

# مطالعه تاثیر غلظت یون کبالت در محلول آبکاری الکتریکی بر مورفولوژی، ساختار فازی و مقاومت به خوردگی پوشش‌های آلیاژی روی - کبالت

حامد دلگشائی<sup>۱</sup>، سعید رضا اله کرم<sup>۲\*</sup>، حسن فرهنگی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مواد دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، (پست الکترونیک: hamed\_delgoshaee@yahoo.com)

۲- استاد دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران، (پست الکترونیک: akaram@ut.ac.ir)

۳- دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران، (پست الکترونیک: hfarhangi@ut.ac.ir)

## Effect of cobalt ion concentration of electroplating solution on morphology, phase structure and corrosion resistance of Zinc-Cobalt alloy coatings

H.Delgoshaee<sup>1</sup>, S.R.Allahkaram<sup>\*2</sup>, H.Farhangi<sup>3</sup>

1- Student of M.Sc, Department of Materials Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, E-Mail: hamed\_delgoshaee@yahoo.com

2- Professor, School of Metallurgy and Materials Engineering, University of Tehran, E-Mail: akaram@ut.ac.ir

3- Associate Professor School of Metallurgy and Materials Engineering, University of Tehran, E-Mail: hfarhangi@ut.ac.ir

### چکیده

پوشش‌های آلیاژی روی - کبالت به روش آبکاری الکتریکی با استفاده از جریان مستقیم از حمام سولفاتنی - اسیدی بر روی فولاد St37 اعمال شدند. تاثیر مقدار یون کبالت در حمام آبکاری بر مورفولوژی، ترکیب شیمیایی، ساختار فازی و مقاومت به خوردگی پوشش‌های آلیاژی روی - کبالت مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های ریز ساختاری و ترکیبی پوشش‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف نگار توزیع انرژی (EDS) انجام و به منظور تعیین فازهای موجود در پوشش از دستگاه پراش سنج پرتوی ایکس (XRD) استفاده شد. میکرو سختی پوشش‌ها به وسیله دستگاه میکروسختی ویکرز و مقاومت به خوردگی پوشش‌ها به وسیله آزمایش پلاریزاسیون تافل در محلول ۳/۵ درصد نمک طعام مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقدار یون کبالت در محلول آبکاری تاثیر زیادی بر ترکیب شیمیایی، ساختار فازی و همچنین مقاومت به خوردگی پوشش‌های روی - کبالت دارد. با افزایش مقدار یون کبالت در محلول آبکاری میزان کبالت پوشش افزایش، در نتیجه سختی پوشش نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی مقاومت به خوردگی پوشش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت به خوردگی، بیشتر تحت تاثیر ترکیب فازی پوشش‌های رسوب کرده است و پوشش آلیاژی روی - کبالت با ۱/۲ درصد وزنی کبالت در پوشش به علت ساختار تک فازی دارای بالاترین مقاومت به خوردگی است. **واژه‌های کلیدی:** مقاومت خوردگی، آبکاری الکتریکی، پوشش‌های آلیاژی روی - کبالت، مورفولوژی، ساختار فازی، میکرو سختی.

### Abstract

The effect of cobalt ion concentration of electroplating solution on morphology, phase structure and corrosion resistance of zinc-cobalt alloy electrodeposits that were obtained from Sulfate- acid solutions by direct current on St37 steel has been studied. SEM, EDS and XRD were used to study the surface morphology, chemical composition and phase structure of coatings. Respectively corrosion behavior of Zn-Co alloy coatings were studied by Tafel polarization experiment in 3.5 wt% NaCl solution. In addition the microhardness of the Zn-Co alloy coatings was examined. The results showed that increasing of cobalt ion content of electroplating solution, increases cobalt content as well as microhardness of the coating. The cobalt ion in the plating bath strongly affects the chemical content and phase structure, as well as corrosion stability, of Zn-Co alloys. It was also noticed that corrosion resistance of the deposits were highly influenced by the composition and morphology of the coatings. Zn-Co alloy coatings containing 1.2 wt% Co showed the highest corrosion resistance due to its single phase.

**Keywords:** corrosion resistance, electroplating, Zinc-Cobalt alloy coatings, morphology, Phase structure, microhardness.

