تاثیر pH بر میکروساختار و رفتار خوردگی پوشش کامپوزیتی $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$

ارغوان نوروزیان کرمانی[۱]، مرتضی زند رحیمی[۱*]، هادی ابراهیمی‌فر[۲]

[۱] بخش مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

[۲] بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

* M.Zandrahimi@uk.ac.ir

دکتر مرتضی زندرحیمی، نویسنده مسئول مقاله، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان،

چکیده: با استفاده از ذرات سخت سرامیکی در ابعاد نانو در زمینه‌ی پوشش‌های کبالت- فسفر خواص خوردگی را می‌توان بهبود بخشید. در این تحقیق پوشش کامپوزیتی $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ با استفاده از تکنیک رسوب‌دهی الکتریکی به روش جریان مستقیم بر روی زیر لایه AISI 430 پوشش داده شد. کیفیت پوشش و مقاومت به خوردگی آن با pH محلول آبکاری (۲، ۳، ۴ و ۵) در حمام مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور بررسی مورفولوژی پوشش و آنالیز پوشش تشکیل شده به ترتیب از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکرو آنالیز EDS استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین نشست ذرات سرامیکی آلومینا در pH برابر با ۴ است و پوشش تشکیل شده در pH برابر با ۴ کاملا یکنواخت و پیوسته است. به منظور بررسی مقاومت به خوردگی، آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محلول آبی ۳/۵ درصدوزنی NaCl بر روی نمونه‌های پوشش دار و بدون پوشش اعمال گردید. نتایج آزمون های پلاریزاسیون تافل و الکتروشیمیایی نیز با تصاویر میکروسکوپی مطابقت داشت و نشان دادند که پوشش تشکیل شده در حمام با pH برابر با ۴ بیشترین مقاومت به خوردگی را دارد.

کلمات کلیدی: پوشش کامپوزیتی، نانو آلومینا، pH، خوردگی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک.

۱- مقدمه

از فولاد در تمام صنایع به صورت گوناگون استفاده می‌شود و طول عمر واحدهای صنعتی تا حد زیادی به خواص این فولادها بستگی دارد. پوشش دادن از روش‌های تکمیل سطح مواد است که به منظورهای مختلفی از جمله مسائل تزئینی، بهداشتی و مکانیکی اعمال می‌شود و با استفاده از آن می‌توان خواص خوردگی، سایشی، اصطکاکی فلزات را بهبود بخشید و هزینه تولید را با توجه به عمر نهایی کاهش داد. برای تولید پوشش‌های کامپوزیتی از روش آبکاری الکتریکی استفاده می‌شود. آبکاری الکتریکی فرآیندی است که در آن با استفاده از جریان برق لایه نازکی از یک فلز روی سطح فلزی دیگر رسوب داده می‌شود. جریان برق و عوامل احیا کننده که در این فرآیند مصرف می‌شوند ارزان هستند. این امر توجیه اقتصادی خوبی برای توسعه این روش است. آبکاری یکی از بیشترین تکنیک‌های اقتصادی عالی و عملی برای تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی است. آبکاری الکتریکی یک راه نسبتا آسان و ارزان از رسوب فیلم‌های نازک و ضخیم روی سطوح رسانا بدون آسیب زیرلایه‌ها است. یک سلول آبکاری شامل آند (ورق نیکل)، کاتد (زیر لایه فولادی)، محلول‌های فلزی آبی (محلول آبکاری نیکل مانند سولفات نیکل که شامل یون‌های Ni^{2+} و So_4^{2-} است) و یک منبع تغذیه می‌باشد [۱و ۲].

با توجه به اینکه در پوشش‌های کامپوزیتی خواص فاز زمینه و ذرات ثانویه با هم ترکیب می‌شوند، خواص ویژه از قبیل استحکام خوب در دمای بالا، هدایت حرارتی بالا و ضریب انبساط حرارتی پایین حاصل می‌شوند. اگرچه ممکن است ذرات منجر به ترک یا خلل و فرج و یا تنش‌های درونی به ویژه در فصل مشترک و در نتیجه منجر به خوردگی تنشی و موضعی و تردی پوشش شوند [۳]. آبکاری الکتریکی ذرات سخت ثانویه در زمینه فلزی دارای مزایایی از قبیل دمای کاری پایین،

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

هزینه پایین و ایجاد پوشش‌هایی با خواص مختلف با تغییر شرایط الکتروشیمیایی می‌باشد. ذرات سخت ثانویه باعث تقویت در خواص مکانیکی، تریبولوژیکی، ضد خوردگی و ضد اکسیداسیون پوشش می‌شوند [۴و۵]. اخیرا تلاش زیادی در ساخت پوشش‌های کامپوزیتی زمینه فلزی با استفاده از ذرات نانو و میکرو به لحاظ تکنولوژیکی به منظور افزایش خواص این پوشش‌ها شده است، با این حال آگلومره شدن ذرات بسیار ریز به دلیل سطح انرژی بالای ذرات نمی‌تواند به طور کامل برطرف شود [۶و۷].

