

# تأثیر آلیاژ فلئور بر مقاومت به خوردگی لایه‌های نازک کربن شبه الماسی اعمال شده بر سطح آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن

سید محمد عادل عقیلی<sup>۱</sup>، رضا بازرگان لاری<sup>۱</sup>، راحله معمارزاده<sup>۱</sup>، اکبر اسحاقی<sup>۲</sup>

گروه مهندسی مواد، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی مواد

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۱۲ - پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۵/۲۳)

## چکیده

در این مطالعه، اثرات لایه‌های نازک کربن شبه الماسی آلانیده شده با فلئور (F-DLC) بر بهبود مقاومت به خوردگی بستره‌های کبالت-کروم-مولیبدن بررسی شد. برای این منظور، رسوب کربن شبه الماسی آلانیده شده با فلئور روی بستره‌های کبالت-کروم-مولیبدن از طریق روش رسوب شیمیایی بخار تقویت شده به وسیله پلاسما با منبع فرکانس رادیویی انجام پذیرفت. از گازهای متان، آرگون و گاز CF<sub>4</sub> برای پوشش‌دهی لایه‌های نازک کربن شبه الماسی آلانیده شده با فلئور استفاده گردید. از لایه میانی TiN جهت بهبود چسبندگی لایه‌های کربن شبه الماسی آلانیده شده با فلئور روی بستره کبالت-کروم-مولیبدن استفاده شد. پارامترهای خوردگی نمونه‌ها با استفاده از آزمون‌های پلاریزاسیون و امپدانس الکتروشیمیایی تعیین شد. اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی نشان داد که مقاومت به خوردگی بستره‌های کبالت-کروم-مولیبدن با اعمال پوشش‌های کربن شبه الماسی آلانیده شده با فلئور تا حد زیادی افزایش می‌یابد، به طوری که پتانسیل خوردگی از ۰/۳۹۶- ولت به ۰/۰۵۷- و جریان خوردگی از ۵/۵۵ × ۱۰<sup>-۶</sup> به ۱/۲۸۸ × ۱۰<sup>-۷</sup> میکرو آمپر کاهش پیدا کرد. طیف‌سنجی رامان، به عنوان یک روش غیرمخرب برای توصیف مواد مبتنی بر کربن، برای توصیف ساختاری فیلم‌های DLC و F-DLC استفاده گردید. نتایج غلظت بالاتر پیوند sp<sup>2</sup> و ساختار گرافیتی بیشتری را در فیلم‌های F-DLC نشان داد که می‌تواند منجر به استرس ذاتی کمتر در این فیلم‌ها در مقایسه با پوشش‌های DLC شود.

واژه‌های کلیدی: خوردگی، کربن شبه الماسی، RFPECVD، آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن.

## The effect of fluorine doping on the corrosion resistance of diamond-like carbon thin films applied on the surface of cobalt-chromium-molybdenum alloy

### Abstract

In this study, the effects of F-doped diamond-like carbon (F-DLC) thin films on corrosion resistance of the cobalt-chromium-molybdenum (CoCrMo) alloy substrate were investigated. For this purpose, deposition of F-DLC thin film on CoCrMo substrates was carried out through radio frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition (RF-PECVD) method. Methane, argon and CF<sub>4</sub> gases were used to deposition of F-DLC thin film. TiN intermediate layer was used to improve the adhesion of F-DLC thin film on CoCrMo substrate. Corrosion behavior of the samples have been determined using electrochemical impedance and polarization tests. Electrochemical measurements indicated that the corrosion resistance of CoCrMo substrates increases to a great extent by deposition of F-DLC thin film, so that the corrosion potential and corrosion current decreased from -0.396 volt to -0.057 volt and from 5.55 × 10<sup>-6</sup> to 1.288 × 10<sup>-7</sup> μA, respectively. Raman spectroscopy, as a nondestructive method to characterize carbon-based materials, was used for the structural characterization of DLC and F-DLC films. The results demonstrated that higher concentration of sp<sup>2</sup> bonding and more graphitic structure in the F-DLC films, which could lead to lower intrinsic stress in these films, compared to those of the DLC coatings.

