



## مقایسه رفتار خوردگی و تریبو خوردگی پوشش های الکترو لیس نیکل-فسفر با درصد فسفر بالا و پوشش های الکترو لیس نیکل-بور احیا شده با DMAB

فاطمه حاتمی بلداجی<sup>۱</sup>، فریده طباطبایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>. موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی نقش جهان (دانشجوی کارشناسی)

<sup>۲</sup>. موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی نقش جهان (استادیار)

### چکیده

در این پژوهش مقاومت به خوردگی، سایش و تریبو خوردگی پوشش های آمورف الکترو لیس نیکل-فسفر با درصد فسفر بالا و الکترو لیس نیکل-بور احیا شده توسط DMAB بررسی و مقایسه شده است. پوشش نیکل-فسفر حاوی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی فسفر و نیکل-بور حاوی ۰/۲ تا ۰/۵ بور به روش الکترو لیس بر روی زیر لایه های فولادی ایجاد شد. رفتار الکترو شیمیایی نمونه های پوشش داده شده در محلول ۰/۵ مولار سولفات سدیم توسط اندازه گیری های پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت بررسی رفتار سایشی پوشش ها از آزمون پین روی دیسک استفاده شد. رفتار تریبو خوردگی نمونه های پوشش داده شده نیز توسط آزمون سایش رفت و برگشتی متصل به یک سل الکترو شیمیایی بررسی شد. نتایج نشان داد که مقاومت به خوردگی پوشش های نیکل-فسفر بیشتر از پوشش نیکل-بور بوده در حالی که ضریب اصطکاک پوشش الکترو لیس نیکل-بور کمتر از پوشش نیکل-فسفر است. همچنین تاثیر خوردگی در آزمون های تریبو خوردگی بر روی پوشش نیکل-فسفر بیشتر از پوشش نیکل-بور است.

**واژه های کلیدی:** الکترو لیس، نیکل-فسفر، نیکل-بور، سایش، تریبو خوردگی.

## مقدمه

پوشش های پایه نیکل ایجاد شده به روش آبکاری الکتریکی از قرن نوزدهم جهت افزایش مقاومت خوردگی و سایش و همچنین مصارف تزئینی استفاده شده اند. فرآیند آبکاری الکترولس نیز به عنوان یک روش جدید آبکاری در سال ۱۹۴۶ توسط ریدل معرفی شد این روش به عنوان جایگزینی برای روش آبکاری الکتریکی جهت بهبود کاربردهای صنعتی توسعه یافت [۱-۲].

فرآیند آبکاری الکترولس را می توان به عنوان یک فرآیند احیای شیمیایی بدون استفاده از جریان الکتریکی خارجی تعریف کرد که در آن از خواص کاتالیستی سطح استفاده شده تا یون های فلزی موجود در الکترولیت بر روی آن رسوب کند. آبکاری الکترولس فلز نیکل یکی از معمول ترین فرآیندهای آبکاری الکترولس می باشد. پوشش های الکترولس نیکل احیا شده توسط هیپوفسفات سبب بهبود خواص خوردگی، سایشی و سختی قطعات مورد استفاده در صنعت می شوند. از طرف دیگر، به ویژه در سال های اخیر، توجه ویژه ای به سوی پوشش های الکترولس نیکل-بور معطوف شده است. در این پوشش ها، از بورهیدرید یا دی متیل امینو بوران (DMAB) به عنوان احیا کننده استفاده می شود. یکی از مزایای ویژه این پوشش ها در مقایسه با پوشش های نیکل-فسفر، سختی بالاتر و در برخی از موارد مقاومت به خوردگی بیشتر آنها می باشد. مقاومت سایش پوشش های الکترولس نیکل-بور از فولاد ابزار و پوشش های کرم سخت بیشتر است و همچنین می توان از آن به عنوان جایگزینی برای طلا در صنعت الکترونیک استفاده کرد [۳-۷].

