نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
سال ششم / شماره بیستم / بهار ۱۳۹۸
6th Year / No. 20 / June 2019

# استفاده از نانو تکنولوژی در جلوگیری از خوردگی انواع لوله‌ها و تجهیزات فلزی سد شهید عباسپور

رامین یوسفی*[۱]

محمدرضا محمودیان[۲]

## چکیده

در این کار تحقیقی که برگرفته از یک طرح از طرف سد شهید عباسپور واقع در استان خوزستان می‌باشد، از فناوری نانو برای ارتقاء رنگ اپوکسی مورداستفاده در رنگ‌آمیزی لوله‌های سد استفاده‌شده است. نانو ذرات اکسید تیتانیم آلاییده شده با قلع و سپس عامل‌دار شده با پلی‌پیرول به شکل فیزیکی به رنگ مورداستفاده در سد با درصدهای مختلف وزنی از ۰/۱ تا ۱ درصد وزنی اضافه شد و مشاهده شد که اگر به میزان ۰/۵ درصد وزنی از نانو ذرات در رنگ استفاده شود، مقاومت رنگ در مقابل خوردگی به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. برای انجام آزمایش‌های انجام‌شده از تمامی مواد بکار رفته در سد ازجمله لوله، رنگ و آب عبوری از لوله‌ها و نفوذی از دیواره‌های سد استفاده شد. برای انجام آزمون خوردگی از یک روش الکتروشیمیایی استفاده شد که یکی از الکترودهای آن تکه‌های لوله‌های بکار رفته در سد بود که توسط رنگ معمولی و رنگ ارتقاءیافته با نانو ذرات رنگ‌آمیزی شده بودند. در ضمن برای الکترولیت بکار رفته در سل طراحی‌شده نیز نمونه‌های مختلف آب که از نقاط مختلف سد برداشته‌شده بود، استفاده شد.

## واژه‌های کلیدی

نانو فناوری، خوردگی، نانو ذرات اکسید تیتانیوم، پلی‌پیرول

*[۱]. دانشیار، [۱] گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان، مسجدسلیمان، ایران، Yousefi.ramin@gmail.com
[۲]. استادیار، [۲] گروه شیمی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران، m_r_mahmoudian@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۱۴

**مقدمه**

عوامل محیطی مهم‌ترین دلیل خوردگی در یراق‌آلات لوازم انتقال آب در یک سیستم انتقال آب است. درواقع، خوردگی یک میل طبیعی برای فلزات احیاء شده، جهت بازگشت به ترکیبات پیش از احیاء است. به دلیل افزایش بهره‌وری و تأثیر مستقیم آن بر روی کاهش هزینه‌های زیرساخت‌های صنعتی و شهری، در سال‌های اخیر توجه زیادی به مبحث خوردگی و اثرات مخرب آن شده است. تحقیقات اخیر در کشورهای صنعتی نشان می‌دهد که ۲۰ درصد درآمد ناخالص ملی صرف بازسازی و رفع مشکلات ناشی از خوردگی صنعتی می‌شود. اثرات خوردگی در زیرساخت‌های شهری نه‌تنها هزینه‌های مادی بالایی را ایجاد می‌کند، بلکه اثرات آن در تغییر کیفیت آب سبب ایجاد انواع بیماری‌های مختلف برای مصرف‌کننده‌ها می‌شود. نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که بر اثر خوردگی لوله‌های فلزی آب‌های آشامیدنی، درصدی از فلزات سنگین یا اکسید آن‌ها وارد آب‌های آشامیدنی می‌شود؛ بنابراین با کاهش میزان خوردگی در صنایع آب و فاضلاب نه‌تنها می‌توان از هزینه‌های اضافی جلوگیری کرد بلکه می‌تواند تأثیر زیادی در سلامتی جامعه داشته باشد و از طرف دیگر توجه به خوردگی و کاهش آن می‌تواند اثرات مثبتی بر روی شاخص‌های بهره‌وری کشور نیز داشته باشد. در این طرح، هدف ارائه و معرفی نانو ذرات در ارتقاء کیفیت رنگ‌های بکار رفته در تجهیزات فلزی سد شهید عباسپور برای افزایش مقاومت یراق‌آلات در مقابل خوردگی حاصل از رطوبت آب است.