حساسیت ریزساختار و خواص نهایی پوشش به پارامترهای زیادی وابسته است. عواملی از جمله میزان غلظت ذرات در حمام آبکاری، دانسیته جریان اعمالی و pH محلول آبکاری بر روی مقدار نشست ذرات در پوشش، مورفولوژی و خواص مکانیکی پوشش از جمله میکروسختی تأثیرگذار می‌باشند. از دیگر پارامترهای مؤثر در آبکاری می‌توان به دمای حمام آبکاری، مدت زمان آبکاری، سرعت همزدن و حضور انواع افزودنی‌ها اشاره کرد [۸]. پوشش‌های حاوی کبالت و فسفر برای چندین دهه با توجه به خواص منحصر به فرد خود از قبیل استحکام بالا، مقاومت به سایش خوب، مقاومت در برابر خوردگی مطلوب و خواص مغناطیسی خاص مورد بررسی قرار گرفته و به طور گسترده در دستگاه‌های الکترونیکی استفاده می‌شوند [۹-۱۲].

هدف از تحقیق حاضرساخت پوشش‌های نانو کامپوزیتی زمینه فلزی کبالت- فسفر- اکسیدآلومینیوم به روش رسوب دهی الکتریکی با استفاده ازجریان مستقیم و بررسی تاثیر pH بر مقدار نشست نانو ذرات آلومینا و رفتار خوردگی پوشش کامپوزیتی Co-P-nanoAl_2O_3 است.

۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از فولاد زنگ نزن AISI 430 به عنوان زیر لایه برای فرآیند آبکاری الکتریکی استفاده شد. ترکیب شیمیایی زیر لایه فولادی با استفاده از روش طیف سنج تفکیک انرژی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی زیرلایه فولادی AISI 430

عنصر	آهن	کروم	منگنز	سیلیسیم	کربن
درصد وزنی	۸۱/۳۶	۱۷/۱۰	۰/۹۲	۰/۵	۰/۱۲

زیرلایه فولادی AISI 430 در ابعاد $1\times1\times0/2$ cm^3 به عنوان کاتد و از کبالت خالص در ابعاد $2\times2\times0/2$ cm^3 به عنوان آند استفاده شد. سطح آند، دو برابرکاتد لحاظ گردید تا از بروز مشکلات پلاریزاسیون آندی، جلوگیری شود. از سیم مسی به طول ۱۲cm لحیم شده در پشت نمونه‌ها برای اتصال بین کاتد و آند با منبع تغذیه استفاده شد. زیر لایه با کاغذهای۴۰۰ تا۲۵۰۰ به منظور دستیابی به سطحی صاف و صیقلی سمباده زنی شد. برای عملیات چربی زدایی، نمونه به مدت ۱ دقیقه در محلول اسیدسولفوریک ۱۰ درصد الکتروپولیش شد وسپس در استون به مدت ۳۰ ثانیه قرارداده شد، در نهایت نمونه با آب مقطر شسته شد و به منظور جلوگیری ازتشکیل لایه اکسیدی، بلافاصله درون محلول برای انجام فرآیند آبکاری نهایی قرارگرفت.

ترکیب شیمیایی مورد استفاده به عنوان الکترولیت برای ایجاد پوشش کامپوزیتی Co-P-nanoAl_2O_3 در جدول ۲ آورده شده است. در ابتدا با استفاده از ترازوی دیجیتالی جرم ترکیب شیمیایی حمام الکترولیت طبق جدول ۲ اندازه گیری شد، مواد مورد نظر برای آبکاری در بشر۱۰۰ میلی لیتری مخلوط گردید و با اضافه شدن آب مقطر دوبار تقطیر، سپس بشر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. این محلول درون دستگاه آلتراسونیک قرارداده شد و به مدت۱۰ دقیقه همزده شد، سپس با استفاده از همزن مغناطیسی برای ایجاد یک محلول همگن به مدت ۱ ساعت همزده شد. با پی اچ متر، pH محلول کنترل شد. سپس کاتد به قطب منفی و آند به قطب مثبت منبع تغذیه متصل شد و فرآیند آبکاری به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. فرآیند آبکاری در شرایط دما، زمان، سرعت هم زدن، غلظت Al_2O_3 و چگالی جریان ثابت، مطابق جدول۳ و تغییر pH انجام شد. پس از پایان یافتن فرآیند پوشش دهی نمونه‌ها از محلول آبکاری خارج و با آب مقطر شسته شدند.

