچنین مشاهده شد چنانچه اول مخلوط احیاءکننده و سپس بلافاصله نمک فلزی استفاده شود و یا اول نمک فلزی خشک شده و سپس احیاءکننده استفاده شود، نتیجه بهتری خواهد داشت. در این تحقیق از خطوط مسی ایجاد شده به روش غیر جوهرافشانی و غوطه وری، رسانایی $1.543 \times 10^6 \text{ S/m}$ و از خطوط مسی تولیدی از سولفات مس چاپ جوهر افشانی شده و غوطه ور شده در محلول احیاءکننده رسانایی $1.148 \times 10^6 \text{ S/m}$ به دست آمد که به ترتیب ۳۸ و ۵۱ بار کمتر از رسانایی مس در حالت بالک هستند. همچنین محدوده ذرات تشکیل شده روی زیر لایه در این مطالعه از 93 nm تا 620 nm بودند.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

.....۱	فصل اول: مقدمه
.....۲	۱- چاپ جوهر افشان
.....۲	۱-۱- جوهر افشان مداوم
.....۳	۲-۱- جوهر افشان قطره در صورت نیاز
.....۳	۱-۲-۱- گرمایی
.....۴	۲-۲-۱- پیزوالکتریک
.....۵	۳-۲-۱- چاپ جت الکترو هیدرو دینامیکی
.....۸	۴-۲-۱- جوهر افشان هیبریدی
.....۱۱	۳-۱- محدودیت های چاپ جوهر افشان
.....۱۲	۴-۱- جدیدترین قابلیت ها و کاربردهای چاپ جوهر افشان در تولید قطعات الکترونیکی
.....۱۲	۱-۴-۱- سلول های خورشیدی مایع با امکان چاپ بر روی سطوح مختلف
.....۱۳	۲-۴-۱- سنسور های انعطاف پذیر تولیدی به روش جوهر افشانی
.....۱۷	۳-۴-۱- چاپ سوپر خازن روی زیر لایه های کاغذی
.....۲۰	۴-۴-۱- چاپ برچسب های RFID با جوهر نارسای cypoprint
.....۲۰	۵-۴-۱- تولید تجهیزات بی سیم به روش جوهر افشان
.....۲۱	۶-۴-۱- سیم کشی برد های الکتریکی به روش جوهر افشان
.....۲۲	۷-۴-۱- کاربرد الکتروود چاپ شده جوهر افشانی برای مدار توان
.....۲۳	۵-۱- تولید قطعات و اجسام به روش جوهر افشانی
.....۲۳	۱-۵-۱- ساخت میکرو لنز به روش چاپ جوهر افشانی
.....۲۵	۶-۱- کاربرد چاپ جوهر افشان در علوم زیستی
.....۲۷	۷-۱- کاربرد نانو ذرات در چاپ جوهر افشانی مصنوعات

۲۷	۱-۷-۱ به کار گیری نانو لوله کربن در چاپ جوهر افشان
۲۹	۲-۷-۱- چاپ نانو ذرات نقره به روش چاپ جوهر افشاری
۳۰	۱-۲-۷-۱- چاپ الکتروود روی پارچه
۳۰	۲-۲-۷-۱- چاپ المان مقاومت روی پارچه
۳۱	۳-۲-۷-۱- چاپ خازن،خازن یکرو و دورو روی پارچه
۳۲	۴-۲-۷-۱- چاپ مدار RLC روی پارچه
۳۳	۳-۷-۱- چاپ نانو ذرات مس به روش چاپ جوهر افشانی
۳۵	۱-۳-۷-۱- چاپ جوهر افشانی آنتن RFID با نانو ذرات مس سنتز شده به روش پوشش فلزی ...
	۲-۳-۷-۱- تولید مستقیم خطوط مسی به روش جوهر افشانی و Electroless plated روی زیر لایه های پلاستیکی
	۳-۳-۷-۱- چاپ مستقیم میکرونوارهای رسانای مسی توسط تکنیک چاپ جوهر افشان
۴۱	الکتروودینامیکی چند نازلی
۴۷	۴-۳-۷-۱- چاپ جوهر افشانی المان های الکتریکی با استفاده از نانو جوهر مس
۵۰	۵-۳-۷-۱- چاپ جوهر افشانی خطوط مس رسانا
۵۲	فصل دوم: تجربیات و آزمایشات
۵۲	۱-۲- مواد و تجهیزات مورد استفاده
۵۲	۱-۱-۲- مواد اولیه
۵۳	۲-۱-۲- وسایل و تجهیزات مورد استفاده
۵۹	۲-۲- روش کلی انجام آزمون ها
۵۹	۱-۲-۲- استحصال فلز مس به روش مخلوط سازی جوهرها
	۱-۱-۲-۲- استفاده از سولفات مس به عنوان نمک فلزی و آسکوربیک اسید به عنوان احیا کننده
۵۹	
	۲-۱-۲-۲- استفاده از سولفات مس به عنوان نمک فلزی و سدیم بروهیدرید به عنوان احیا کننده
۶۱	