سد شهید عباسپور یا سد کارون ۱ یکی از بزرگ‌ترین سدهای ایران است که بر روی رودخانه کارون در جنوب غربی ایران احداث شده‌است. این سد، در استان خوزستان و در ۵۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان مسجدسلیمان، واقع‌شده است. سد کارون ۱ بتونی دو قوسی بوده و ارتفاع تاج سد از پی، ۱۸۸ متر و طول تاج آن ۳۸۵ متر است. به علت قرار گرفتن سد در بین کوه‌های آهکی، آبی که از بدنه سد نفوذ می‌کند بر روی لوله‌های انتقال آب درون سد چکه کرده و باعث تخریب رنگ که اپوکسی تقویت‌شده با روی[۱] می‌شود و سپس خوردگی سطح لوله می‌شود. از طرفی میزان رطوبت درون سد باعث خوردگی باقی‌مانده یراق‌آلات بکار رفته درون بدنه سد می‌شود.

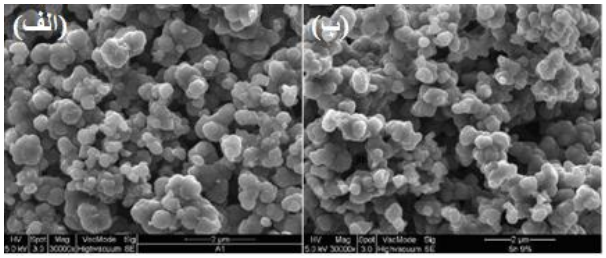
نانوتکنولوژی یکی از علومی است که برای موضوع خوردگی راحل بسیار مؤثری را ارائه داده است (ساجی و کوک[۲] ۲۰۱۴). به‌طوری‌که نانو ذرات اکسید فلزی همچون اکسید تیتانیم عامل دار شده با پلیمر رسانای پلی‌پیرول[۳] (ppy) با اضافه شدن به رنگ‌های صنعتی همچون اپوکسی‌ها قادر است مقاومت این رنگ‌ها را در مقابل خوردگی ارتقاء دهد (حسینی[۴] و همکاران ۲۰۱۷، لادن[۵] و همکاران ۲۰۱۷، فورگرن[۶] و همکاران ۲۰۰۶، محمودیان[۷] و همکاران ۲۰۱۱، میتری[۸] و همکاران ۲۰۱۸، نابید[۹] و همکاران ۲۰۰۸ و یووراج[۱۰] و همکاران ۲۰۰۸). لذا در این تحقیق، رنگ‌های بکار رفته در سد شهید عباسپور توسط نانو ذرات اکسید تیتانیم آلاییده شده با قلع و سپس عامل دار شده با پلی پایرول، ارتقاءیافته و مقاومت رنگ در برابر خوردگی افزایش‌یافته است. درواقع پلی پایرول مانند یک پوسته اطراف نانو ذرات را احاطه می‌کند. نانو ذرات با یک روش شیمیایی بسیار ساده سنتز شدند و به شکل فیزیکی با درصدهای مختلف وزنی از ۰/۱ تا ۱ درصد به رنگ بکار رفته در سد افزوده می‌شوند. بر اساس آزمایش‌های الکتروشیمیایی انجام‌شده، مشاهده خواهد شد که میزان آلایش نانو ذرات با قلع چگونه کیفیت رنگ در مقابل خوردگی را افزایش می‌دهد.

**سنتز و شناسایی نانو ذرات**

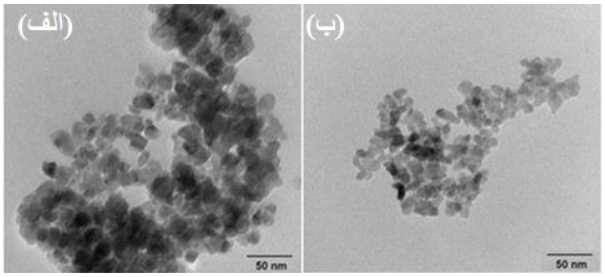
برای سنتز نانو ذرات اکسید تیتانیم ($TiO_2$) خالص و آلاییده شده با قلع و سپس عامل دار شده با پلی پایرول (ppy) از یک روش سل-ژل استفاده شد (کارتیک و همکاران ۲۰۱۰). از

۱. Zinc rich
۲. Saji and Cook
۳. Polypyrrole (ppy)
۴. Hossaini
۵. Ladan
۶. Forsgren
۷. Mahmoudian
۸. Mytreyi
۹. Nabid
۱۰. Yuvraj

میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی[۱] (SEM) و عبوری[۲] (TEM) برای مشاهده این نانو ذرات استفاده شد که نتایج این عکس‌برداری‌ها در شکل‌های (۱) و (۲) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نانو ذرات سنتز شده دارای ابعادی با اندازه متوسط در حدود ۱۰ نانومتر هستند و در ضمن آلایش با قلع نیز این اندازه را کوچک‌تر نیز کرده است. علت کوچک شدن اندازه ذرات به‌واسطه آلایش با قلع، این است که قلع به‌عنوان یک عامل بازدارنده رشد عمل کرده و از بزرگ شدن ذرات جلوگیری می‌کند. این موضوع در مورد آلایش نانو ذرات بسیار مرسوم است و در نانو ذرات دیگر نیز مشاهده‌شده است (یوسفی[۳] و همکاران ۲۰۱۸).




**شکل (۱): عکس میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نانو ذرات اکسید تیتانیم (الف) خالص و (ب) آلاییده شده با قلع.**




**شکل (۲): عکس میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانو ذرات اکسید تیتانیم (الف) خالص و (ب) آلاییده شده با قلع.**

پس از سنتز نانو ذرات، این نانو ذرات با نسبت وزنی مختلف از ۰/۱ تا ۱ درصد به هر رنگ اپوکسی بکار رفته در سد افزوده شد و مطابق شکل در محل سد، تکه‌های لوله توسط رنگ‌های ارتقاءیافته و معمولی رنگ‌آمیزی شدند. در ضمن برای بررسی اثر میزان آلایش قلع بکار رفته بر روی نتیجه خوردگی، تکه‌های دیگری با رنگ‌هایی که دارای میزان متفاوت قلع در نانو ذرات بودند، رنگ‌آمیزی شدند. برای اطمینان خاطر از اینکه، این فرآیند بسیار ساده انجام می‌شود، این عملیات توسط کارشناس رنگ سد مطابق شکل (۳) انجام شد. در ضمن علاوه بر رنگ‌آمیزی قطعات لوله، نمونه آب از نقاط مختلف سد شهید عباسپور که بر روی لوله‌ها می‌ریخت نیز مطابق شکل (۴) جمع‌آوری شد تا به‌عنوان محلول الکترولیت در سلول محاسبه خوردگی در آزمایشگاه بکار رود.

**شکل (۳) نحوه رنگ‌آمیزی تکه‌های لوله بکار رفته در بدنه سد با رنگ‌های معمولی بکار رفته در سد و رنگ ارتقاءیافته توسط نانو ذرات اکسید تیتانیم.**

**شکل (۴) محل نمونه‌برداری آب از بدنه سد شهید عباسپور و مشاهده خوردگی لوله‌های بکار رفته در بدنه سد به‌واسطه و ریختن آب از بدنه سطح بر روی لوله‌ها.**

۱. Scanning Electron Microscope (SEM).
۲. Transmission Electron Microscope (TEM).
۳. Yousefi.

## آزمایش و سلول خوردگی

در فاز اول با استفاده از روش امپیدانس اسپکتروسکوپی[۱] (EIS) نمونه‌ها برای دو ماه مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور از یک دستگاه اتولب ساخت کشور هلند استفاده شد. از مشخصه-های روش امپیدانس می‌توان به این موضوع اشاره کرد که آزمایش سلول با استفاده ازاین‌روش منجر به تخریب سطح نمونه نمی‌شود؛ بنابراین می‌توان ازاین‌روش برای انجام آزمایش‌های خوردگی در طول یک دوره‌ی زمانی استفاده کرد و نتایجی نظیر زمان شروع تخریب و سرعت رشد خوردگی را بدست آورد. برای این منظور سلولی که در شکل (۵) آمده است در آزمایشگاه طراحی شد.

امپدانس الکتریکی یا به‌طور ساده امپدانس، میزان مقاومت در برابر جریان متناوب سینوسی را توصیف می‌کند. در جریان مستقیم تفاوتی بین مقاومت و امپدانس نیست چراکه می‌شود مقاومت را به‌عنوان امپدانس با فاز صفر درجه تصور کرد. واربرگ اولین کسی بود که مفهوم امپدانس را به سیستم‌های الکتروشیمیایی توسعه داد. اصول عملکرد این روش، بر اساس اندازه‌گیری امپدانس جریان متناوب در دامنه‌ای از فرکانس است. به دلیل توسعه دستگاه‌های کاربردی در این روش و قابلیت دست یابی به اطلاعات اضافی در مورد عملکرد سلول الکتروشیمیایی، استفاده از این روش رو به گسترش است.