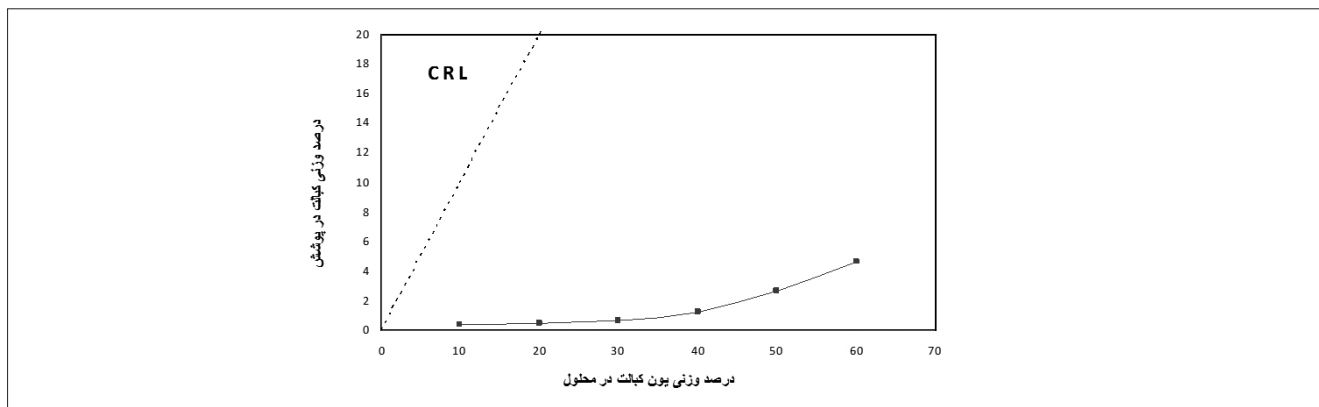
(کد: ۹۱۱۰۶۲)

وزنی کبالت دارند دارای مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به پوشش‌های روی-کبالت تک لایه است [۱۰]. حیدری قره چشمه با مطالعه ای که بر روی رفتار خوردگی پوشش‌های روی خالص و پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت ایجاد شده از حمام بازی با استفاده از جریان پالسی انجام داده است دریافت، مقاومت به خوردگی، بیشتر تحت تاثیر ترکیب و مورفولوژی پوشش است و پوشش آلیاژی روی-کبالت با ۲/۳۵ درصد وزنی کبالت به علت ساختار تک فازی و اندازه دانه کوچکتر دارای بالاترین مقاومت به خوردگی است [۱۱]. در این تحقیق اثر تغییرات یون کبالت در محلول آبکاری بر مورفولوژی و ترکیب شیمیایی، ساختار فازی، سختی و مقاومت به خوردگی پوشش آلیاژی روی-کبالت مورد مطالعه قرار گرفته است.

### مواد و روش تحقیق

جهت انجام فرایند آبکاری، ورق هایی از فولاد ساده کربنی (St37) به مساحت (۱/۵ cm × ۱/۵ cm) به عنوان کاتد و فولادزنگ نزن به صورت ورق به مساحت موثر ۲/۲۵ cm به عنوان آند انتخاب شدند. کلیه نمونه ها قبل از انجام فرایند آبکاری با استفاده از ورق‌های سنباده تا مش ۱۵۰۰ صیقل کاری شدند. به منظور حذف چربی ها و روغن‌های موجود بر روی سطح، نمونه ها ابتدا در محلول استن به مدت ۵ دقیقه تحت امواج فراصوتی فرکانس بالا در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس در یک چربی زدای صنعتی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۷۰°C قرار داده شدند. پس از اتمام هریک از مراحل انجام شده عملیات آبکشی توسط آب مقطر بر روی تمامی سطح مورد نظر انجام شد. عملیات اسید شویی با استفاده از اسید هیدروکلریدریک ۱۰٪ به مدت یک دقیقه انجام، سپس با آب مقطر نمونه شستشو داده شد و به منظور جلوگیری از تشکیل لایه اکسیدی بر روی سطح، نمونه ها بلافاصله در الکترولیت قرار داده شدند. پوشش آلیاژی روی-کبالت با استفاده از یک حمام اسیدی - سولفاتی با غلظت‌های یونی مختلف کبالت بر صفحات فولادی تحت جریان مستقیم ۴۰ mA/cm<sup>2</sup> و در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد ایجاد شدند. در کلیه حمام‌های مورد استفاده مجموع نمک‌های اصلی برابر ۲۰۰ g/L می‌باشد. (سولفات روی ۷ آبه + سولفات کبالت ۷ آبه = ۲۰۰ g/L) که در آن دامنه تغییرات غلظت سولفات کبالت از ۲۰ g/L تا ۱۲۰ g/L می‌باشد. یعنی مقدار  $[\text{Co}^{2+}/(\text{Zn}^{2+}+\text{Co}^{2+})]$  در هر حمام به صورت درصدی در حال تغییر است. و سایر اجزا حمام که عبارتند از: سولفات سدیم ۸۰ g/L، سولفات آمونیوم ۵۰ g/L و اسید بوریک ۲۰ g/L در کلیه حمام ها ثابت می‌باشند.