**Keywords:** Corrosion, Diamond-like carbon, RFPECVD, Chromium-cobalt alloy

E-mail of Corresponding author: rbazarganlari@gmail.com

## مقدمه

در شرایط نامساعد سطوح ماده در معرض تخریب بیشتری نسبت به عمق آن قرار دارد و نیاز به حفاظت بیشتری خواهد داشت. خوردگی و سایش از جمله علل اصلی تخریب مواد گوناگون به شمار می‌روند [۱]. تقریباً ۶ درصد از کل تولید ناخالص ملی اغلب کشورهای پیشرفته صرف مسائل مرتبط با تخریب ناشی از خوردگی می‌گردد. فرآیند خوردگی بسیاری از زمینه‌های مهم فناوری از ساخت و تولید پل‌ها، کشتی‌ها، هواپیماها، قطعات میکروالکترونیک، صنایع غذایی، کاوش‌های فضایی، فیبرهای نوری، تاسیسات نیروگاه‌های هسته‌ای و بسیاری از موارد دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲]. به منظور حفاظت در برابر خوردگی و کنترل آثار زیانبار آن روش‌های متنوعی نظیر استفاده از بازدارنده‌ها، پوشش‌دهی، حفاظت کاتدی یا آندی، انتخاب مواد و غیره استفاده می‌شود که در این بین، پوشش‌دهی از جمله پرکاربردترین و بهترین روش‌ها محسوب می‌شود. یکی از پوشش‌هایی که در سال‌های اخیر به عنوان پوشش مقاوم به خوردگی مورد توجه قرار گرفته است پوشش‌های کربن شبه الماسی<sup>۱</sup> است [۳]. پوشش‌های کربن شبه الماسی به دلیل داشتن خواص فوق‌العاده‌ای چون ضریب اصطکاک پایین، سختی بالا، مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی بالا و خشی بودن از لحاظ شیمیایی در دو دهه اخیر کاربردهای زیادی در صنعت پیدا کرده‌اند [۴]. اگرچه پوشش‌های کربن شبه الماسی خواص بسیار خوبی دارند، اما به دلیل داشتن تنش پسماند بالا چسبندگی این پوشش‌ها به بستره‌های فلزی، بسیار پایین است و پوشش از روی سطح جدا شده و دوام کافی ندارد. روش‌های مختلفی جهت کاهش میزان تنش‌های پسماند و بهبود چسبندگی این پوشش‌ها به سطح ارائه شده‌اند [۳]. یکی از راه‌های کاهش تنش‌های پسماند ذاتی لایه‌های کربن شبه الماسی، آلییدن آن با عناصری نظیر Cr, F, O و Si

است [۳]. آلییدن لایه‌های کربن شبه الماسی با عناصر مختلف موجب تغییر خواص فیزیکی و مکانیکی این لایه‌ها از جمله سختی، مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون، خواص اپتیکی نظیر ضریب شکست، ضریب جذب، میزان شکاف انرژی (band gap) و غیره می‌شود [۴] که همگی این پارامترها می‌توانند بر عملکرد این لایه‌ها مؤثر باشند [۵-۶]. پوشش کربن شبه الماسی دارای فلئوئر (F-DLC) ترکیبی از خواص فوق‌العاده الماس و گرافیت را به عنوان مناسبترین پوشش در کاربردهای تریبولوژیکی (سایش) عرضه می‌نماید [۷]. گنگوپادیای<sup>۲</sup> و همکارانش، کربن شبه الماسی آلییده شده با سیلیسیم و فلئوئر را برای کاربردهای ضد سایش تهیه نمودند [۸]. مارسیانو و همکارانش به منظور افزایش مقاومت به خوردگی الکتروشیمیایی، تأثیر افزودن فلئوئر به کربن شبه الماسی را روی بستره‌های فولادی بررسی نمودند. براساس نتایج، افزایش مقدار فلئوئر از میزان تنش موجود در لایه‌های F-DLC کاسته و نیز موجب کاهش سختی و انرژی آزاد سطحی می‌گردد [۷]. میرزا<sup>۳</sup> و همکارانش پوشش‌های DLC دارای مقادیر مختلفی از سیلیسیم و فلئوئر را روی فولاد زنگ نزن 316L با استفاده از روش RF-PECVD لایه‌نشانی نمودند. بر اساس نتایج این گروه، کاهش چشمگیری در انرژی سطحی برای نمونه‌های دارای فلئوئر حاصل شد [۹].