تاکنون رفتار خوردگی و سایشی و همچنین رفتار تریبو خوردگی پوشش های الکترولس نیکل-فسفر و نیکل-بور با یکدیگر مقایسه نشده است. در این پژوهش، به بررسی رفتار خوردگی، سایشی و تریبو خوردگی پوشش های الکترولس نیکل-فسفر با درصد فسفر بالا و پوشش الکترولس نیکل-بور احیا شده توسط DMAB پرداخته شده است.

## مواد و روش تحقیق

فولاد کم کربن AISI ۱۰۴۵ به عنوان زیر لایه مورد استفاده قرار گرفت. از محلول های تجاری Niklad ۸۱۱، ELV، Nikad ۷۵۲ (ساخت شرکت Mac Dermid) به عنوان حمام آبکاری به ترتیب جهت تهیه پوشش های نیکل-فسفر و نیکل-بور، استفاده شد. قبل از آبکاری، زیر لایه های فولادی تا سمباده ۱۲۰۰ تحت سمباده زنی مکانیکی قرار گرفته و پس از آن در استون به روش اولتراسونیک سطح آنها تمیز گردید. پس از شستشو در آب دوبار تقطیر، زیر لایه ها درون محلول آبکاری قرار داده شدند. فرآیند آبکاری در بشر دو جداره ۵۰۰ میلی لیتری قرار داده شده بر روی یک همزن مغناطیسی جهت همزدن محلول، انجام شد. ضمانت پوشش ها در محدوده ۲۴-۲۰ میکرومتر در نظر گرفته شد. پس از آبکاری، نمونه ها مجدداً در آب دوبار تقطیر شستشو شده و خشک گردید. ساختار پوشش های تهیه شده توسط آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) با استفاده از دستگاه پراش سنج (Philips PW-۳۷۱۰) تحت تابش پرتو  $\alpha\text{CuK}\alpha$  مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت

سایشی پوشش ها با استفاده از آزمون سایش پین روی دیسک توسط یک دستگاه تریومتر (مدل CSM) ارزیابی شد. سرعت خطی لغزش ۵ سانتی بر ثانیه و مسافت طی شده ۵۰۰ متر تحت بار عمود ۵ نیوتن در نظر گرفته شد. گلوله آلومینا به عنوان جفت ساینده در آزمون های سایش مورد استفاده قرار گرفت. آزمون های تریبو خوردگی توسط یک دستگاه تریبو متر (CETR) متصل به دستگاه پتانسیو استات / گالوانو استات (مدل EG&G) انجام شد. در آزمون های الکتروشیمیایی نمونه در یک سل الکترودی در محلول ۰/۵ مولار سولفات سدیم قرار گرفت. شکل ۱، شمایی از تجهیز مورد استفاده جهت انجام آزمون های تریبو خوردگی را نشان می دهد. سایش به کار رفته در آزمون های تریبو خوردگی در شرایط رفت و برگشتی با سرعت ۰/۵ سانتی متر بر ثانیه و تحت بار ۲۰ نیوتن انجام شد. سل سه الکترودی بکار رفته شامل یک الکتروود مرجع کالومل و یک الکتروود کمکی پلاتین، علاوه بر نمونه مورد آزمون به عنوان الکتروود کاری بود. سطح در معرض الکتروولیت از نمونه مورد آزمون ۸ سانتیمتر مربع در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

### خواص میکروساختاری

شکل ۲، الگوی پراش پرتو ایکس پوشش های نیکل-فسفر و نیکل-بور ایجاد شده را نشان می دهد. می توان مشاهده کرد که هر دو پوشش دارای ساختار آمورف می باشند. پوشش های الکتروولس نیکل-فسفر با درصد های فسفر بالا (بیش از ۱۰ درصد وزنی) عمدتاً دارای ساختار آمورف می باشد. در پوشش های نیکل-بور اگر از احیا کننده بورو هیدرید استفاده شود، این پوشش ها ساختار کریستالی خواهند داشت. اما در مورد DMAB به عنوان احیا کننده، ساختار حاصل آمورف می باشد. سختی پوشش های تهیه شده توسط اندازه گیری میکرو سختی سنجی تحت بار ۵۰ mN حدود ۵۰۰ ویکرز برای پوشش نیکل-فسفر و ۶۷۰ ویکرز برای پوشش نیکل-بور بدست آمد. داده های حاصل با نتایج ارائه شده در تحقیقات پژوهشگران دیگر مطابقت دارد [۸-۱۰].