پوشش‌های روی به صورت گسترده ای جهت محافظت سازه‌های فولادی از خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه جهت افزایش مقاومت به خوردگی از پوشش‌های آلیاژی روی به جای پوشش‌های روی خالص استفاده می‌شود. پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت به خاطر مقاومت به خوردگی بالاتر نسبت به پوشش‌های روی خالص مورد توجه قرار گرفتند. همچنین با آلیاژ سازی، سایر خواص پوشش‌های روی مانند انعطاف پذیری، سختی و قابلیت جوشکاری بهبود یافته است [۱]. آبکاری پوشش‌های روی - کبالت در حمام‌های اسیدی و قلیایی انجام می‌شود. از خصوصیات حمام‌های اسیدی، راندمان جریان کاتدی بالا، نرخ آبکاری بالا، جذب هیدروژن کم پوشش اشاره شده است [۲-۵]. پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت با داشتن مقدار کم کبالت (در حدود ۱ درصد وزنی) دارای مقاومت به خوردگی بالایی نسبت به پوشش روی خالص می‌باشند [۶]. پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت با مقدار کبالت بیشتر از ۶ الی ۷ درصد وزنی کمتر گزارش شده است [۷]. بر اساس تحقیقات انجام شده توسط برنر آبکاری پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت از نوع غیر متعارف می‌باشند که در آن فلز فعال تر (روی) با ترجیح نسبت به فلز نجیب تر (کبالت) ترسب می‌شود. به همین علت در پوشش‌های آلیاژی روی - کبالت مقدار کبالت پوشش کم می‌باشد [۸]. پوشکوف و همکارانش، ترکیب محصولات خوردگی پوشش‌های روی-کبالت را در محلول ۵ درصد نمک طعام بررسی کرده اند. آنها دریافتند که محصولات خوردگی ایجاد شده روی سطح پوشش‌های روی-کبالت، منو هیدرات کلرید هیدروکسید روی می‌باشد که انحلال کم این ترکیب در محلول آب نمک باعث افزایش مقاومت به خوردگی پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت نسبت به پوشش‌های روی خالص می‌شود [۹]. پاناکوپلوس و همکارانش رفتار خوردگی پوشش‌های روی-کبالت بر روی فولاد معمولی را در محلول نمک طعام ۰/۱ مولار با pHهای متفاوت بررسی کردند. آنها مشاهده کردند مقاومت به خوردگی پوشش‌های روی-کبالت در محلول نمک طعام ۰/۱ مولار با pHهای اسیدی و بازی کمتر از pHخنثی است که به دلیل پایداری فیلم‌های پسیو ایجاد شده در محلول نمک طعام با pHهای متفاوت، روی پوشش می‌باشد [۱]. راماناسکاس و همکارانش نشان داده اند ساختار فازی پوشش‌های روی - کبالت نقش مهمی در رفتار خوردگی این پوشش‌های آلیاژی دارد. [۴]. بر اساس تحقیقی که بحر العلوم و همکارانش بر روی پوشش‌های روی-کبالت انجام داده اند به این نتیجه رسیده اند که پوشش‌های روی-کبالت چند لایه که دارای بیش از ۱۰ درصد



شکل ۱- اثر غلظت یون کبالت محلول بر درصد وزنی کبالت پوشش.

پوشش نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، مقدار کبالت پوشش کم می‌باشد و به صورت تدریجی افزایش می‌یابد و به طور قابل توجهی پایین تر از خط ترکیبی مرجع (CRL) است که به صورت معادله ۱ تعریف شده است.

$$CRL = \frac{c(Co^{2+})}{[c(Co^{2+} + Zn^{2+})]} \quad (1)$$

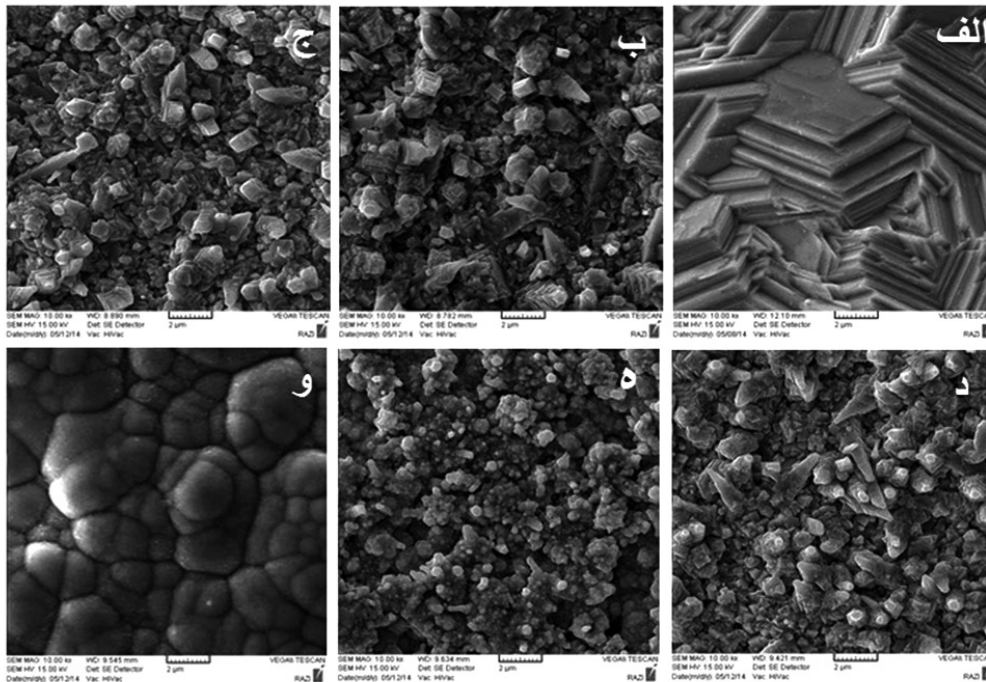
$cCo^{2+}$  و  $cZn^{2+}$  به ترتیب غلظت یون‌های کبالت و روی در الکترولیت است.