بهرحال، تا کنون روی اثر اعمال کربن شبه الماسی آلییده شده با فلئوئر روی رفتار خوردگی آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن مطالعه‌ای انجام نشده است. در این تحقیق ابتدا پوشش کربن شبه الماسی آلییده شده با فلئوئر روی بستره آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن اعمال و سپس رفتار خوردگی آن بررسی شد.

<sup>3</sup>- Mirza

<sup>1</sup> - Diamond Like Carbon (DLC)

<sup>2</sup>- Gangopadhyay

## مواد و روش تحقیق

در این پژوهش لایه‌نشانی لایه‌های کربن شبه‌الماسی آلانیده شده با فلئوئر به روش رسوب دهی شیمیایی بخار تقویت شده به وسیله پلاسما با منبع تغذیه فرکانس رادیویی (RF-PECVD) روی آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن (Cr ۲۹ درصد، MO ۵/۵ درصد، Si ۱ درصد، Mn ۱ درصد و مابقی Co) انجام شد. لایه TiN با ضخامت یک میکرون و با روش PVD قوس کاتدی، قبل از لایه‌نشانی کربن شبه‌الماسی روی آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن اعمال شد. از پیش‌ماده‌های متان و آرگون جهت لایه‌نشانی کربن شبه‌الماسی و از پیش‌ماده‌های متان، آرگون و گاز CF<sub>4</sub> جهت لایه‌نشانی کربن شبه‌الماسی آلانیده شده با فلئوئر استفاده شد.

از طیف‌سنجی رامان، به‌عنوان یک روش غیرمخرب برای تعیین مشخصات مواد مبتنی بر کربن، برای توصیف ساختاری فیلم‌های DLC و F-DLC استفاده شد [۱۰]. دستگاه مورد استفاده، رامان کانفوکال اسپکترومیکروسکوپی با مدل Lab Ram HR و ساخت کمپانی Horiba ژاپن بود.

شرایط تست رامان عبارت بود از: طول موج لیزر ۵۳۲ nm، فیلتر طول‌موج (کنتل کننده طول موج) ۱۰۰، لنز میکروسکوپ X ۵۰، گریٹینگ طیف سنج ۶۰۰ گروه بر میلی‌متر، بازه رامان شیفیت که طیف گرفته شده بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ بر سانتیمتر در ۵ تا ۵ ثانیه (Accq5Accu5).

برای بررسی و ارزیابی مورفولوژی سطح پوشش‌های کربن شبه‌الماسی و کربن شبه‌الماسی آلانیده شده با فلئوئر از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان، ساخت شرکت "Tescan" مدل MIRA3 استفاده شد. به منظور رسانا شدن فیلم‌ها و جلوگیری از تمرکز الکترونی روی سطح، یک لایه نازک نانومتری از جنس طلا توسط دستگاه کندوپاش روی فیلم‌ها لایه‌نشانی گردید. تصاویر در بزرگمایی ۷۵ هزار برابر تهیه گردید.