به منظور بررسی نحوه توزیع ذرات Al_2O_3 و میکروساختارنمونه‌های پوشش داده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Cam Scan MV 2300 مجهزبه طیف سنج تفکیک انرژی استفاده شد.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

جدول ۲-ترکیب شیمیایی محلول آبکاری پوشش کامپوزیتی Co-P-nanoAl_2O_3 بر حسب گرم بر لیتر

سولفات کبالت	۲۵۰
سدیم هیپوفسفینات	۴۰
اسیدبوریک	۴۰
نانوآلومینا	۵

جدول ۳- شرایط ثابت آزمایش

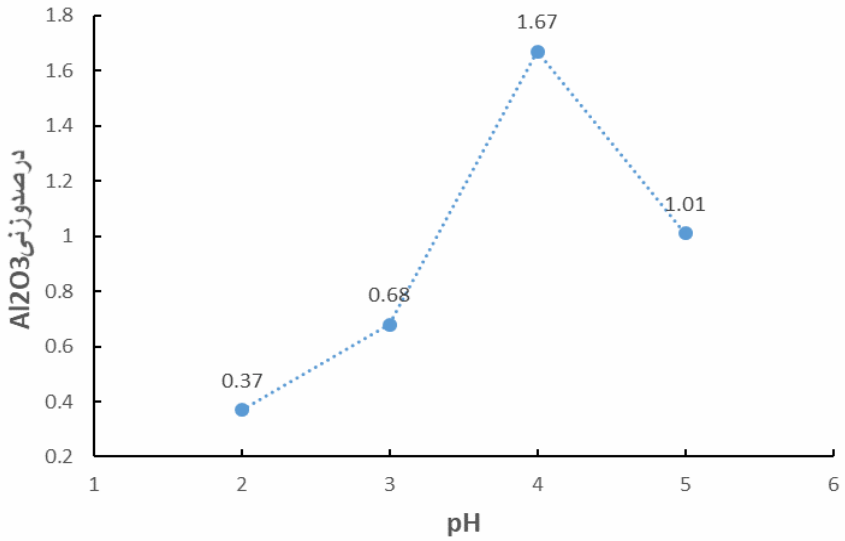
دما (درجه سانتی گراد)	زمان آبکاری (دقیقه)	سرعت چرخش (rpm)	چگالی جریان (mA/cm^2)
۵۵	۲۰	۷۰۰	۱۵

آزمایش‌های پلاریزاسیون مقاومتی و طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی به منظور بررسی رفتار الکتروشیمیایی پوشش در محلول ۳/۵ درصدوزنی NaCl توسط دستگاه EG&G انجام شد و داده‌ها با استفاده از نرم افزار Power Suit رسم شدند. در این آزمایش‌ها ازسلولی با ۳ الکترود شامل؛ الکترود اشباع کالومل SCE به عنوان الکترود مرجع، پلاتین به عنوان الکترود کمکی و نمونه‌ها به عنوان الکترود کاری استفاده شد. قبل از آغاز آزمایش، نمونه‌ها با سطحی معادل $1cm^2$ آماده شدند و بقیه قسمت‌های آن کاملا با اپوکسی پوشانده شدند. همچنین نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۳/ ۵ درصدوزنی NaCl غوطه‌ور شدند تا به حالت پایداری برسند. تغییرات کمتر از ۵ mv در ۵ دقیقه به عنوان حالت پایداری در نظرگرفته شد. طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی در محدوده فرکانس 10^{-2}- 10^{5} انجام گردید. آزمایش‌های پلاریزاسیون مقاومتی در محدوده ولتاژ مورد نظر با سرعت جاروب ۱ mv/s و در دمای ثابت ۲۵°C انجام شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر pH بر میزان نشست Al_2O_3