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط برنر آبکاری پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت از نوع غیر متعارف می‌باشند که در آن فلز فعال تر (روی) با ترجیح نسبت به فلز نجیب تر (کبالت) ترسیب می‌شود و به همین علت مقدار کبالت پوشش‌های آلیاژی روی-کبالت کم می‌باشد و کمتر از ترکیب خط مرجع (CRL) است [۸]. تا کنون مطالعات گسترده ای بر روی مکانیزم ترسیب غیر متعارف پوشش آلیاژی Zn-Co و به طور کلی روی با فلزات خانواده آهن صورت گرفته است که در این میان یکی از پر اهمیت ترین مکانیزم ها، مدل ممانعت کنندگی لایه هیدروکسید (HSM) است. بر اساس این مدل یک لایه هیدروکسید از فلز فعال تر در سطح کاتد ایجاد می‌شود و از نشست و تخلیه الکتریکی فلز نجیب تر جلوگیری می‌کند. تغییرات لایه هیدروکسید برای توضیح دادن ترسیب غیر متعارف مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر طبق این مدل ضخامت لایه هیدروکسید به طور تناوبی تغییر می‌کند. رسوب دهی کبالت و قتی که لایه هیدروکسید روی در حال از بین رفتن است رخ می‌دهد. هنگامی که لایه هیدروکسید روی تخلیه می‌شود، احیای یون‌های هیدروژن و کبالت به طور ترجیحی زودتر از احیای یون روی اتفاق می‌افتد. با احیای هیدروژن، pH لایه ی مجاور کاتد افزایش یافته و

جهت تنظیم pH حمام از اسید هیدروکلریدریک رقیق و هیدروکسید سدیم استفاده شد و pH کلیه حمام ها در حدود ۳ تنظیم و مدت زمان آبکاری برای نمونه ها ۱۵ دقیقه انتخاب شد به منظور بررسی مورفولوژی و ترکیب شیمیایی پوشش ها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA TESCAN ساخت کشور چک مجهز به طیف نگار توزیع انرژی (EDS) استفاده شد. از دستگاه پراش سنج پرتوی ایکس (XRD) مدل Philips X Pert Pro با استفاده از آند مسی با طول موج تابش  $K_{\alpha}$  برابر با  $\lambda = 1/0.52 \text{ \AA}$  برای تعیین ساختار و نوع فازهای موجود در پوشش استفاده شد. طول هرگام  $0.2$  و زمان هر گام یک ثانیه بوده و زاویه روبش برای همه نمونه‌ها در گستره  $2\theta$  برابر با  $10$  الی  $110$  درجه انتخاب گردید. به منظور اندازه گیری سختی پوشش ها از دستگاه میکرو سختی ویکرز مدل (AMSLER D-6700) استفاده شد. که در آن نیروی وارده به میزان  $20$  گرم به مدت  $10$  ثانیه اعمال شد جهت افزایش دقت آزمایش، هر آزمایش سه مرتبه تکرار شد. به منظور بررسی رفتار خوردگی پوشش ها، آزمایش‌های پلاریزاسیون با استفاده از دستگاه پتانسیواستات/گالوانوستات EG&G مدل  $273$  A، پس از  $30$  دقیقه غوطه وری در محلول  $3/5 \text{ wt\% NaCl}$  در دمای محیط انجام شد. کلیه آزمایش ها در سل خوردگی استاندارد با سیستم سه الکترودی متشکل از الکترود پلاتینی به عنوان الکترود کمکی و الکترود  $Ag/AgCl$  به عنوان الکترود مرجع، انجام شدند. آزمایش‌های پلاریزاسیون با سرعت  $2 \text{ mV/s}$  انجام شد در تمام آزمایش‌های خوردگی، سطحی به ابعاد  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  به عنوان سطح تماس با محلول در نظر گرفته شد و بقیه سطح توسط لاک پوشانده شد.