- ۲-۲-۱-۳- استفاده از سولفات مس به عنوان نمک فلزی و آسکوربیک اسید و سدیم برو هیدرید به
 ۶۵ طور همزمان به عنوان احیا کننده.....
- ۲-۲-۲-۲- بهینه سازی فرمولاسیون جوهرهای واکنش دهنده برای تولید نانو ذرات مس بر سطح
 ۶۶ کاغذ و فیلم شفاف.....
- ۲-۲-۲-۱- استفاده از ترکیبات و غلظت های مختلف سولفات مس و آسکوربیک اسید روی کاغذ و
 ۶۶ فیلم
 ۲-۲-۲-۲- استفاده از ترکیبات و غلظت های مختلف سولفات مس و سدیم برو هیدرید روی کاغذ
 و فیلم ۷۱
- ۲-۲-۲-۳- استفاده از ترکیبات و غلظت های مختلف سولفات مس و آسکوربیک اسید و سدیم برو
 هیدرید به طور همزمان (به صورت جداگانه) روی کاغذ و فیلم ۷۴
- ۲-۲-۲-۴- استفاده از ترکیبات و غلظت های مختلف سولفات مس و آسکوربیک اسید و سدیم برو
 هیدرید به طور همزمان (به صورت مخلوط) روی کاغذ ۸۰
- ۲-۲-۳- بررسی قابلیت روش های غیر از چاپ جوهر افشان جهت نشان دادن مس رسانا روی زیر لایه
 ۸۷
- ۲-۲-۳-۱- روش اسپری کردن (spraying) ۸۷
- ۲-۲-۳-۲- روش چاپ شابلونی..... ۸۹
- ۲-۲-۳-۳- روش stamping ۹۰
- ۲-۲-۳-۴- روش الکترولس (electroless) ۹۱
- ۲-۲-۳-۵- روش pen-written ۹۳
- ۲-۲-۳-۵-۱- روش pen-written به همراه غوطه وری در محلول احیاء کننده..... ۹۳
- ۲-۲-۳-۵-۲- بررسی تأثیر حرارت و شستشو روی خطوط رسانای مس تهیه شده به روش pen-
 written ۱۰۵
- ۲-۲-۴- بررسی قابلیت واکنش جوهر ها برای ایجاد نانو ذرات مس در حالت پاشش بر سطح بستر
 توسط چاپگر جوهر افشان..... ۱۰۸
- ۲-۲-۴-۱- به کارگیری جوهر های مناسب در چاپ جوهر افشان ۱۰۸

۱۰۹.....	۲-۴-۲-۲-آماده سازی کارتریج.....
۱۱۰.....	۳-۴-۲-۲- چاپ جوهر افشانی محلول احیاء کننده.....
۱۱۲.....	۴-۴-۲-۲- چاپ جوهر افشانی سولفات مس.....
	۵-۴-۲-۲- چاپ جوهر افشانی محلول احیاء کننده بر روی سولفات مس چاپ جوهر افشانی شده
۱۲۳.....	
۱۲۶.....	فصل سوم.....
۱۲۶.....	۱-۳- نتایج.....
۱۳۳.....	۲-۳- پیشنهادات.....
۱۳۴.....	منابع و مآخذ.....

فصل اول

.....۲	شکل ۱-۱ - سیستم جوهر افشان مداوم
.....۳	شکل ۱-۲ - سازوکار جوهر افشان گرمایی
.....۴	شکل ۱-۳ - سازوکار جوهر افشان پیزویی
.....۵	شکل ۱-۴ - شماتیکی از چاپ الکترو هیدرودینامیک زمینه نزدیک
.....۶	شکل ۱-۵ - ساختار نازل اریب: (a) نمای روبرو، (b) نمای جانبی
.....۶	شکل ۱-۶ - ساختار میکروسکپی: نازل مستطیلی (a) نازل با روزنه اریب (b) عکس میکروسکپی از طرح نقره چاپ شده با استفاده از: نازل مستطیلی (c) نازل روزنه اریب (d)
.....۷	شکل ۱-۷ - عکس SEM: (e) اندازه ذرات برای ۱۰ دقیقه آنیلینگ (f) افزایش اندازه ذرات نقره بعد از ۲۰ دقیقه آنیلینگ در c ۱۵۰0 با دستگاه RTA..
.....۷	شکل ۱-۸ - تغییر مقاومت بر حسب دمای آنیلینگ
.....۹	شکل ۱-۹ - آماده سازی آزمایشی برای چاپ هیبریدی که دو مولد تابع، دو منبع تغذیه ولتاژ بالا و یک همزمان کننده به کار برده (a) جزئیات هد جوهر افشان هیبریدی (b) ترکیب LIPCA
.....۱۰	شکل ۱-۱۰ - جت کردن EHD با کاربرد یک پتانسیل الکتریکی AC (a) گسترش هلالی ها به سبب عملگر پیزوئی (b) شکل گیری قطرات با استفاده از تکنیک جت هیبریدی (c)
.....۱۰	شکل ۱-۱۱ - طرح نقاط چاپ شده توسط سیستم هیبریدی و سیستم چاپ EHD (بدون استفاده LIPCA) (a) توزیع سایز قطرات برای سیستم هیبریدی و EHD (b)
.....۱۴	شکل ۱-۱۲ - پروسه آماده سازی محلول جوهر افشانی ZnO