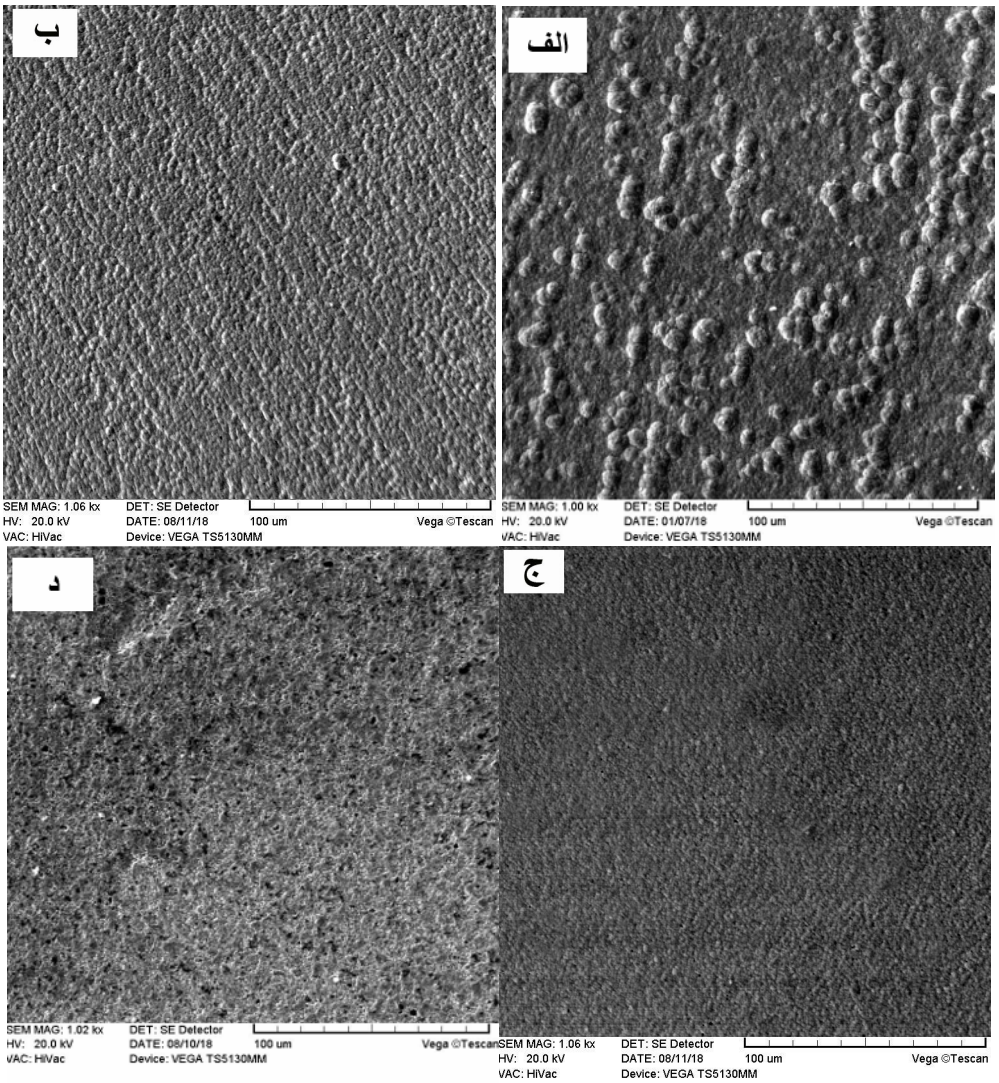
شکل ۱ نمودارتغییردرصد وزنی ذرات سرامیکی Al_2O_3 در پوشش برحسب pH را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش pH از ۲ به ۴ با روند افزایش ۱ واحدی درصد وزنی ذرات سرامیکی Al_2O_3 در پوشش افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش بیشتر pH درصد وزنی ذرات سرامیکی Al_2O_3 در پوشش کاهش می‌یابد.



شکل ۱- نمودار میزان تغییرات درصد وزنی ذرات Al_2O_3 در پوشش بر حسب pH

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

شکل ۲ ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها (تصاویر SEM) را نشان می‌دهد با توجه به این شکل با افزایش pH پوشش یکنواخت تـر و دارای حباب و حفره‌ی کمتری می‌باشد و در pH برابر با ۴ پوشش یکنواخت و عاری از حفره می‌باشد. با افزایش بیشتر pH پوشش دارای حفره می‌شود.



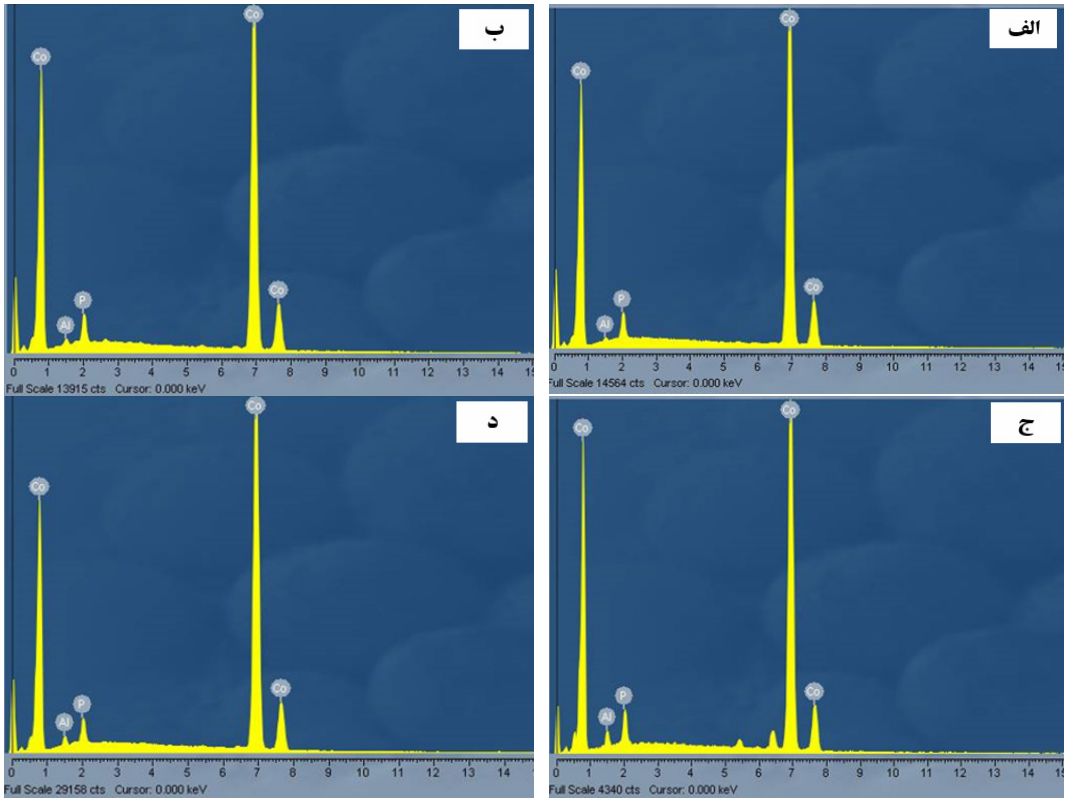
شکل ۲- تصاویر SEM از رسوب الکتریکی $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ در pH های الف) ۲ و ب) ۳ و ج) ۴ و د) ۵