### خواص سایشی تحت شرایط سایش خشک

مقادیر ضریب اصطکاک پوشش ها نسبت به مسافت لغزش در شکل ۳ آمده است. می توان مشاهده کرد که ضریب اصطکاک پوشش نیکل-بور کمتر از پوشش نیکل-فسفر می باشد. متوسط ضریب اصطکاک پوشش نیکل-بور ۰/۳۹ است. در حالی که برای پوشش نیکل-فسفر حدود ۰/۵ می باشد. عمق سایش، حجم از دست رفته و مقادیر زبری در جدول ۱، گزارش شده است. اگر چه، تفاوت قابل ملاحظه ای در داده های مربوط به دو پوشش وجود ندارد اما مقدار زبری پوشش نیکل-بور کمتر از نیکل-فسفر می باشد. در مقابل، عمق سایش و حجم از دست رفته پوشش نیکل-فسفر کمتر می باشد. در شکل ۴، تصاویر پروفیلومتری نوری از محل شیار سایشی نشان داده شده است. تجمع دبریزهای سایشی در محل شیار سایش را برای پوشش نیکل-فسفر به وضوح می توان مشاهده کرد. همچنین با توجه به نمودار ارائه شده در شکل ۳، می توان دریافت که ضریب اصطکاک

پوشش نیکل-فسفر در طول سایش افزایش یافته است در حال که برای پوشش نیکل-بور مقدار نسبتاً ثابتی در طول آزمون ثبت شده است.

#### رفتار خوردگی در محلول ۰/۵ مولار سولفات سدیم

از آنجایی که پوشش های الکتروکلس نیکل در محلول های کلریدی رفتار روئین از خود نشان نمی دهند، در این پژوهش از محلول سولفاتی به عنوان محلول خوردنده استفاده شده است. منحنی های پلاریزاسیون پتاسودینامیک مربوط به پوشش های نیکل-فسفر و نیکل-بور در محلول ۰/۵ مولار سولفات سدیم شکل ۵ آمده است. مقادیر مربوط به دانسیته جریان خوردگی، جریان روئین و پتانسیل خوردگی آنها مستخرج از منحنی های پلاریزاسیون در جدول ۲ ارائه شده است. در مورد پوشش نیکل-فسفر می توان مشاهده کرد که پوشش رفتار شبه روئین از خود نشان داده و سیکل برگشت منحنی در دانسیته جریان های کمتری ظاهر شده است. اما در مورد نیکل-بور، رفتار پوشش به لحاظ الکترو شیمیایی کاملاً فعال بوده و فیلم روئین قابل توجهی بر روی آن تشکیل نشده است.

#### رفتار تریبو خوردگی در محلول ۰/۵ مولار سولفات سدیم

آزمون های تریبو خوردگی تحت پلاریزاسیون های آندی و کاتدی انجام شدند. در شکل ۶، تغییرات دانسیته جریان تحت پتانسیل های آندی ( $+100\text{mV}$  نسبت به OCP) نسبت به زمان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، پس از حدود ۱۳۰۰ ثانیه دانسیته جریان به حالت پایدار رسیده است. افت دانسیته جریان پیش از شروع سایش مربوط به تشکیل فیلم های سطحی و افزایش مقاومت به خوردگی پوشش ها است. در حین سایش دانسیته جریان افزایش پیدا کرده که در اثر حذف فیلم های سطحی و روئین (در مورد پوشش نیکل-فسفر) از روی سطح می باشد.