شکل ۱-۱۳- سنسور منعطف از یک لایه ساندویچ شده ZnO بین یک ورقه منعطف Al و یک

الکتروود وب شکل ۱۴

شکل ۱-۱۴- روند کلی چاپ سنسور

..... ۱۵

شکل ۱-۱۵- تغییر زاویه تماس بعد از اصلاح پلاسمایی

..... ۱۵

شکل ۱-۱۶- سنسور منعطف تولید شده روی ورقه آلومینیوم

..... ۱۶

شکل ۱-۱۷- مراحل اندازه گیری سیگنال

..... ۱۶

شکل ۱-۱۸- واکنش سنسور منعطف تولیدی به حرارت دست و حرارت تفنگ لحیم کاری ... ۱۷

شکل ۱-۱۹- ساختار سوپرکازن کاغذی با روکش هایی از نانولوله های کربن روی هر دو طرف

کاغذ عمل شده ۱۸

شکل ۱-۲۰- عکسی از سوپرکازن چاپ شده با روش کوتینگ با غلتک

..... ۱۸

شکل ۱-۲۱- عکسی از سوپرکازن چاپ شده با روش چاپ جوهرافشان

..... ۱۹

شکل ۱-۲۲- عملکرد شارژ/دشارژ سوپرکازن کاغذی چاپ شده (با زیرلایه و جداساز روی کاغذ) ۱۹

شکل ۱-۲۳- حلقه های رسانای دایره ای چاپ شده روی پارچه پنبه ای و کاغذ..... ۲۱

شکل ۱-۲۴- سیم کشی برد برای مونتاژ اجزا الکترونیکی مختلف..... ۲۱

شکل ۱-۲۵- الکتروود های چاپی با عرض های مختلف..... ۲۲

شکل ۱-۲۶- (a) الکتروودهای چاپی متصل شده به سل خورشیدی فیلم نازک و باطری به وسیله

چسب (b) بهبود هسته BT روی کامپوزیت کربن/اپکسی به همراه اتصال الکترونیک دیود با استفاده

از چسب نقره.....

..... ۲۲

شکل ۱-۲۷- سطح مقطع چند لایه قدرت

..... ۲۳

شکل ۱-۲۸- شماتیک یک میکرو لتر تولیدی به روش قطره بر حسب تقاضا

..... ۲۴

شکل ۱-۲۹- ایجاد ساختار لوله ای (A) و صفحه ای (B) به وسیله چاپ جوهر افشان

..... ۲۵

شکل ۱-۳۰- مشاهدات میکروسکوپی از چاپ های مختلف کامپوزیت CNT / پلیمر رسانا و اندازه

گیری ضخامت: (a) MWCNT/PEDOT-PSS 50:50 (b) SWCNT/PEDOT-PSS 50:50 ۲۸

شکل ۱- ۳۱- تغییرات مقاومت لایه ای: (a) افزایش تعداد لایه های رسانای به کار برده شده برای

نرخ جوهر ۲۵:۷۵ (b) حجم CNT در PEDOT:PSS / 25:75 CNTS / PEDOT:PSS / PSS چاپی۳۱

شکل ۱- ۳۲- تصویری از روشن شدن LED لیزری توسط یک باتری ۹ ولت و صفحات رسانا ۳۰

شکل ۱- ۳۳- المان مقاومت ایجاد شده روی زیر لایه های مختلف (به ترتیب از بالا کاغذ، پارچه و

پلاستیک)۳۰

شکل ۱- ۳۴- خازن پشت و روی چاپ شده بر زیر لایه ای از جنس پارچه پلی استر۳۱

شکل ۱- ۳۵- چاپ خازن یک رو (الف و ب) و خازن دو رو (ج) بر روی پارچه۳۲

شکل ۱- ۳۶- مدار RLC چاپی بر روی پارچه در دو اندازه متفاوت۳۳

شکل ۱- ۳۷- احیاء یون های نقره توسط مس و شکل گیری غلاف فلز نقره دور فلز مغزی مس ..۳۵

شکل ۱- ۳۸- (a) عکس SEM (b) عکس TEM از نانو ذرات غلاف- مغزی نقره- مس۳۶

شکل ۱- ۳۹- آنتن RFID منعطف چاپ جوهر افشانی شده با استفاده از جوهر غلاف- مغزی نقره-