همچنین به منظور بررسی رفتار خوردگی نمونه‌های پوشش داده شده با کربن شبه‌الماسی و کربن شبه‌الماسی آلانیده شده با فلئوئر از آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی توسط دستگاه پتانسیو استات و نرم-افزار powersuite استفاده شد. برای انجام آزمون‌ها از یک سیستم سه الکترودی شامل الکترود Ag/AgCl به عنوان الکترود مرجع، الکترود پلاتین به عنوان الکترود کمکی و نمونه به عنوان الکترود کاری استفاده گردید. تمامی آزمایش‌ها در دمای محیط انجام شد و محلول NaCl ۳/۵٪ به عنوان محیط خورنده در سل خوردگی مورد استفاده قرار گرفت. پیش از انجام آزمون، هر نمونه برای رسیدن به حالت پایا به مدت یک ساعت در داخل محلول قرار داده شد. آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک با نرخ رویش ۱ mV/s در محدوده پتانسیل ۲۵۰ MV- نسبت به پتانسیل مدار باز تا پتانسیل ۱/۵ نسبت به پتانسیل مدار باز انجام گردید. آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در محدوده فرکانس ۱۰۰ Hz تا ۱۰ mHz و دامنه پتانسیل دی سی ۱۰ mV انجام شد.

## نتایج و بحث

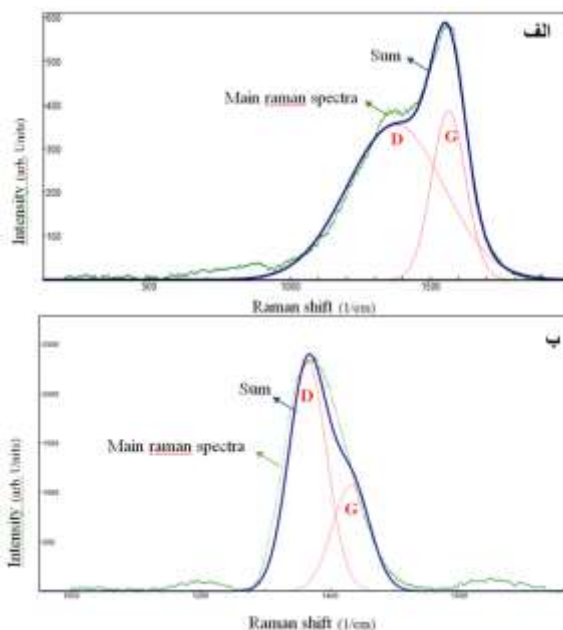
شکل ۱ طیف رامان فیلم‌ها را نشان می‌دهد. طیف رامان فیلم‌ها با استفاده از دو منحنی گاوسی به باندهای D و G تبدیل شدند. سپس برای توصیف ساختاری فیلم‌ها و تخمین محتوای sp<sup>2</sup>، موقعیت پیک، پهنای پیک در نصف شدت ماکزیمم<sup>۱</sup> و نسبت شدت پیک‌های D و G نسبت I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> به دست آمد. جدول ۱ خلاصه ای از ویژگی‌های اصلی طیف رامان فیلم‌های DLC و F-DLC را نشان می‌دهد. طبق جدول ۱، نسبت I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> برای F-DLC بیشتر از فیلم‌های DLC بود. پیک G به دلیل ارتعاش کششی مکان‌های sp<sup>2</sup> در زنجیره‌های C=C است. پیک D مربوط به محل sp<sup>2</sup> فقط در حلقه‌ها بود نه در زنجیره‌ها است. مقدار بالاتر I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> در فیلم F-DLC نشان داد

<sup>۱</sup> -FWHM

هیبرید شده  $sp^2$  نسبت داد [۱۲]. در فیلم‌های DLC، تغییر موقعیت پیک D و G و تغییر نسبت  $I_D/I_G$  در خلاف جهت تغییر عرض هم می‌باشند. افزایش نسبت  $I_D/I_G$  و جابجایی پیک D و G به عدد موج‌های پایین‌تر نشان‌دهنده‌ی افزایش محل‌های  $sp^2$  و کاهش محل‌های  $sp^3$  در ساختار است [۱۳ و ۱۴]. علاوه بر این، همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، حضور فلئوئور در فیلم‌های DLC منجر به کاهش عرض پیک G در فیلم‌های F-DLC شد. عرض پیک G یک عامل کلیدی برای تعیین غلظت نسبی و اندازه خوشه‌های  $sp^2$  و نظم ساختاری در فیلم‌ها است. بر این اساس، پهنای پیک G پایین‌تر را می‌توان به غلظت بالاتر خوشه‌های  $sp^2$  و نظم ساختاری بالاتر در فیلم مربوط کرد. بنابراین، نتایج نشان‌دهنده غلظت بالاتر پیوند  $sp^2$  و ساختار گرافیتی بیشتر در فیلم‌های F-DLC است که می‌تواند منجر به تنش ذاتی کمتر در این فیلم‌ها در مقایسه با پوشش‌های DLC شود.