در مجموع تغییرات ایجاد شده در حین سایش نسبت به زمان پیش از سایش برای هر دو پوشش مشابه می باشد. می توان مشاهده کرد که پس از اتمام فرآیند سایش، دانسیته جریان مجدداً کاهش می یابد. تغییرات ضریب اصطکاک در حین سایش تحت پتانسیل های آندی و کاتدی در شکل ۷ آمده است. پوشش نیکل-بور ضریب اصطکاک کمتری را در مقایسه با نیکل-فسفر نشان داده است. در مورد پوشش نیکل-فسفر مقدار ضریب اصطکاک تحت شرایط کاتدی بیشتر از شرایط آندی بوده که این اثر را می توان به حضور محصولات خوردگی اکسیدی و فسفاتی بر روی سطح نسبت داد. مقادیر کاهش حجم نمونه ها پس از آزمون تریبو خوردگی در جدول ۳ آمده است. با توجه به داده های جدول ۳، حجم کاهش یافته پس از آزمون تریبو خوردگی برای پوشش نیکل-فسفر تحت پتانسیل های آندی به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از شرایط کاتدی بوده است که این امر نشان دهنده تاثیر زیاد محیط خوردنده بر رفتار تریبو خوردگی پوشش ها می باشد. در حالی که برای پوشش نیکل-بور تاثیر قابل توجهی از اعمال پتانسیل آندی در مقایسه با پتانسیل کاتدی مشاهده نمی شود. این رفتار دو گانه پوشش ها را می توان به طبیعت و خواص سطحی فیلم های سطحی تشکیل شده بر روی پوشش نسبت داد. در مورد پوشش نیکل-فسفر تحت شرایط آندی یک فیلم فسفاتی بر روی سطح تشکیل می شود. که تحت سایش حذف شده و مجدداً ترمیم می گردد. این فرآیند به طور متناوب موجب حذف بیشتر لایه

های سطحی می گردد. از آنجایی که در مورد پوشش نیکل-بور چنین رفتاری مشاهده نمی شود و به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از طبیعت سطحی این پوششها، نیاز به مطالعه بیشتر در آینده احساس می گردد.

### نتیجه گیری

پوشش های آمورف الکترولس نیکل-فسفر و نیکل-بور بر روی زیر لایه های فولادی ایجاد شده و خواص خوردگی، سایشی و تریبوخوردگی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. منحنی های پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک پوشش نیکل-فسفر نشان دهنده وجود رفتاری مشابه رفتار روئین بود. در حالیکه، پوشش نیکل-بور کاملاً فعال رفتار کرده است. تغییرات ضریب اصطکاک برای پوشش نیکل-فسفر در طول سایش قابل ملاحظه بوده که نشان دهنده تشکیل و کنده شدن فیلم های سطحی و تجمع آنها بر روی سطح می باشد. همچنین رفتار تریبوخوردگی پوششها نشان دهنده تأثیر قابل توجه خوردگی بر سایش در مورد پوشش های نیکل-فسفر در مقایسه با پوششهای نیکل-بور بوده است.