**شکل (۵): سل طراحی‌شده با لوله‌های رنگ‌آمیزی شده با رنگ‌های بکار رفته در سد و آب جمع‌آوری‌شده از دیواره سد که به‌عنوان الکترولیت بکار رفته است.**

این روش شامل اعمال پتانسیل کوچک متغیر با زمان، اندازه‌گیری چگالی جریان تبادلی، تعیین امپدانس سیستم و زاویه فاز امپدانس است. درواقع در آنالیز EIS، امپدانس سیستم (Z)، زاویه فاز بین امپدانس و پتانسیل اعمالی، به‌صورت تابعی از فرکانس اعمالی تعیین می‌شوند. به‌طورکلی دو جزء مختلف در امپدانس دخیل است. اولین جزء ناشی از حضور مقاومت‌ها در مدار بوده و تنها مقدار موج متناوب را تغییر می‌دهد. این جزء با نام جزء حقیقی (Z') شناخته می‌شود. جزء دوم از سایر اجزای مدار مانند خازن و خودالقاء ناشی می‌شود. این جزء را جزء موهومی (Z'') می‌نامند. امپدانس موهومی علاوه بر مقدار موج متناوب، فاز آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. واکنش‌های الکتروشیمیایی در سطح مشترک الکترود-الکترولیت را نمی‌توان با استفاده از اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی قدیمی، به‌طور کامل درک نمود. آن روش‌ها تنها جریان‌های فارادی و غیرفارادی را نشان می‌دهند. توصیف کامل این واکنش‌ها، نیاز به اندازه‌گیری‌های امپدانس در محدوده وسیعی از فرکانس و پتانسیل‌های مختلف و نیز سنجش همه مشخصه‌های الکتریکی سطح بستگی دارد. درواقع، امپدانس اسپکتروسکوپی الکتروشیمیایی، ابزاری نیرومند برای توصیف سیستم‌های الکتروشیمیایی مختلف است.

## نتایج و بحث

بعد از خشک شدن قطعات هر قطعه به‌عنوان الکترود کار[۲] در آزمایش‌های تعین اثربخشی نانو افزودنی برای کاهش خوردگی با استفاده از روش امپدانس اسپکتروسکوپی مورداستفاده قرار گرفتند. از الکترود کالومل[۳] به‌عنوان الکترود مرجع[۴] و یک

۱. Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).
۲. Working electrode.
۳. Calomel electrode.
۴. Reference electrode.

الکترود گرافیتی به‌عنوان الکترود شمارنده[۱] مورداستفاده قرار گرفت. از نمونه‌های آب گرفته‌شده از سد به‌عنوان الکترولیت استفاده شد. بدین شکل برای هر نمونه ۲ سلول درست شد، یک سلول با نمونه رتگ‌آمیزی شده با اپوکسی معمولی و دیگری نمونه رنگ‌آمیزی شده با اپوکسی ارتقاءیافته با نانو ذرات تشکیل شدند.

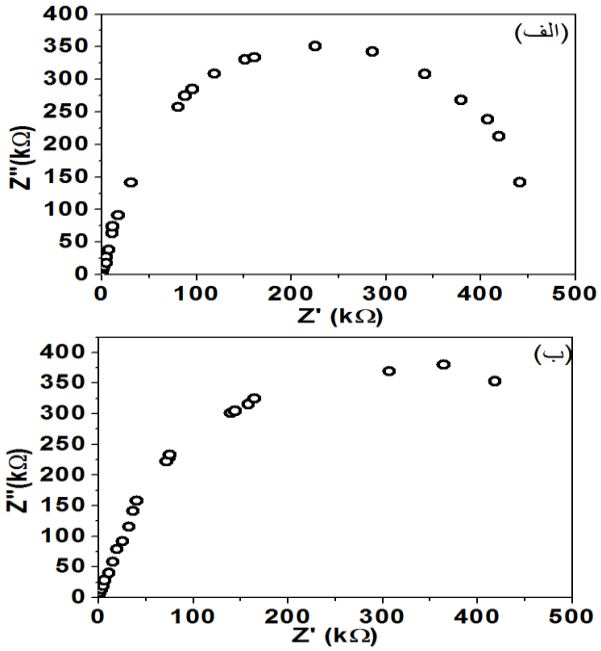
در ادامه نتایج طیف‌سنجی امپدانس برای نمونه‌ها معرفی می‌گردد. طیف‌سنجی بر اساس روش نیکویست[۲] (NY) (ساکو[۳] ۲۰۱۷) صورت گرفته است.