مس روی کاغذ عکاسی۳۶

شکل ۱- ۴۰- روند چگونگی ایجاد طرحهای رسانای مسی با استفاده از چاپ جوهر افشان چاپ

تماسی (pen-written) توسط electroless plated۳۸

شکل ۱- ۴۱- ضخامت فیلم های نازک مسی آبکاری شده در برابر زمان غوطه وری در حمام

آبکاری مس۳۹

شکل ۱- ۴۲- عکس SEM از فیلم نازک مسی بعد از ۶۰ ثانیه نشانیدن۳۹

شکل ۱- ۴۳- عکس SEM از سطح مقطع عرضی بعد از ۱۲۰ ثانیه نشانیدن۴۰

شکل ۱- ۴۴- تغییر مقاومت نوارهای مس آبکاری شده در برابر خمش۴۰

شکل ۱- ۴۵- آنتن مسی آبکاری شده از طرح های چاپ جوهر افشانی شده: (a) روی ورقه PET

(b) روی ورقه PI۴۱

شکل ۱- ۴۶- نمایی از تکنیک چاپ جوهر افشانی EHD۴۲

شکل ۱- ۴۷- مایع هلالی بعد از کاربرد پتانسیل الکتریکی۴۲

شکل ۱-۴۸- فرآیند تولید هد چاپ جوهر افشان EHD چند نازلی: (a) مراحل تهیه غالب (b) نگهدارنده PDMS دارای کانال های L شکل برای تأمین جوهر (c) هد چاپ جوهر افشان EHD چند نازلی تکمیل شده..... ۴۳

شکل ۱-۴۹- (a) نمایی از آماده سازی آزمایشگاهی (b) عکسی از چاپ جوهر افشان سوار شده برای انجام آزمایشات..... ۴۴

شکل ۱-۵۰- شرایط بهینه برای نانو جوهر مس برای شکل گیری جت مخروطی با ثبات..... ۴۵

شکل ۱-۵۱- عکسهایی از خطوط چاپ شده مس توسط چاپ جوهر افشان EHD چند نازلی: (a) تقارن محوری جت های مخروطی شکل گرفته در نوک نازلها هد چاپ جوهر افشان EHD چند نازلی (b) عکسهای میکروسکوپ نوری از نوار های مسی چاپ شده بصورت همزمان روی زیر لایه شیشه ای با استفاده از تکنیک چاپ جوهر افشان EHD چند نازلی..... ۴۶

شکل ۱-۵۲- الکتروود چاپ جوهر افشانی شده..... ۴۷

شکل ۱-۵۳- شماتیکی از پروسه سینترینگ ذرات..... ۴۷

شکل ۱-۵۴- عکس های میکروسکوپ نوری از الکتروود های تماماً سینتره شده: (a) ۵ بار چاپ (b) ۱۰ بار چاپ (c) ۲۰ بار چاپ..... ۴۸

شکل ۱-۵۵- نمودار نانو جوهر مس چاپی بر حسب زمان سینترینگ..... ۴۸

شکل ۱-۵۶- عکس SEM از الکتروود های چاپ جوهر افشانی: (a) قبل از سینترینگ (b) بعد از سینترینگ..... ۴۸

شکل ۱-۵۷- عکس SEM از الکتروود های چاپی: (a) ۵ بار چاپ (b) ۱۰ بار چاپ (c) ۲۰ بار چاپ..... ۴۹

شکل ۱-۵۸- خط چاپی در 500Hz با سرعت میز 4. 4mms-1، 350 سیکل (a) و خط چاپی در 1000Hz با سرعت میز 2. 2mms-1، 90 سیکل (b)..... ۵۰