### نتایج و بحث

در شکل ۱ اثر غلظت یون کبالت محلول بر درصد وزنی کبالت



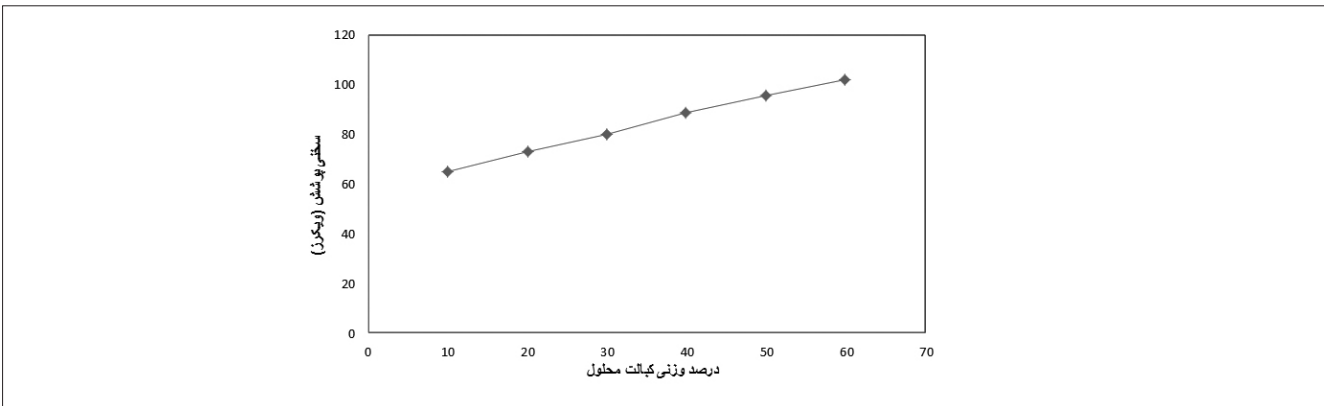
شکل ۲- مورفولوژی پوشش روی خالص و پوشش آلیاژی روی- کبالت در دانسیته جریان  $40 \text{ mA/cm}^2$  و درصد های وزنی متفاوت یون کبالت در محلول آبکاری (الف) روی خالص ب)  $20\% \text{ wt Co}$  ج)  $30\% \text{ wt Co}$  د)  $40\% \text{ wt Co}$  و  $50\% \text{ wt Co}$  و  $60\% \text{ wt Co}$

جدول ۱- اثر درصد وزنی یون کبالت محلول آبکاری بر درصد وزنی کبالت و سختی پوشش آلیاژی روی- کبالت.

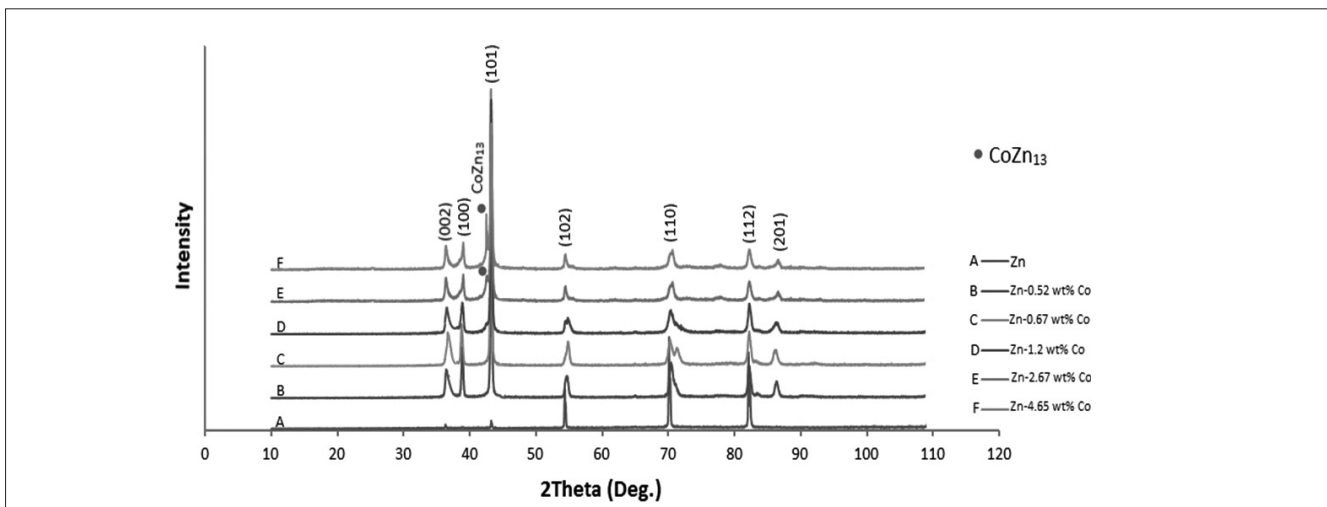
پوشش	دانسیته جریان	درصد وزنی یون کبالت محلول	درصد وزنی کبالت پوشش	سختی پوشش (ویکرز)
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۱۰	۰/۳۵	۶۵
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۲۰	۰/۵۲	۷۳
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۳۰	۰/۶۷	۸۰
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۴۰	۱/۲	۸۹
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۵۰	۲/۶۷	۹۶
روی-کبالت	$40 \text{ mA/cm}^2$	۶۰	۴/۶۵	۱۰۲