در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح پوشش‌های کربن شبه‌الماسی و کربن شبه-الماسی آلاینده شده با فلئوئور نشان داده شده است. در هر دو شکل به روشنی می‌توان دید که هیچ گونه ترک، تخلخل، یا هرگونه عیب دیگری در داخل فیلم‌ها وجود ندارد.

که مقادیر حلقه  $sp^2$  در فیلم‌های F-DLC نسبت به فیلم‌های DLC افزایش یافته است. به عبارت دیگر، نسبت  $I_D/I_G$  رفتاری مخالف با نسبت هیبریدی  $sp^3/sp^2$  نشان می‌دهد. در تایید همین نتیجه، یوکومیچی<sup>۱</sup> در پژوهشی نشان داد افزودن فلئوئور موجب افزایش گروه‌های  $CF_2$  و  $CF_3$  - ولذا کاهش دانسیته ساختار شبکه ای می‌گردد [۱۱].



شکل ۱ طیف رامان (الف) فیلم‌های DLC و (ب) F-DLC.

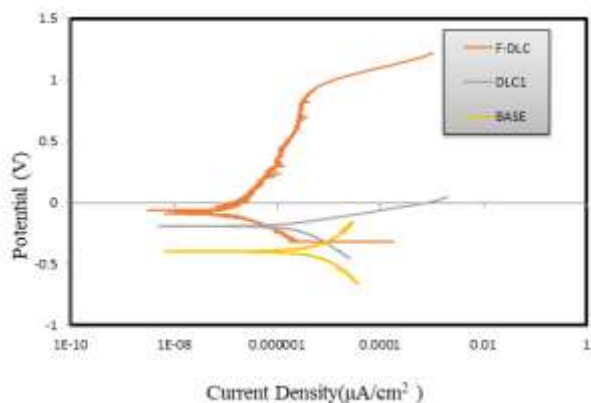
جدول ۱ نتایج طیف‌سنجی رامان فیلم‌های DLC و F-DLC

| نمونه | پیک G موقعیت (cm <sup>-1</sup> ) | D موقعیت پیک (cm <sup>-1</sup> ) | ID/IG | FWHM(G) (cm <sup>-1</sup> ) |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|-------|-----------------------------|
| DLC   | ۱۵۶۳/۴۰                          | ۱۳۷۴/۴۲                          | ۰/۹۲  | ۷۱/۲۷                       |
| F-DLC | ۱۴۳۲/۵۵                          | ۱۳۶۵/۴۴                          | ۲/۱۵  | ۳۴/۵۸                       |

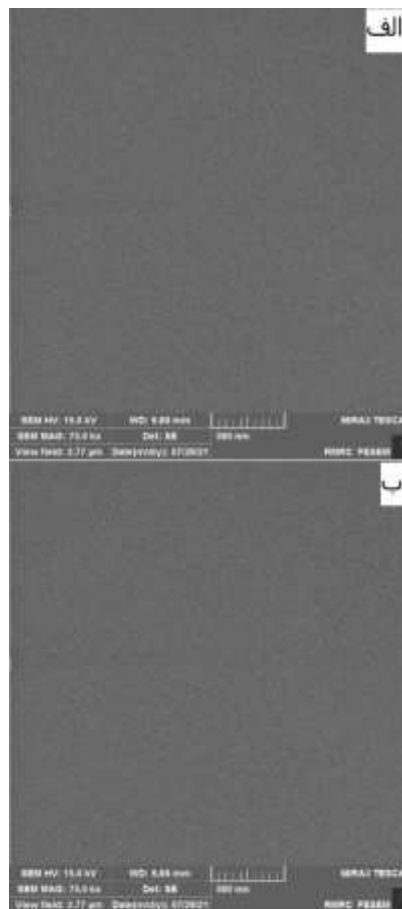
بنابراین، افزایش نسبت  $I_D/I_G$  در فیلم‌های F-DLC را می‌توان به افزایش تعداد پیوندهای  $sp^2$  و تشکیل دامنه‌های کربن