شکل ۳ آنالیز حاصل از پوشش $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ و جدول ۴ درصد وزنی ذرات تشکیل دهنده‌ی پوشش در pHهای ۲ و ۳ و ۴ و ۵ را نشان می‌دهند. همانطورکه مشاهده می‌شود درصد وزنی ذرات Al_2O_3 با افزایش pH زیاد مـی‌شـود و بیـشترین درصـد وزنـی ذرات سرامیکی Al_2O_3 در pH برابر با ۴ می‌باشد و بیشتر از pH برابر با ۴ درصد وزنی ذرات Al_2O_3 کاهش می‌یابد.

جدول ۴- تغییرات درصد وزنی ذرات نانوآلومینا، فسفر وکبالت در پوشش بر حسب تغییر pH با شرایط چگالی جریان برابر با $۱۵mA/cm^2$ و غلظت ذرات نانوآلومینا در محلول برابر با ۵ g/L، دما برابر با ۵۵ درجه سانتی گراد و سرعت چرخش برابر با ۷۰۰rpm

pH	درصد وزنی ذرات آلومینا در پوشش	درصد وزنی ذرات فسفر در پوشش	درصد وزنی ذرات کبالت در پوشش
۲	۰/۳۷	۱	۹۸/۶۳
۳	۰/۶۸	۱/۷	۹۷/۶۲
۴	۱/۶۷	۳/۸	۹۴/۵۳
۵	۱/۰۱	۲/۱	۹۶/۸۹

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]



شکل ۳- آنالیز حاصل از پوشش $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ در pH های الف) ۲ و ب) ۳ و ج) ۴ و د) ۵

با افزایش pH از ۲ با روند افزایش ۱ واحدی به ۴ درصد وزنی ذرات سرامیکی Al2O3 در پوشش افزایش می‌یابد و پس ازآن با افزایش pH درصد وزنی ذرات Al_2O_3 در پوشش کاهش می‌یابد (شکل۱).

کاهش pH محلول گرادیان نفوذی را افزایش و pH سطحی را کاهش می‌دهد، اما همچنین احیای هیدروژن را افزایش و بازده رسوب گذاری را کاهش می‌دهد. برای ترویج ترکیب ذرات آلومینا در رسوب، جاذب یون‌های فلزی روی سطح ذرات بیشتر از یون های هیدروژنی مفید است، کاهش غلظت یون H^+ در الکترولیت موجب جذب یون های فلزی بر روی سطح از ذرات سرامیکی Al_2O_3 می‌شوندکه منجر به افزایش رسوب ذرات آلومینا می‌شود [۱۳]. مقدار pH کاتد همیشه با مقدار pH محلول آبکاری یکسان نیست. یون‌های هیدروژن در برقراری جریان الکتریکی شرکت می‌کنند و حضور آن‌ها در فرآیند آبکاری pH الکترود را تغییر می‌دهد. مقدار pH فیلم کاتدی معمولا بالاتر از pH محلول است، اگرجابجایی یون‌های هیدروژن کمتر از یون‌های هیدروژن احیا شده باشد، تغییر در مقدار pH بازده جریان کاتدی و ساختار رسوب را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۴].

نانو ذرات Al_2O_3 در حمام‌های قلیایی بار سطحی منفی و در حمام سولفامات اسیدی بار سطحی مثبت دارند. بار سطحی سطوح اکسیدی تابع پیچیده‌ای از pH و مقاومت یونی محلول می‌باشد. در pH های پایین بار سطحی ذرات در مقایسه با pH های بالا مثبت تراست [۱۵].

pH بر نحوه بارگیری ذرات سرامیکی در حمام آبکاری اثر دارد در حمام‌های قلیایی، ذرات آلومینا بار منفی می‌گیرند در حالی که در حمام‌های اسیدی همین ذرات دارای بار مثبت می‌شوند.