### مراجع

- [۱] Riedel, W., ۱۹۸۹. *Electroless Nickel Plating*, Finishing Publications Ltd. England.
- [۲] Çakır, A. F., ۲۰۰۱ Akımsız Nikel Kaplamalar ve Uygulamaları, *Yüzey İşlemler*, ۹۸, pp. ۷۶-۸۳.
- [۳] Barnstead, M. and Morcos, B., (۲۰۱۰). Electroless Nickel Plating, *Products Finishing Directory*, MacDermid, Inc. CT, USA. Retrieved November ۱۶, ۲۰۱۱, from <http://www.pfonline.com/articles/pfdbarnstead۰۱.html>.
- [۴] Bellemare, R. and Vignati, P., (۲۰۰۰). Electroless Nickel: Deposit Properties, Specifications and Applications, *Products Finishing Directory*, OMG Fidelity, Inc., New Jersey, USA. Retrieved November ۱۳, ۲۰۱۱, from <http://www.pfonline.com/articles/pfd۰۰۲۴.html>.
- [۵] Sisti, M. And Ruffini, A., (۲۰۰۵). Electroless Nickel: Technology, Properties and Applications, *Products Finishing Directory*, [Sirius Technology, Inc.](http://www.pfonline.com/articles/pfd۰۵۰۷.html), Oriskany, NY, USA. Retrieved December ۱۱, ۲۰۰۹, from <http://www.pfonline.com/articles/pfd۰۵۰۷.html>.
- [۶] Baudrand, D. W., ۱۹۹۴. Electroless Nickel Plating, *ASM Metals Handbook*, ۵, pp. ۴۴۲-۴۴۹.
- [۷] Mallory, G. O. And Hadju J. B., ۱۹۹۰. *Electroless plating: Fundamentals and applications*, American Electroplaters and Surface Finishers Society, New York, USA.
- [۸] Yoon, J. W., Park, J. H., Shur, C. C., Jung, S. B., (۲۰۰۷). Characteristic evaluation of electroless nickel-phosphorus deposits with different phosphorus contents, *Microelectronic Engineering* ۸۴, ۲۵۵۲-۲۵۵۷.
- [۹] Narayanan, S., Krishnaveni, K., Seshadri, S. K., (۲۰۰۳). Electroless Ni-P/Ni-B duplex coatings: preparation and evaluation of microhardness, wear and corrosion resistance, *Materials Chemistry and Physics* ۸۲, ۷۷۱-۷۷۹
- [۱۰] Diegle, RB, et al., (۱۹۸۸). Corrosion, Electrochemistry, and Catalysis of Metallic Glasses, *J. Electrochem. Soc* ۱۳۵, ۱۰۸۵-۱۰۹۵.
- [۱۱] Yi, Y., Eom, S., Kim, H., Kim, J., Nickel boride (NiB) as an inhibitor for an IGSCC of Alloy ۶۰۰ and its applicability, *Journal of Nuclear Materials* ۳۴۷ (۲۰۰۵) ۱۵۱-۱۶۰

جدول ۱: نتایج حاصل از آزمون سایش

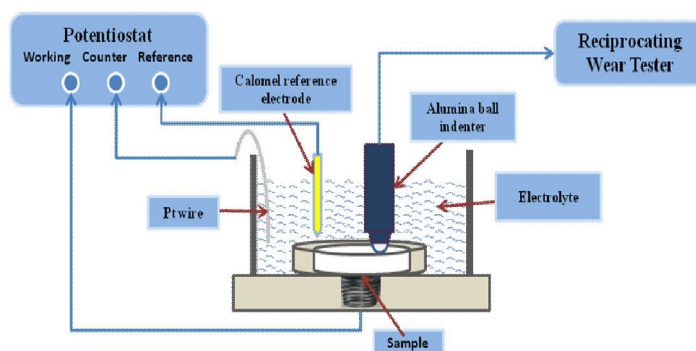
R <sub>a</sub> (nm)	حجم کاهش یافته(%)	عمق شیار سایشی(μm)	پوشش
۲۷۸	۲/۹	۰/۱۹	نیکل-فسفر
۲۲۰	۱۱/۸	۰/۲۸	نیکل-بور