1- Yokomichi

برابر می باشد و در نمودارها و جدول زیر، به جای دانسیته جریان، مقدار جریان ارائه شده است. زیرا طبق نتایج به دست آمده از آزمون مشاهده می شود که نمونه های پوشش داده شده دارای مقادیر پتانسیل خوردگی بالاتر و جریان خوردگی کم تر در مقایسه با نمونه خام (آلیاژ Co-Cr) می می باشند. از طرفی در نمونه لایه نشانی شده با پوشش آلیایده شده با فلئور، مقدار جریان خوردگی به طور قابل قبولی در مقایسه با دو نمونه دیگر کاهش یافته است. طبق مباحث مربوط به مبانی خوردگی، پتانسیل خوردگی بالاتر به همراه جریان خوردگی کم تر نشان دهنده مقاومت به خوردگی بالاتر نمونه می باشد. بنابراین طبق نتایج ارائه شده در نمودار ۲، نمونه های لایه-نشانی شده در مقایسه با نمونه خام مقاومت به خوردگی بالاتری دارند. از طرفی جریان خوردگی پایین تر پوشش های آلیایده شده با فلئور در مقایسه با پوشش های بدون فلئور، نشان دهنده رفتار خوردگی مناسب تر و مقاومت به خوردگی بالاتر این پوشش در مقایسه با پوشش بدون فلئور می باشد. در نتیجه پوشش کربن شبه الماسی آلیایده شده با فلئور در بهبود مقاومت به خوردگی موثرتر می باشد.



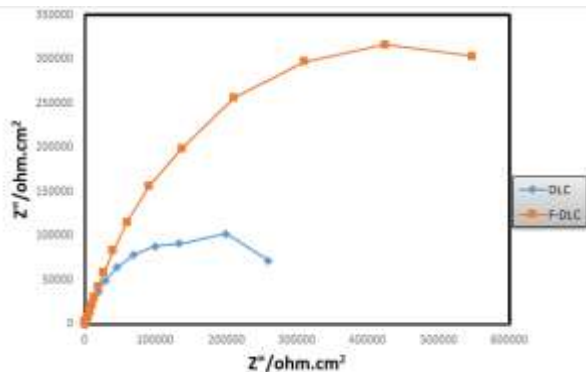
شکل ۳ منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک نمونه های خام و نمونه های لایه نشانی شده با پوشش های کربن شبه الماسی و کربن شبه الماسی آلیایده شده با فلئور.



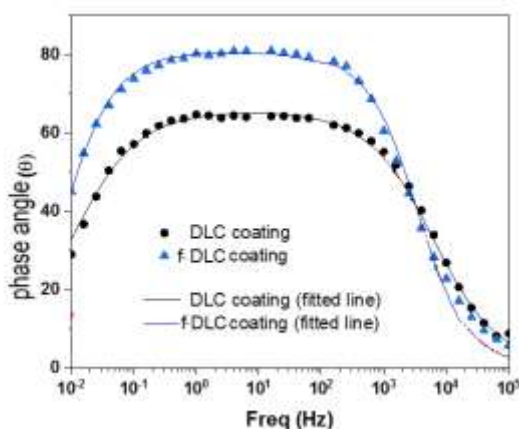
شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح پوشش های الف) کربن شبه الماسی و ب) کربن شبه الماسی آلیایده شده با فلئور.