فصل دوم

شکل ۲-۱- تصویری از تجهیزات مورد نیاز برای چاپ محلول سولفات مس..... ۵۳

- شکل ۲-۲- تصویر از تجهیزات مورد نیاز برای چاپ محلول احیاء کننده..... ۵۳
- شکل ۲-۳- چاپگر جوهر افشان Apollo 1200 برای چاپ محلول سولفات مس..... ۵۴
- شکل ۲-۴- چاپگر جوهر افشان HP Deskjet 1280 برای چاپ محلول احیاء کننده..... ۵۴
- شکل ۲-۵- تصویر کاتریج hp 45 مشکی مورد استفاده برای چاپ احیاء کننده..... ۵۵
- شکل ۲-۶- تصویر از کاتریج رنگی hp25 باز شده و مورد استفاده برای چاپ سولفات مس..... ۵۵
- شکل ۲-۷- تصویری از حمام اولتراسونیک برای شستشوی کاتریج ها..... ۵۶
- شکل ۲-۸- نمایی از دستگاه چهار الکتروود تماسی (Four Point Probe)..... ۵۶
- شکل ۲-۹- نمایی از مدار ایجاد شده برای انجام تست رسانایی طرح ها..... ۵۷
- شکل ۲-۱۰- نمایی از چگونگی مدار ایجاد شده برای اندازه گیری میزان رسانای طرح ها
- ۵۷
- شکل ۲-۱۱- رسوب مس تشکیل شده با استفاده از آسکوربیک اسید و سولفات مس..... ۶۰
- شکل ۲-۱۲- رسوب مس تشکیل شده بدون کاربرد سیترات سدیم و سود..... ۶۰
- شکل ۲-۱۳- اکسید شدن ترکیب سولفات مس و سدیم برو هیدرید..... ۶۲
- شکل ۲-۱۴- رسوب مس دارای هدایت الکتریکی حاصل از ترکیب سولفات مس با آسکوربیک اسید و سدیم برو هیدرید..... ۶۶
- شکل ۲-۱۵- قطره انداخته شده روی کاغذ با ترکیب AC (سمت چپ) و CA (سمت راست) و تشکیل رسوب رنگ مس..... ۶۸
- شکل ۲-۱۶- قطره انداخته شده روی فلم شفاف با ترکیب AC (سمت چپ) و CA (سمت راست) و تشکیل اکسید..... ۶۸
- شکل ۲-۱۷- واکنش سولفات مس و سدیم بروهیدرید روی کاغذ و تشکیل اکسید..... ۷۱
- شکل ۲-۱۸- واکنش سولفات مس و سدیم بروهیدرید روی فیلم شفاف و تشکیل اکسید..... ۷۲
- شکل ۲-۱۹- قطره تشکیل شده از حالت C(A+N) (سمت چپ) و C(A+N) (سمت راست) برای ۰.۱۳ مولار سدیم بروهیدرید..... ۸۱

- شکل ۲-۲۰- قطره تشکیل شده از حالت $C(A+N)$ (سمت چپ) و $C(A+N)$ (سمت راست) برای ۰.۰۵ مولار سدیم بروهیدرید..... ۸۱
- شکل ۲-۲۱- محلول اسپری و خشک شده احیاء کننده (شامل ۰.۵ مولار سدیم بروهیدرید و آسکوربیک اسید ۱.۲۵ مولار در سمت چپ و ۱ مولار سدیم بروهیدرید و آسکوربیک اسید ۱.۲۵ مولار در سمت راست) و محلول ۱.۲۵ مولار سولفات مس اسپری شده روی آن..... ۸۸
- شکل ۲-۲۲- محلول اسپری شده و خشک شده ۱.۲۵ مولار سولفات مس محلول احیاء کننده اسپری شده (شامل ۰.۵ مولار سدیم بروهیدرید و آسکوربیک اسید ۱.۲۵ مولار در سمت چپ و ۱ مولار سدیم بروهیدرید و آسکوربیک اسید ۱.۲۵ مولار) روی آن..... ۸۸
- شکل ۲-۲۳- ترکیب $C-(A+N)$ (سمت چپ) و $(A+N)-C$ (سمت راست) روی کاغذ به روش چاپ شابلونی
- ۸۹.....
- شکل ۲-۲۴- ترکیب $(A+N)C$ (سمت راست) و $C(A+N)$ (سمت چپ) روی کاغذ به روش چاپ شابلونی..... ۸۹
- شکل ۲-۲۵- ترکیب $C-(A+N)$ (سمت چپ) و $(A+N)-C$ (سمت راست) روی پارچه به روش چاپ شابلونی..... ۸۹
- شکل ۲-۲۶- ترکیب $(A+N)C$ (سمت راست) و $C(A+N)$ (سمت چپ) روی پارچه به روش چاپ شابلونی..... ۸۹
- شکل ۲-۲۷- نمونه STAMP شده برای حالت $(A+N)C$ ۹۰
- شکل ۲-۲۸- نمونه STAMP شده برای حالت $C-(A+N)$ ۹۰
- شکل ۲-۲۹- نمونه STAMP شده برای حالت $3C-3(A+N)$ ۹۱
- شکل ۲-۳۰- نمونه STAMP شده برای حالت $(A+N)-C$ ۹۱
- شکل ۲-۳۱- استحصال مس به روش الکترولس روی پارچه..... ۹۲
- شکل ۲-۳۲- استحصال مس به روش الکترولس روی کاغذ..... ۹۲
- شکل ۲-۳۳- عکس SEM از پارچه رسانای رسوب داده شده به روش الکترولس..... ۹۲

شکل ۲-۳۴- عکس SEM از پارچه نارسانای رسوب داده شده به روش الکتروولس ۹۲

شکل ۲-۳۵- ترکیب $(A+N)C$ (سمت راست) و $C(A+N)$ (سمت چپ) به روش Pen Written ۹۳

شکل ۲-۳۶- ترکیب $C-(A+N)$ (سمت راست) و $(A+N)-C$ (سمت چپ) به روش Pen Written ۹۳

شکل ۲-۳۷- نمونه ای از طرح تهیه شده به روش Pen-Written و غوطه وری در حالت $(A+N)-C$ روی کاغذ ۹۴

شکل ۲-۳۸- نمونه ای از طرح تهیه شده به روش Pen-Written و غوطه وری در حالت $C-(A+N)$ برای ۰.۵ مولار سدیم بروهیدرید روی کاغذ ۹۴