جدول ۲: اطلاعات خوردگی به دست آمده از نمودارهای پلاریزاسیون پتانسیودینامیک

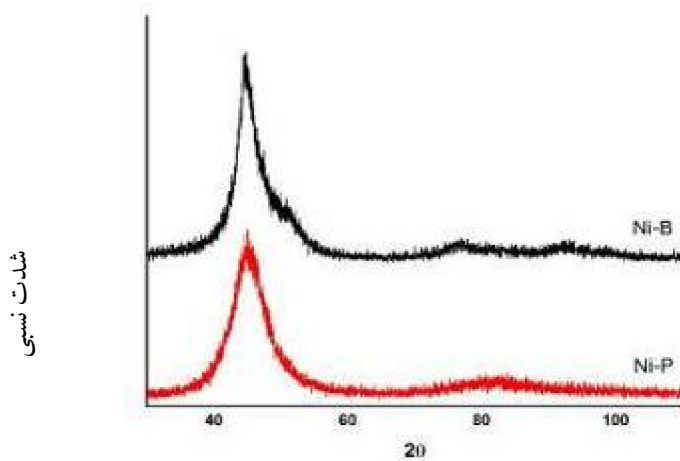
E corr (mV) vs. SCE	i corr (uA)	I corr (uA)	Rp(Ω)	نمونه
-۳۶۸	۱/۰۳	۸/۲۴۲	۲۶۳۷	نیکل-فسفر
-۲۱۵	۰/۵۷	۴/۵۶	۴۷۶	نیکل-بور

جدول ۳-حجم کاهش یافته نمونه ها پس از انجام آزمون تریبو خوردگی

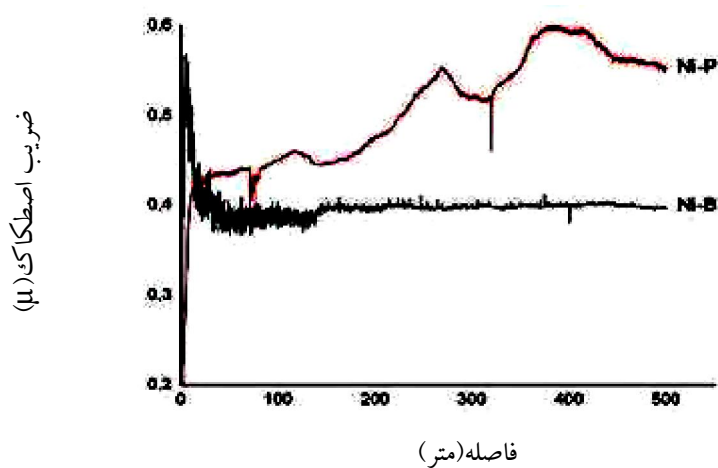
حجم کاهش یافته در پتانسیل های کاتدی (μm <sup>۳</sup> )	حجم کاهش یافته در پتانسیل های آنودی (μm <sup>۳</sup> )	نمونه
۱x10 <sup>۵</sup>	۳x10 <sup>۴</sup>	نیکل-فسفر
۵.۸x10 <sup>۴</sup>	۵.۶x10 <sup>۴</sup>	نیکل-بور



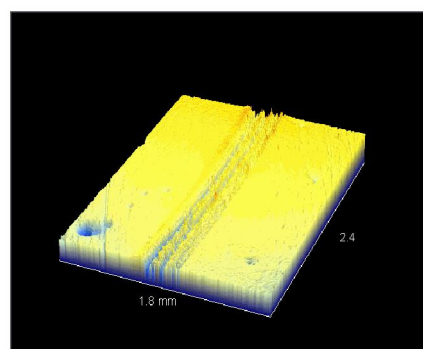
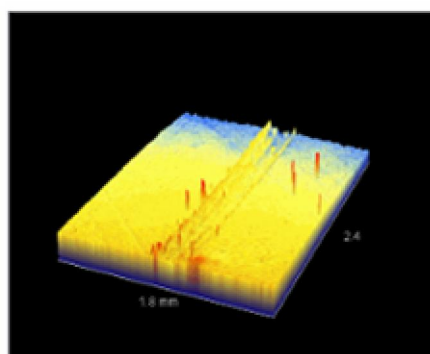
شکل ۱- شمایی از تجهیز مورد استفاده جهت انجام آزمون های تریبو خوردگی.