به منظور بررسی اثر پوشش های کربن شبه الماسی و کربن شبه الماسی آلیایده شده با فلئور بر مقاومت به خوردگی بستره های از جنس آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن، آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در دمای محیط و در محلول ۳/۵٪ NaCl بر نمونه های خام (آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن) و نمونه های لایه نشانی شده با هر دو مدل پوشش، انجام شد. منحنی های مربوطه در شکل ۳ نمایش داده شده است. مقادیر چگالی جریان و پتانسیل خوردگی برای نمونه ها در جدول ۲ آورده شده است. قابل ذکر است که با توجه به اینکه در طی انجام تست خوردگی، اندازه سطوح خوردگی به اندازه یک مقدار واحد تعیین شده است، مقدار دانسیته جریان و جریان

بنابراین نتایج طیف‌سنجی امپدانس، مشابه با نتایج آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، تاییدی بر عملکرد بهتر و مقاومت به خوردگی بالاتر پوشش‌های آلاییده شده با فلئوئر در مقایسه با فیلم‌های ساده در محیط‌های خورنده می‌باشد. لایه‌های F-DLC همانند یک لایه محافظ در برابر حملات یون‌های مهاجم به زیر لایه عمل نموده و باعث افزایش مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن 316L می‌گردند [۷].



شکل ۴ منحنی نایکوئیست به دست آمده از آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمی برای نمونه‌های لایه نشانی شده با دو پوشش کربن شبه-الماسی و کربن شبه‌الماسی آلاییده شده با فلئوئر.



شکل ۵ نمودار باد فاز پوشش‌های کربن شبه‌الماسی و کربن شبه‌الماسی آلاییده شده با فلئوئر.

جدول ۲ پتانسیل خوردگی و چگالی جریان خوردگی نمونه‌های خام و نمونه‌های لایه نشانی شده با پوشش‌های کربن شبه‌الماسی و کربن شبه-الماسی آلاییده شده با فلئوئر

| نمونه ها                     | پتانسیل خوردگی (V) | جریان خوردگی (μA)      |
|------------------------------|--------------------|------------------------|
| نمونه خام (آلیاژ کروم-کبالت) | -۰/۳۹۶             | $۵/۵۵ \times ۱۰^{-۶}$  |
| DLC                          | -۰/۱۸۸             | $۱/۷۵۰ \times ۱۰^{-۶}$ |
| F-DLC                        | -۰/۰۵۷             | $۱/۲۸۸ \times ۱۰^{-۷}$ |

به منظور بررسی دقیق‌تر نقش پوشش کربن شبه‌الماسی آلاییده شده با فلئوئر بر مقاومت به خوردگی بستره از جنس آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی روی نمونه‌های لایه‌نشانی شده با دو پوشش متفاوت انجام شد که منحنی نایکوئیست مربوط به آن‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین نمودار باد فاز پوشش‌های کربن شبه‌الماسی و کربن شبه‌الماسی آلاییده شده با فلئوئر در شکل ۵ آمده است. به طور کلی منحنی‌های امپدانس بر اساس نسبت موهومی امپدانس به واقعی آن به صورت شبه قوس که بخشی از یک دایره بزرگتر است و مرکز دایره آن زیر خط افقی قرار می‌گیرد رسم می‌شوند. قطر دایره فرضی موجود در نمودار نایکوئیست بیانگر مقاومت انتقال یا پلاریزاسیون می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه قطر دایره فرضی بزرگتر باشد، پوشش دارای مقاومت به خوردگی بالاتر می‌باشد و قطرهای کوچکتر بیانگر مقاومت به خوردگی کم‌تر می‌باشند. با توجه به منحنی‌های نایکوئیست ارائه شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود که منحنی مربوط به نمونه لایه-نشانی شده با کربن شبه‌الماسی، در مقایسه با نمونه لایه نشانی شده با کربن شبه‌الماسی آلاییده شده با فلئوئر دارای قطر کمتر و در نتیجه مقاومت به خوردگی کمتر می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