شکل ۲-۳۹- نمونه ای از طرح تهیه شده به روش Pen-Written و غوطه وری در حالت $C-(A+N)$ برای ۱ مولار سدیم بروهیدرید روی کاغذ ۹۴

شکل ۲-۴۰- نمونه از طرح مسی تولیدی از سولفات مس ۱.۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۱.۲۵ مولار و ۱.۲۵ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده روی کاغذ ۹۶

شکل ۲-۴۱- نمونه از طرح مسی تولیدی سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و غوطه ور شده در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۲ مولار سدیم بروهیدرید روی کاغذ ۹۹

شکل ۲-۴۲- عکس SEM از سطح مقطع طرح مسی تولیدی به روش Pen-Written و غوطه وری از ۲ مولار سولفات مس و آسکوربیک اسید و ۳ مولار سدیم بروهیدرید روی کاغذ ۱۰۱

شکل ۲-۴۳- نمونه از طرح مسی تولیدی از سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده روی کاغذ ۱۰۲

شکل ۲-۴۴- نمونه ای از طرح مسی تولیدی از سولفات مس ۳ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۳ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده روی کاغذ ۱۰۳

شکل ۲-۴۵- عکس SEM از طرح مسی ایجاد شده روی کاغذ از سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده بدون پرس حرارتی و شستشو ۱۰۷

- شکل ۲-۴۶- عکس SEM از طرح مسی ایجاد شده روی کاغذ از سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده بعد از پرس حرارتی و شستشو..... ۱۰۸
- شکل ۲-۴۷- آماده سازی کارت ریج جهت چاپ محلول احیاء کننده..... ۱۰۹
- شکل ۲-۴۸- چاپ محلول احیاء کننده حاوی ۱.۲۵ M آسکوربیک اسید و ۱ M NaBH₄ روی سولفات مس..... ۱۱۰
- شکل ۲-۴۹- چاپ احیاء کننده روی کاغذ مرطوب آغشته به سولفات مس..... ۱۱۰
- شکل ۲-۵۰- تصویری ابتدا چاپ محلول احیاء کننده و سپس کشیدن محلول سولفات مس روی آن..... ۱۱۱
- شکل ۲-۵۱- تصویر چاپ محلول سدیم بروهیدرید ۱.۲۵ مولار روی سولفات مس..... ۱۱۱
- شکل ۲-۵۲- تصویر ابتدا چاپ محلول ۱.۲۵ مولار سدیم بروهیدرید و سپس کشیدن محلول سولفات مس روی آن..... ۱۱۲
- شکل ۲-۵۳- نمونه ای از چاپ محلول سدیم بروهیدرید ۰.۱۳ مولار روی سولفات مس..... ۱۱۲
- شکل ۲-۵۴- غوطه وری خطوط سولفات مس چاپی درون محلول احیاء کننده حاوی ۳ مولار سدیم بروهیدرید و ۲ مولار آسکوربیک اسید..... ۱۱۳
- شکل ۲-۵۵- غوطه وری خطوط سولفات مس چاپی درون محلول احیاء کننده حاوی ۲ مولار سدیم بروهیدرید و ۲ مولار آسکوربیک اسید..... ۱۱۳
- شکل ۲-۵۶- غوطه وری خطوط سولفات مس چاپی درون محلول احیاء کننده حاوی ۰.۵ مولار سدیم بروهیدرید و ۲ مولار آسکوربیک اسید..... ۱۱۳
- شکل ۲-۵۷- طرح مسی تولیدی از یک سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ شده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده..... ۱۱۴
- شکل ۲-۵۸- طرح مسی تولیدی از سه سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ شده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده..... ۱۱۵

شکل ۲- ۵۹- طرح مسی تولیدی از چهار سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ شده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده..... ۱۱۶

شکل ۲- ۶۰- طرح مسی تولیدی از پنج سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ شده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده..... ۱۱۶

شکل ۲- ۶۱- طرح مسی تولیدی از ۱۰ سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ شده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده..... ۱۱۸

شکل ۲- ۶۲- عکس SEM از خطوط مسی ایجاد شده از ۱۰ سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده، بدون پرس حرارتی و شستشو..... ۱۲۰

شکل ۲- ۶۳- عکس SEM از خطوط مسی ایجاد شده از ۱۰ سیکل سولفات مس ۲ مولار چاپ و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده، بعد از پرس حرارتی و شستشو..... ۱۲۱

شکل ۲- ۶۴- عکس SEM از سطح مقطع نمونه مس ایجاد شده از ۱۰ سیکل سولفات مس چاپ و خشک شده و در احیاء کننده (مخلوط آسکوربیک اسید ۲ مولار و سدیم بروهیدرید ۱ مولار) غوطه ور شده..... ۱۲۱

شکل ۲- ۶۵- خطوط چاپی با ۴ سیکل چاپ سولفات مس و احیاء کننده (مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید)..... ۱۲۳