مختلف کبالت در حمام آبکاری را نشان می دهد. همانطور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل ۲ مشاهده می شود مورفولوژی پوشش روی خالص به صورت کریستال های هگزاگونال می باشد. و با افزوده شدن کبالت به حمام آبکاری مورفولوژی پوشش آلیاژی روی- کبالت تغییر کرده است و احتمالاً تغییر مورفولوژی از حالت هگزاگونال به حالت دانه ای

باعث شکل گیری مجدد لایه هیدروکسید روی می شود. با تشکیل لایه ی هیدروکسید روی، دوباره احیای یون غالب می گردد و احیای دوباره روی شروع می شود و ترسیب غیر متعارف می گردد و به این ترتیب درصد کبالت بسیار کمتر از درصد روی در پوشش است [۸،۱۲]. شکل ۲ مورفولوژی پوشش روی خالص و پوشش آلیاژی روی- کبالت را در دانسیته جریان  $40 \text{ mA/cm}^2$  و غلظت های



شکل ۳- اثر درصد وزنی یون کبالت محلول آبکاری بر سختی پوشش روی- کبالت.



شکل ۴- الگوی XDR حاصل از پوشش روی خالص و پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت حاصل از حمام‌های آبکاری با غلظت‌های مختلف از یون کبالت.

صفحات (۱۱۲) و (۱۰۲) نیز کاسته شده است. این امر به خاطر تغییر در جهت کریستالوگرافی روی به علت حضور کبالت می‌باشد. اولین فاز تشخیص داده شده برای پوشش آلیاژی روی - کبالت فازی می‌باشد که غنی از روی است (فاز ۱) و محلول جامد کبالت در روی می‌باشد که الگوی XRD آن شبیه به الگوی XRD روی خاص است. این فاز در پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت با مقادیر ۰/۶۷ و ۰/۵۲ درصد وزنی مشاهده شد. با افزایش مقدار یون کبالت در محلول پیک دیگری در زاویه  $2\theta = 43^\circ$  ظاهر می‌شود (فاز ۲) ( $\text{CoZn}_{13}$ ) و با افزایش مقدار یون کبالت محلول آبکاری شدت آن زیاد می‌شود. در جدول شماره ۲ ترکیب فازی پوشش روی خالص و پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت حاصل از محلول آبکاری با غلظت‌های مختلف کبالت ارایه شده است.

نمودارهای حاصل از آزمایش پلاریزاسون پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت در محلول NaCl ۲/۵٪ در شکل ۵ ارایه شده است.

در اثر افزایش درصد کبالت پوشش است [۸، ۴]. نتایج حاصل از سختی پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت در غلظت‌های مختلف یون کبالت در حمام آبکاری در جدول ۱ نشان داده شده است.

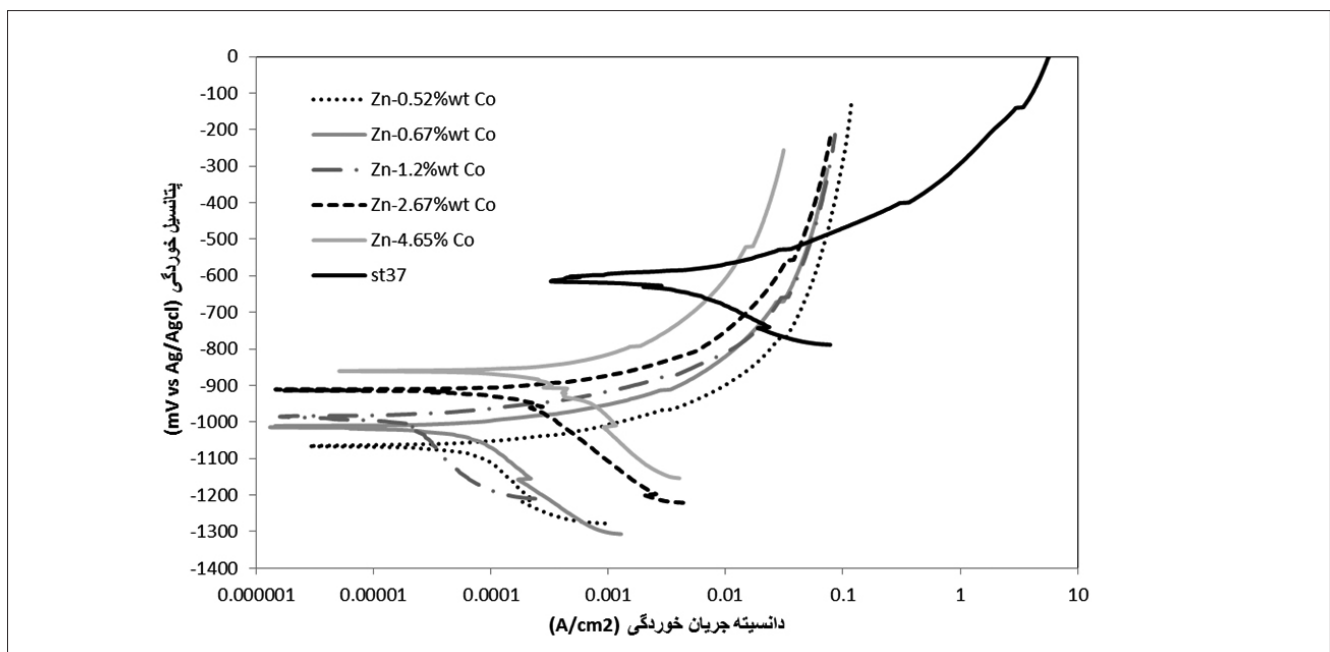
در شکل ۳ اثر غلظت یون کبالت در حمام آبکاری بر سختی پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با افزایش کبالت پوشش در نتیجه افزایش غلظت یون کبالت الکترولیت مقدار سختی پوشش افزایش می‌یابد.