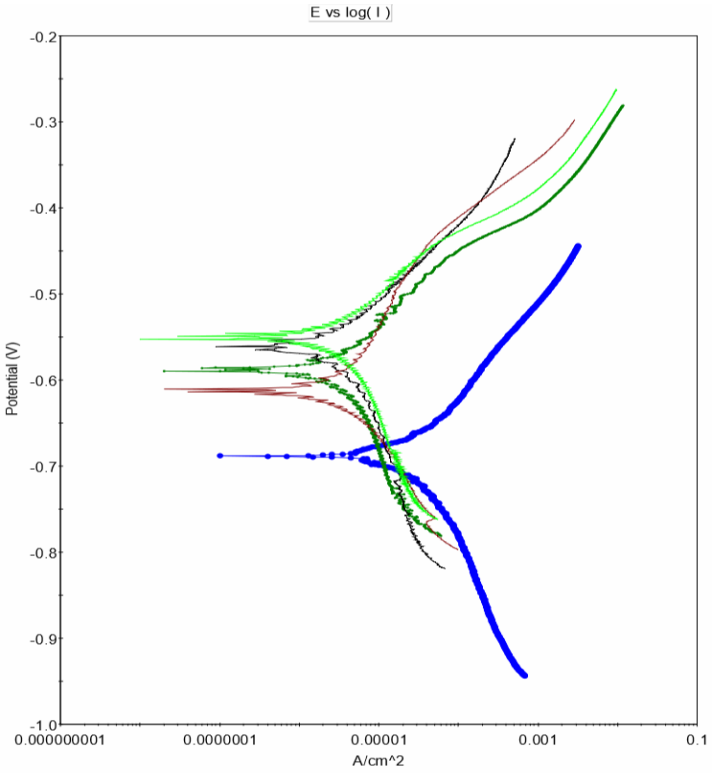
از نتایج حاصل و مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت که pH بر مقدار ذرات سرامیکی و ترکیب پوشش تاثیرگذار است [۱۶،۱۷]. می‌توان این تغییر در مقدار ذرات سرامیکی در پوشش به پتانسیل زتای ذرات نسبت داد. چرا که یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که بر پتانسیل زتا ذرات اثر دارد pH است. در pH های اسیدی کاتیون‌های کبالت روی سطح ذرات آلومینا قرار می‌گیرند. لذا ذرات آلومینا دارای بار مثبت شده و به راحتی جذب سطح کاتد که دارای بار منفی هست، می‌شوند. در مقابل، در pH های بازی ذرات اکسیدی بارهای منفی را به خود می‌گیرند و لذا مقدار آنها در پوشش کاهش می‌یابد [۱۶]. با افزایش pH پوشش یکنواخت تر و میزان حباب و حفره‌ی آن کمتر می‌شود و در pH برابر با ۴ پوشش یکنواخت و عاری از حفره می‌باشد. از pH برابر با ۴ با افزایش

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

pH در پوشش حفره ایجاد می‌شود (شکل۲). با افزایش pH ساختار ریزدانه‌تر و یکنواخت‌تر می‌شود. در pH های کمتر سطح پوشش زبرتر و بی‌کیفیت تر می‌شود و دارای حفره می‌باشد [۱۶].

۳-۲- تاثیر pH بر رفتار خوردگی پوشش کامپوزیتی $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$

شکل۴ منحنی‌های تافل بدست آمده از آزمایش‌های مربوط به تغییر pH را نشان می‌دهد، باتوجه به این شکل و با رسم مماس‌های این منحنی‌ها و بدست آوردن محل تلاقی این مماس‌ها و معادله استرن گری مشاهده می‌شود که با افزایش pH جریان خوردگی کاهش، مقاومت به خوردگی و پتانسیل خوردگی افزایش می‌یابد وکمترین جریان خوردگی و بیشترین مقاومت به خوردگی و پتانسیل در pH برابر با ۴ می‌باشد و در pH بیشتر از ۴ جریان خوردگی افزایش و مقاومت به خوردگی و پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد.



شکل ۴- مقایسه نتایج آزمون پلاریزاسیون پوشش‌های کامپوزیتی $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ در pH های

جدول ۵- جریان خوردگی و مقاومت به خوردگی پوشش در pH های مختلف آبکاری

شماره آزمایش	pH	جریان خوردگی (μA)	مقاومت به خوردگی پوشش (Ω)
۱	۲	۲/۷۴۲	۱۰/۳۶
۲	۳	۱/۹۱۰	۱۱/۷۶
۳	۴	۱/۰۰۱	۱۳/۹۴
۴	۵	۲/۰۸	۱۰/۸۳
نمونه بدون پوشش	-	۵/۰۳۰	۷/۰۶

مقادیر بدست آمده از نمودارهای تافل شامل جریان خوردگی و مقاومت به خوردگی پوشش پوشش‌های $Co\text{-}P\text{-}nanoAl_2O_3$ در جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش pH در هنگام پوشش دهی، جریان خوردگی کاهش می‌یابد و متناسب با آن مقاومت

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

خوردگی پوشش کامپوزیتی افزایش می‌یابد، این روند تا pH برابر با ۴ ادامه دارد سپس با افزایش pH بیشتر از ۴ جریان خوردگی افزایش و مقاومت به خوردگی کاهش می‌یابد.