- [5] P. R. Roberge. Corrosion Engineering: Principles and Practice. McGraw-Hill. New York. USA. (2008).
- [6] J. Robertson. Diamond-like amorphous carbon. Materials Science and Engineering. R: Reports. 37(2002)129-281.
- [7] F. Marciano. E. Almeida. L. Bonetti. E. Corat and V. Trava-Airoldi. Improvement of diamond-like carbon electrochemical corrosion resistance by addition of nanocrystalline diamond. Journal of colloid and interface science, 342(2010)638.
- [8] A. Gangopadhyay. P. Willermet. M. Tamor and W. Vassell. Amorphous hydrogenated carbon films for tribological applications I. Development of moisture insensitive films having reduced compressive stress. Tribology International. 30(1997)9-18.
- [9] E. H. Mirza, S. F. A. Ali, M. Asif, W. M. A. bin Ibrahim, and S. N. ul Hassan. Evaluation of anti-corrosion properties of DLC coatings for medical devices. International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE). (2012)117-122.
- [10] A.C. Ferrari, J. Robertson. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond, Philos Trans Royal Soc A Philos T R Soc A. 362(2004)2477-2512.
- [11] H. Yokomichi and A. Masuda. Effect of sputtering with hydrogen dilution on fluorine concentration of low hydrogen content fluorinated amorphous carbon thin films with low dielectric constant. Journal of applied physics. 86(1999)2468-2472.
- [12] A.C. Ferrari. J. Robertson. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. J Phys. 61(2000)14095-14107.
- [13] H. Ishige. S. Akaïke. T. Hayakawa. M. Hiratsuka, and Y. Nakamura. Evaluation of protein adsorption to diamond-like carbon (DLC) and fluorine-doped DLC films using the quartz crystal microbalance method, Dent. Mater. J.38(2019)424-429.
- [14] L. Liu. W. Tang. Q. Ruan. Z. Wu. C. Yang. S. Cui, Z. Ma. R.K. Fu. X. Tian. and R. Wang. Robust and durable superhydrophobic F-DLC coating for anti-icing in aircrafts engineering. Surf. Coat. Technol.404(2020)126468.

در این تحقیق لایه نشانی کربن شبه الماسی و همچنین لایه نشانی کربن شبه الماسی آلائیده شده با فلئوئور به روش رسوب دهی شیمیایی بخار تقویت شده به وسیله پلاسما با منبع تغذیه فرکانس رادیویی (RF-PECVD) روی بستره‌هایی از جنس آلیاژ کبالت-کروم-مولیبدن انجام شد و رفتار خوردگی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد:

- ۱- پهنای پیک G در نمونه F-DLC نسبت به نمونه DLC کاهش یافته است که نشانه ای از غلظت بالاتر پیوندهای  $sp^2$  است و در نتیجه نظم ساختاری بالاتر را در پی دارد.
- ۲- آلائیدن پوشش کربن شبه الماسی با فلئوئور سبب شد که پتانسیل خوردگی از  $-0.396$  ولت به  $-0.057$  و چگالی جریان خوردگی از  $10^{-6} \times 5/55$  به  $10^{-7} \times 1/288$  میکرو آمپر کاهش پیدا نماید.
- ۳- نسبت  $I_D/I_G$  پوشش کربن شبه الماسی با آرایش فلئوئور افزایش یافته که نشان می‌دهد ساختار به سمت گرافیت شدن رفته است.

## مراجع

- [1] D. R. Askeland. P. P. Fulay and W. J. Wright. The science and engineering of materials. CL Engineering. 6(2010).
- [2] M. G. Fontana. Corrosion engineering. Tata McGraw-Hill Publishing Company. (2005).
- [3] C. Donnet and A. Erdemir. Tribology of diamond-like carbon films: fundamentals and applications: Springer Science & Business Media (2007).
- [4] E. L. Dalibón. L. Escalada. S. Simison. C. Forsich and S. P. Brühl. Surface and Coatings Technology. 312(2017)105-107.