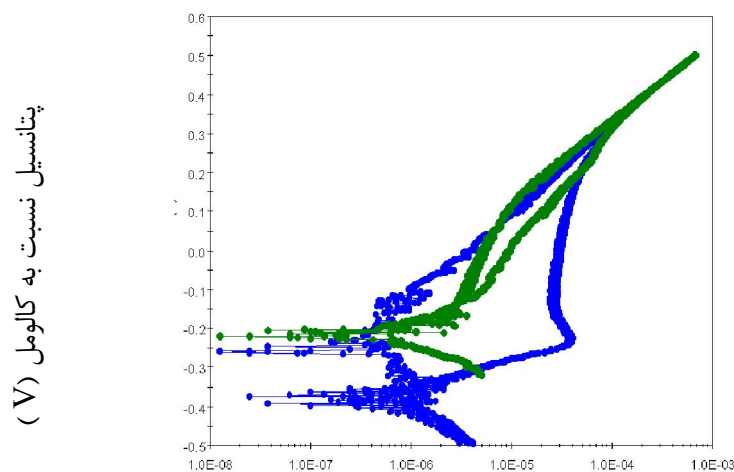
شکل ۲- الگوی پراش پرتو ایکس پوشش ها.



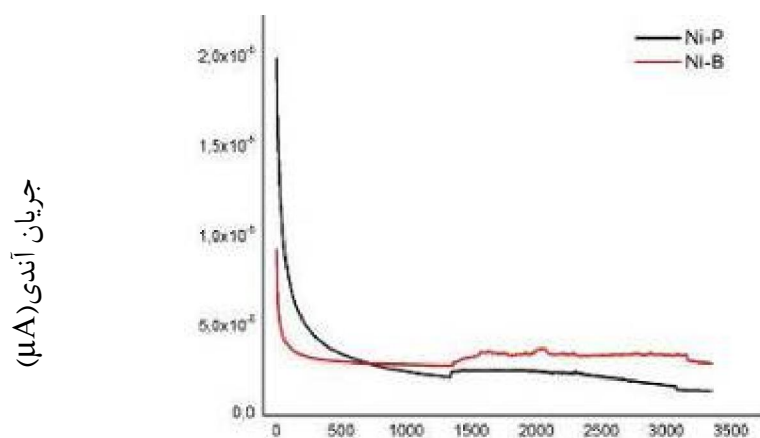
شکل ۳- تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت لغزش.



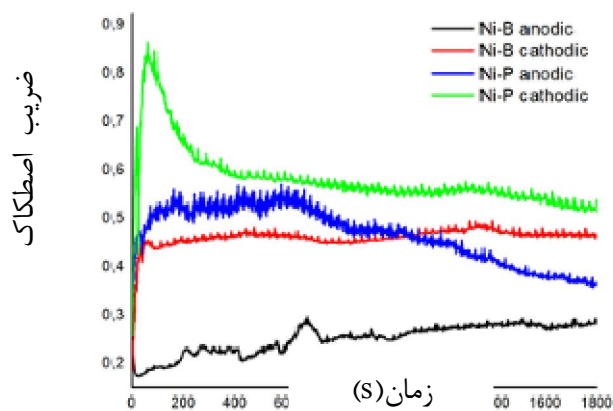
شکل ۴- تصاویر سه بعدی حاصل از پروفیلومتری نوری در محل شیار سایشی پوشش نیکل-فسفر (تصویر سمت چپ) و پوشش نیکل-بور (تصویر سمت راست).



شکل ۵- نمودار های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش های نیکل- فسفر (منحنی آبی) و نیکل-بور (منحنی سبز).  
 جریان (A/cm<sup>2</sup>)



شکل ۶- تغییرات جریان آندی طی آزمون تریبو خوردگی پتانسیل آندی.  
 زمان (s)



شکل ۷- تغییرات ضریب اصطکاک طی آزمون تریبو خوردگی.