شکل ۲- ۶۶- خطوط چاپی با ۴ سیکل چاپ سولفات مس و ۸ سیکل احیاء کننده (مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید)..... ۱۲۳

شکل ۲- ۶۷- خطوط چاپی با ۱۰ سیکل چاپ سولفات مس و ۵ سیکل احیاء کننده (مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید)..... ۱۲۴

شکل ۲- ۶۸- خطوط مس چاپی با ۵ سیکل چاپ سولفات مس و ۱۱ سیکل احیاء کننده (مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید)..... ۱۲۴

شکل ۲-۶۹- طرح مس چاپی با ۱۵ سیکل چاپ سولفات مس و ۱۵ سیکل احیاء کننده (مخلوط
آسکوربیک اسید و سدیم برو هیدرید)..... ۱۲۵

شکل ۲-۷۰- عکس SEM از سطح کاغذ شامل ۱۵ سیکل چاپ سولفات مس و ۱۵ سیکل چاپ
احیاء کننده..... ۱۲۵

شکل ۲-۷۱- عکس SEM از سطح مقطع کاغذ شامل ۱۵ سیکل چاپ سولفات مس و ۱۵ سیکل
چاپ احیاء کننده..... ۱۲۵

فهرست جداول

صفحه	عنوان
فصل اول	
.....۱۵	جدول ۱-۱- پروسه ساخت سنسور
.....۳۱	جدول ۲-۱- داده های حاصله برای المان مقاومت چاپ شده بر روی بسترهای مختلف
.....۳۲	جدول ۳-۱- اعداد ظرفیت خازنهای چاپی بر روی پارچه
.....۳۳	جدول ۴-۱- مقادیر اندازهگیری شده توسط دستگاه السیار متر برای مدار RLC چاپی روی پارچه
.....۳۴	جدول ۵-۱- روش های منتشر شده برای سنتزنانو ذرات مس توسط احیا شیمیایی در محلول
فصل دوم	
.....۶۱	جدول ۱-۲- ترکیب $CuSO_4$ با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید درون بشر
.....۶۲	جدول ۲-۲- ترکیب $1/25$ مولار $CuSO_4$ با غلظت های مختلف $NaBH_4$ درون بشر (با استفاده از $1/25$ مولار سیترات سدیم و $0/5$ مولار $NaOH$)
.....۶۳	جدول ۳-۲- ترکیب $0/01$ مولار $CuSO_4$ با غلظت های مختلف $NaBH_4$ درون بشر (با استفاده از $1/25$ مولار سیترات سدیم و $0/5$ مولار $NaOH$)
.....۶۴	جدول ۴-۲- ترکیب $1/25$ مولار $CuSO_4$ با غلظت های مختلف $NaBH_4$ درون بشر (بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد $0/5$ مولار $NaOH$)
.....۶۵	جدول ۵-۲- ترکیب $1/25$ مولار $CuSO_4$ با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید و $NaBH_4$ درون بشر (با استفاده از $1/25$ مولار سیترات سدیم و $0/5$ مولار $NaOH$)
.....۶۶	جدول ۶-۲- ترکیب $1/25$ مولار $CuSO_4$ با $1/25$ مولار آسکوربیک اسید و غلظت های مختلف $NaBH_4$ درون بشر (بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد $0/5$ مولار $NaOH$)
.....۶۸	جدول ۷-۲- ترکیب $1/25$ مولار $CuSO_4$ با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید به صورت قطره روی کاغذ و فیلم

- جدول ۸-۲- ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید به صورت قطره کشیده شده در حالت متناوب بر روی کاغذ و فیلم. ۷۰.....
- جدول ۹-۲- ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف NaBH_4 بصورت قطره روی کاغذ و فیلم (با استفاده از ۱/۲۵ مولار سیترات سدیم و ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۱.....
- جدول ۱۰-۲- ترکیب ۰/۰۱ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف NaBH_4 بصورت قطره روی کاغذ و فیلم (با استفاده از ۱/۲۵ مولار سیترات سدیم و ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۲.....
- جدول ۱۱-۲- ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف NaBH_4 بصورت قطره روی کاغذ و فیلم (بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۳.....
- جدول ۱۲-۲- ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید به صورت قطره متوالی بر روی کاغذ و فیلم (با استفاده از ۱/۲۵ مولار سیترات سدیم با استفاده از ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۴.....
- جدول ۱۳-۲- ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با غلظت های مختلف آسکوربیک اسید و NaBH_4 (به صورت ۳ قطره متوالی بر روی کاغذ و فیلم، بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۵.....
- جدول ۱۴-۲- تأثیر دمای آون و محیط روی ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با مخلوط آسکوربیک اسید و NaBH_4 برای قطره متوالی (بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۶.....
- جدول ۱۵-۲- تأثیر دمای آون و محیط روی ترکیب ۱/۲۵ مولار CuSO_4 با مخلوط آسکوربیک اسید و NaBH_4 برای قطره متناوب (بدون استفاده از سیترات سدیم و با کاربرد ۰/۵ مولار NaOH)..... ۷۷.....
- جدول ۱۶-۲- تأثیر افزایش قطرات سولفات مس و آسکوربیک اسید روی قطره متوالی و متناوب انداخته شده..... ۷۸.....
- جدول ۱۷-۲- تأثیر افزایش قطرات سولفات مس و آسکوربیک اسید روی قطره متوالی و متناوب کشیده شده..... ۷۸.....