شکل ۴ الگوی XDR حاصل از پوشش روی خالص و پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت حاصل از حمام‌های آبکاری با غلظت‌های متفاوت از یون کبالت را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است در پوشش روی خالص پیک مربوط به صفحه (۱۱۰) دارای بیشترین شدت است. با اضافه شدن ۲۰ درصد وزنی یون کبالت به محلول آبکاری از شدت پیک صفحه (۱۱۰) کاسته شده است همچنین از شدت پیک‌های

جدول ۲- ترکیب فازی پوشش روی خالص و پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت حاصل از محلول آبکاری با غلظت‌های مختلف کبالت.

پوشش	مقدار یون کبالت در محلول آبکاری (wt.%)	مقدار کبالت در پوشش (wt.%)	فازهای ایجاد شده
روی خالص	۰	۰	روی خالص
روی- کبالت	۲۰	۰/۵۲	η
روی- کبالت	۳۰	۰/۶۷	η
روی- کبالت	۴۰	۱/۲	η
روی- کبالت	۵۰	۲/۶۷	γη+
روی- کبالت	۶۰	۴/۶۵	γη+



شکل ۵ - نمودارهای حاصل از آزمایش پلاریزاسون پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت در محلول NaCl ۰.۵٪.

است که خواص حفاظتی پوشش را افزایش می‌دهد [۱۰،۹]. با افزایش مقدار کبالت پوشش لایه حفاظتی ZHC نیز افزایش پیدا می‌کند [۹]. نتایج حاصل از آزمایش پلاریزاسیون تافل در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده می‌شود که پوشش آلیاژی روی کبالت با مقدار ۱/۲ درصد وزنی کبالت دارای دانسیته جریان خوردگی کمتری نسبت به سایر پوشش‌ها بوده. بنابراین دارای مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به سایر پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت می‌باشد. همچنین پوشش آلیاژی روی- کبالت با ۴/۶۵ درصد وزنی کبالت دارای دانسیته جریان خوردگی بالاتری

همانطور که مشاهده می‌شود پوشش‌های روی- کبالت دارای پتانسیل منفی تری نسبت به فولاد می‌باشند. و این امر نقش حفاظت کاتدی پوشش آلیاژی روی- کبالت را بیان می‌کند. هنگامی که آلیاژ روی- کبالت خورده می‌شود، روی به صورت ترجیحی شروع به انحلال می‌کند و تشکیل لایه ای محافظ از اکسید روی (ZnO) و یا هیدروکسید روی (Zn(OH)<sub>2</sub>) و یا ترکیبی از هر دو آنها ایجاد می‌کند. حضور کبالت باعث افزایش انحلال روی می‌شود. در نتیجه روی با یون‌های کلریدی محلول NaCl واکنش می‌دهد و منجر به شکل گیری کلرید هیدروکسید روی منو هیدراته (ZHC)، (Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>) می‌شود. ZHC دارای ثابت انحلال بسیار پایینی در حدود ۱۰<sup>-۱۴</sup> تا ۱۰<sup>-۱۶</sup>

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمایش پلاریزاسون فولاد ساده کربنی و پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت.