افزایش pH تا مقدار ۴ باعث افزایش نشست نانو ذرات الومینا در پوشش شد. حضور ذرات فاز تقویت کننده مقاومت به خوردگی پوشش کامپوزیتی کبالت- فسفر را بهتر می‌کند در پوشش‌های نانو کامپوزیتی حضور نانو ذرات در ساختار پوشش از طریق مکانیزم‌هایی همچون: تشکیل میکروسل‌های گالوانیک بین ذره و زمینه و انسداد مسیرهای خوردگی توسط نانو ذرات و تغییر در ریزساختار پوشش رفتار خوردگی را بهبود می‌دهند [۱۸،۱۹].

نانو ذرات سرامیکی Al_2O_3 به کار رفته در مرزهای کریستالی و همچنین در داخل کریستال ها می‌توانند به جلوگیری از خوردگی موضعی کمک کنند. مکانیزم آن به این صورت است که در حضور ذرات فاز ثانویه و توزیع یکنواخت آنها در پوشش، تعداد زیادی میکروسل‌های گالوانیک ایجاد می‌شود [۲۰،۲۱].

چون این ذرات، پتانسیل خوردگی نجیب تر و مقاومت به خوردگی بیشتری نسبت به زمینه دارند در نتیجه این ذرات نقش کاتد را ایفا می‌کنند و زمینه اطراف آنها نقش آند را دارد. تشکیل این میکروسل‌های گالوانیک، توزیع خوردگی را در سطح پوشش یکنواخت تر می‌کند و باعث کاهش خوردگی موضعی می‌شود و به طور کلی خوردگی یکنواخت و همگنی رخ می‌دهد در نتیجه مقاومت به خوردگی افزایش می‌یابد [۲۰،۲۱].

نانو ذرات تقویت کننده در زمینه کامپوزیتی پوشش و در مرز دانه‌ها به عنوان موانع فیزیکی خنثی جلوی هجوم و پیشرفت محیط خورنده به پوشش را می‌گیرند و از گسترش خوردگی جلوگیری می‌کنند و تا حدودی باعث کاهش خوردگی موضعی می‌شود [۲۰،۲۱،۲۲].

هم رسوبی نانو ذرات تقویت کننده در زمینه پوشش با اصلاح و تغییر ریزساختار زمینه پوشش می توانند باعث بهبود مقاومت به خوردگی شوند [۲۰،۲۱]. در حضور نانو ذرات تقویت کننده در پوشش‌های نانوکامپوزیتی، ساختاری نامنظم و پیچیده مشاهده می‌شود که برای پیشرفت خوردگی باید مسیری پر پیچ و خم متشکل از مسیرهای متعددی طی شود که همین طولانی تر شدن مسیر می‌تواند منجر به افزایش مقاومت به خوردگی شود [۲۰،۲۳].

۴- نتیجه‌گیری

۱) فولاد زنگ نزن AISI 430 توسط پوشش Co-P-nanoAl_2O_3 تحت چهار pH برابر با ۲ و ۳ و ۴ و ۵ پوشش داده شد و تاثیر pH بر مقدار نشست نانو الومینا، مورفولوژی و میکروساختار و مقاومت به خوردگی بررسی شد. نتایج نشان داد رسوب Co-P-nanoAl_2O_3 بدست آمده در حمام با چگالی جریان برابر با ۱۵ mA/cm^2 و pH=۴، دما برابر با ۵۵ درجه سانتی گراد و سرعت چرخش برابر با ۷۰۰ rpm و غلظت ذرات نانوآلومینا برابر با ۵ g/L یکنواخت بوده و هیچ گونه ترک و تخلخلی در آن وجود نداشت. نتایج آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محلول آبی ۳/۵ درصد وزنی NaCl نشان داد که نمونه پوشش داده شده در حمام با pH=۴ بیشترین مقاومت در برابر خوردگی (۱۳/۹۷ $\Omega.cm^2$) را در مقایسه با نمونه بدون پوشش (۷/۰۶ $\Omega.cm^2$) و نمونه پوشش داده شده در حمام با pH=۲ (۱۰/۳۶ $\Omega.cm^2$)، نمونه پوشش داده شده در حمام با pH=۳ (۱۱/۷۶ $\Omega.cm^2$) و نمونه پوشش داده شده در حمام با pH=۵ (۱۰/۸۳ $\Omega.cm^2$) دارد.