- جدول ۲-۱۸- تأثیر افزایش غلظت سولفات مس و آسکوربیک اسید به ۲ مولار و کاهش تعداد قطره
 ۷۹.....
- جدول ۲-۱۹- تأثیر کاربرد قطره سدیم بروهیدرید به عنوان قطره اول و دوم و کاهش قطرات هر
 محلول به یک قطره.....
 ۸۰.....
- جدول ۲-۲۰- ترکیب سولفات مس با مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید بصورت قطره
 انداخته شده روی کاغذ.....
 ۸۱.....
- جدول ۲-۲۱- ترکیب سولفات مس با مخلوط آسکوربیک اسید و سدیم بروهیدرید بصورت قطره
 کشیده شده روی کاغذ.....
 ۸۲.....
- جدول ۲-۲۲- تأثیر افزایش غلظت سدیم بروهیدرید در مخلوط با آسکوربیک اسید روی قطرات
 انداخته شده متوالی و متناوب روی کاغذ.....
 ۸۳.....
- جدول ۲-۲۳- تأثیر افزایش غلظت سدیم بروهیدرید در مخلوط با آسکوربیک اسید روی قطرات
 کشیده شده متوالی روی کاغذ.....
 ۸۳.....
- جدول ۲-۲۴- حالت متناوب قطره های کشیده شده روی کاغذ ۱/۲۵ مولار سولفات مس و
 غلظت های ۰/۱۳، ۰/۵، ۰/۱۰ و ۰/۲۵ مولار NaBH_4 در مخلوط با ۱/۲۵ مولار آسکوربیک اسید.....
 ۸۴.....
- جدول ۲-۲۵- حالت متناوب قطره های کشیده شده روی کاغذ ۱/۲۵ مولار سولفات مس و
 غلظت های ۰/۵ و ۱ مولار NaBH_4 در مخلوط با ۱/۲۵ مولار آسکوربیک اسید.....
 ۸۵.....
- جدول ۲-۲۶- قطرات کشیده شده متناوب و تماماً در محیط خشک شده برای حالت C-(A+N).
 ۸۵.....
- جدول ۲-۲۷- قطرات کشیده شده متناوب و تماماً در محیط خشک شده برای حالت C-(A+N).
 ۸۶.....
- جدول ۲-۲۸- قطرات کشیده شده متناوب که سولفات مس در آن و مخلوط آسکوربیک اسید
 سدیم بروهیدرید در محیط خشک شده برای حالت C-(A+N).....
 ۸۶.....
- جدول ۲-۲۹- قطرات کشیده شده متناوب که سولفات مس در آن و مخلوط آسکوربیک اسید
 سدیم بروهیدرید در محیط خشک شده برای حالت C-(A+N).....
 ۸۷.....

- جدول ۲-۳۰- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۱/۲۵ مولار و ۰/۵ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۹۵
- جدول ۲-۳۱- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۱/۲۵ مولار و ۱ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۹۶
- جدول ۲-۳۲- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۱/۲۵ مولار و ۱/۲۵ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۹۷
- جدول ۲-۳۳- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۱/۲۵ مولار و ۲ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۹۸
- جدول ۲-۳۴- نتایج حاصل از سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و غوطه ور شده در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۲ مولار سدیم بروهیدرید ۹۸
- جدول ۲-۳۵- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و غوطه ور شده در
 مخلوط آسکوربیک اسید ۱/۲۵ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید ۹۹
- جدول ۲-۳۶- نتایج حاصل از سولفات مس ۱/۲۵ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۲ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۱۰۰
- جدول ۲-۳۷- نتایج حاصل از سولفات مس ۲ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک
 اسید ۲ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۱۰۲
- جدول ۲-۳۸- نتایج حاصل از سولفات مس ۳ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط
 آسکوربیک اسید ۳ مولار و ۳ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۱۰۳
- جدول ۲-۳۹- نتایج حاصل از سولفات مس ۳ مولار کشیده و خشک شده و در مخلوط آسکوربیک
 اسید ۳ مولار و ۰/۵ مولار سدیم بروهیدرید غوطه ور شده ۱۰۴
- جدول ۲-۴۰- مقاومت در نقاط مختلف خط رسانای مسی ایجاد شده به روش Pen-Written و
 غوطه وری در احیاء کننده ۱۰۵
- جدول ۲-۴۱- مقاومت در یک نقطه از خط رسانای مسی ایجاد شده به روش Pen-Written و غوطه
 وری در احیاء کننده ۱۰۵