نمونه	مقدار کبالت در پوشش (wt.%)	پتانسیل خوردگی (mV vs Ag/AgCl)	دانسیته جریان خوردگی ( $\mu\text{A cm}^{-2}$ )
فولاد ساده کربنی	۰	-۶۱۰	$3 \times 10^3$
روی- کبالت	۰/۵۲	-۱۰۷۰	۶۰
روی- کبالت	۰/۶۷	-۱۰۲۵	۳۰
روی- کبالت	۱/۲	-۹۸۵	۲۰
روی- کبالت	۲/۶۷	-۹۳۰	۸۰
روی- کبالت	۴/۶۵	-۸۶۰	۱۰۰

#### منابع و مراجع

- [1] C.N. Panagopoulos, D.A. Lagaris, P.C. Vatista. (2011). Adhesion and corrosion behaviour of Zn-Co electrodeposits on mild steel. *Materials Chemistry and Physics*, No. 126, Pp 398-403.
- [2] Z.F. Lodhi, H.A. Terryn and J.H.W. Dewit . (2007). Cathodic inhibition and anomalous electrodeposition of Zn-Co alloys , *Electrochimica Acta* , No.52, Pp 5444-5452.
- [3] E.Gomez, and E. Valle . (2001). Characterisation of zinc+cobalt alloy phases obtained by electrodeposition, *Journal of Electroanalytical Chemistry* , No.505, Pp 54-61.
- [4] R. Ramanauskas, and R. Juskenas . (2008). Effect of pulseplating on the composition and corrosion properties of Zn-Co and Zn-Fe alloy coatings, *chemija*, No.19, Pp 7-13.
- [5] M. Mouanga, L. Ricq and P. Bercot . (2007). Electrodeposition and characterization of zinc-cobalt alloy from chloride bath; influence of coumarin as additive , *Surface and Coatings Technology* , No.721, Pp 1-7.
- [6] Svetlana Lichušina, Ala Chodosovskaja, Aloyzas Sudavičius, (2008). Cobalt-rich Zn-Co alloys electrochemical deposition, structure and corrosion resistance, *chemija*. vol.19. No. 1, Pp 25-31
- [7] Jing-Yin Feia, G.D. Wilcox. (2005). Electrodeposition of Zn-Co alloys with pulse containing reverse current *Electrochimica Acta*, No.50 .Pp 2693-2698.
- [8] J.L. Ortiz-Aparicio , Y. Meas, G. Trejo a , R. Ortega , T.W. Chapman , E. Chainet , P. Ozil (2007). Electrodeposition of zinc-cobalt alloy from a complexing alkaline glycinate bath *Electrochimica Acta*, No.52, Pp 4742-4751.
- [9] N. Boshkov, K. Petrov , S. Vitkova , S. Nemska , G. Raichevsky (2002). Composition of the corrosion products of galvanic alloys Zn-Co and their influence on the protective ability, *Surface and Coatings Technology*, No.157, Pp 171-178.
- [10] M.E. Bahrololoom, D.R. Gabe, G.D. Wilcox, (2004). Microstructure, morphology and corrosion resistance of electrodeposited zinc-cobalt compositionally modulated alloy multilayer coatings, *Transactions of the institute of metal finishing*, No. 82, Pp. 51-58
- [11] M. Heydari Gharahcheshmeha, M. Heydarzadeh Sohi. (2012). Pulse electrodeposition of ZnCo alloy coatings obtained from an alkaline bath *Materials Chemistry and Physics*, No.134 ,Pp 1146-1152.
- [12] Z.F. Lodhi, J.M.C. Mol, A. Hovestad, H. Terryn and J.H.W. Dewit , 2007(. 'Electrodeposition of Zn-Co and Zn-Co-Fe alloys from acidic chloride electrolytes' , *Surface and Coatings Technology* , No.462, Pp 1-7.

نسبت به سایر پوشش‌ها بوده. بنابراین دارای مقاومت به خوردگی کمتری نسبت به سایر پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت می‌باشد. با نتایج حاصل از، نمودارهای پلاریزاسیون و الگوی XRD پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که پوشش‌های آلیاژی با ساختار تک فازی ( $\eta$ )، دارای مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به پوشش‌های آلیاژی با ساختار دو فازی ( $\gamma+\eta$ ) هستند. همچنین مقدار یون کبالت در محلول آبکاری تاثیر زیادی بر ترکیب شیمیایی، ساختار فازی و در نتیجه مقاومت به خوردگی پوشش‌های روی- کبالت دارد.

#### نتیجه گیری

- ۱- افزایش غلظت یون کبالت در محلول آبکاری الکتریکی باعث افزایش میزان کبالت پوشش می‌شود.
- ۲- با افزایش غلظت یون کبالت در محلول آبکاری الکتریکی مورفولوژی پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت از حالت هگزاگونال به حالت دانه ای تغییر می‌کند.
- ۳- در پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت با مقادیر کبالت کم (در حدود یک درصد وزنی) فاز ایجاد شده ( $\eta$ ) می‌باشد. افزایش غلظت یون کبالت در محلول آبکاری باعث ایجاد فاز ( $\gamma$ ) در پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت و متعاقباً افزایش سختی پوشش می‌شود.
- ۴- پوشش‌های آلیاژی روی- کبالت با ساختار تک فازی ( $\eta$ ) دارای مقاومت به خوردگی بالاتری نسبت به پوشش‌های دو فازی ( $\gamma+\eta$ ) می‌باشند.