مراجع

[1] T. Borkar, "Electrodeposition of nickel composite coatings", Mumbai India, (2010). p. 111.
[2] R.S.Pai, "Nickel Electroplating using Shipley Megaposit SPR 220 Positive Resist as a Mold", (2011).
[3] B.Szczygiel, and M. Kolodziej, "composite Ni/Al2O3 coating and their corrosion resistance, Electrochimica Acta", (2005). 50(20): p. 4188-4195.
[4] N. padhy, et al., "corrosion performance of TiO2 coated type 304L stainless steel in nitric acid medium". Surface and Coating Technology, (2010). 204 (16-17): p. 2782-2788.
[5] K. Arunsunai Kumar, G. paruthimal Kalaignan, and V .S. Muralidharan, "Direct and pulse current electrodeposition of Ni-W-TiO2 nanocomposite coatings". Ceramics International, (2013). 39(3): p. 2827-2834.
[6] Y. Tsuru,. M.N.Foulkes, F.R., "Effects of chloride, bromide and iodide ions on internal stress in films deposited during high speed nickel electroplating from a nickel sulfamate bath", Journal of Applied

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]

Electrochemistry, (2000). 30: p. 231-238.
[7] G. BARI, A.D., "Modern Elecyroplating-Electroplating of nickel". (2010). p. 79-114.
[8] L. Ma, , Zhou, K. C., Li, Z. Y., and Wei, Q. P., "Electrodeposition of Ni-Co-Fe2O3 composite coatings" , J. Cent . South Univ. Technol, (2010). 17: p. 708-714.
[9] Y. Lin, -C. and J.-G. Duh, "Effect of surfactant on electrodeposited Ni–P layer as an under bump metallization". Journal of Alloys and Compounds, (2007). 439(1–2): p. 74-80.
[10] Y. Wang, X. Shu, and W. Gao, "Microstructure and properties of Ni Co TiO2 composite coatings fabricated by electroplating". International Journal of Modern Physics B, (2015). 29:p. 7.
[۱۱] سیاوش ایمانیان قازانلو، علی شکوه‌فر و حامد بخشی، تولید پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Co/SiO_2 به روش رسوب الکتروشیمیایی جریان مستقیم. فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، ۱۳۹۵.
[12] Lin, Y . C., and Duh, J. G., "Effect of surfactant on electrodeposited Ni-P layer as an under bump metallization": , ournal of alloys and Compounds, (2007). 439: P. 74-80.
[13] M. Holm, T.J. O'Keefe, "Evaluation of nickel deposition by electrochemical impedance spectroscopy", Journal of Applied Electrochemistry, Vol.30, (2000),1125-1132.
[14] C. Siah, N. Aziz, Z. Samad, MN. Idris, MA. Miskam , "A Review Of The Fundamental Studies For The Electroplating Process." University Sains Malaysia, unpublished (2002).
[15] D. Thiemig, A. Bund, "Characterization of electrodeposited Ni–TiO_2 nanocomposite coatings", Surf. Coat. Technol, 202, (2008), 2976-2984.
[16] A. Bund and D. Thiemig, "Influence of bath composition and pH on the electrocodeposition of alumina nanoparticles and nickel," Surface and Coatings Technology, vol. 201, (2007), 7092-7099.
[17] Q. Li, X. Yang, L. Zhang, J. Wang, and B. Chen, "Corrosion resistance and mechanical properties of pulse electrodeposited Ni–TiO_2 composite coating for sintered NdFeB magnet," Journal of Alloys and Compounds, vol. 482, (2009), 339-344.
[18] T. Borkar and S. P. Harimkar, "Effect of electrodeposition conditions and reinforcement content on microstructure and tribological properties of nickel composite coatings," Surface and coatings Technology, vol. 205, (2011), 4124-4134.
[19] Y. Yao, S. Yao, and L. Zhang, "Preparation, mechanical properties and wear resistance of Ni– W/SiC nanocomposite coatings," Materials Science and Technology, vol. 24, (2008), 237-240.
[20] Y. Yao, S. Yao, L. Zhang, and H. Wang, "Electrodeposition and mechanical and corrosion resistance properties of Ni–W/SiC nanocomposite coatings," Materials Letters, vol. 61, (2007), 67-70.
[21] M. Haciismailoglu and M. Alper, "Effect of electrolyte pH and Cu concentration on microstructure of electrodeposited Ni–Cu alloy films," Surface and Coatings Technology, vol. 206, (2011), 1430-1438.
[22] M. Allahyarzadeh, M. Aliofkhazraei, A. S. Rouhaghdam, and V. Torabinejad, "Electrodeposition of Ni–W–Al_2O_3 nanocomposite coating with functionally graded microstructure," Journal of Alloys and Compounds, vol. 666, (2016), 217-226.
[23] F. Ebrahimi, G. Bourne, M. S. Kelly, and T. Matthews, "Mechanical properties of nanocrystalline nickel produced by electrodeposition," Nanostructured Materials, vol. 11, (1999), 343-350.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-09-10]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1398.2.58.4.6]