نتایج پس از ۲۱، ۳۱، ۴۱، ۵۱ و ۶۰ روز جمع‌آوری شدند. برای هر نمونه در طول ۶۰ روز حداقل ۲۵ طیف بدست آمده که جزییات فراوانی را در رابطه با اثربخشی نانو افزودنی فراهم نموده است. هر نمودار دو فاکتور اساسی که شامل قسمت حقیقی ($Z'$) و موهومی امپدانس ($Z''$) می‌باشند را ارائه می‌دهد. از لحاظ کاربردی مقاومت حقیقی نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند، چراکه اثربخشی نانو افزودنی در کنترل خوردگی در این فاکتور خودنمایی می‌کند. در این مقاله تنها نتایج آزمایش ۲۱ روز اول و ۶۰ روز ارائه‌شده است. علاوه بر این تنها خورنده‌ترین نمونه آب موردبررسی قرارگرفته است. ازاین‌رو، پس از بررسی نتایج مشاهده شد که افزودنی نانو ذرات به میزان ۰/۵ درصد بهترین نتیجه را ارائه داد.

شکل‌های (۶) و (۷) نتایج اندازه‌گیری امپدانس نشان می‌دهند. با مقایسه شکل (۶) و (۷) می‌توان مشاهده کرد که چگونه افزودن نانو ذرات به میزان ۰/۵ درصد به اپوکسی آستر پس از ۲۱ و ۶۰ روز باعث افزایش $Z'$ از ۲۵۰ کیلو اهم به ۴۰۰ کیلو اهم شده است.

لازم به ذکر است از روند تغییرات $Z'$ برای نمونه‌های پوشش داده‌شده با نانو ذرات و غوطه‌ور شده در آب در روزهای مختلف، می‌توان مشاهده کرد که با کاهش و افزایش $Z'$ مواجه هستیم. این موضوع به علت تخریب (کاهش $Z'$) و سپس پر شدن محل تخریب (افزایش $Z'$ که به علت پر شدن حفره‌ها است) است. درواقع می‌توان گفت، به علت فعال شدن نانو ذرات و ایجاد لایه اکسید محافظ بر روی سطح فلز و محل حفره‌ها $Z'$ افزایش می‌یابد. درواقع، نتایج نشان می‌دهند که نانو ذرات باعث یک خودترمیم‌شوندگی در محل خوردگی می‌شوند.

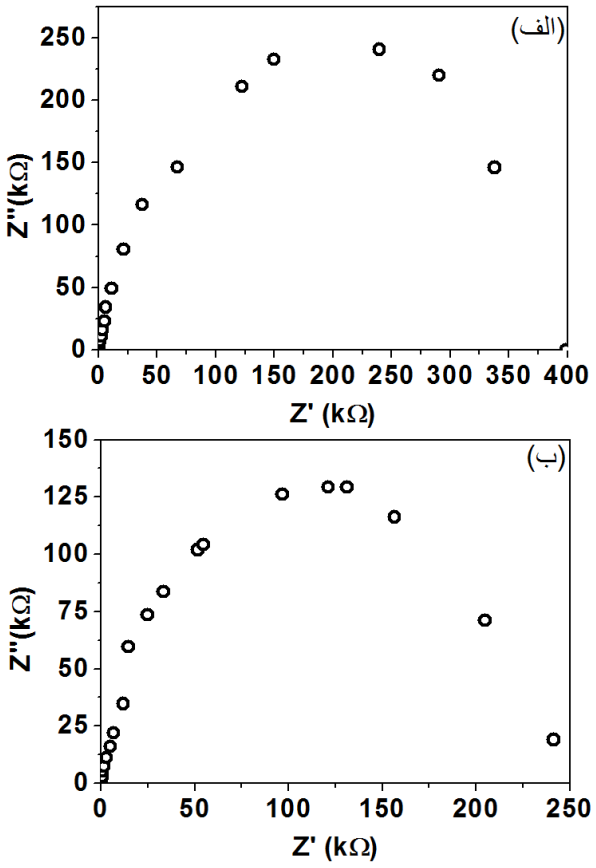
برای بررسی تأثیر غلظت نانو افزودنی، غلظت ۱ درصد نیز امتحان شد و نتیجه آن در شکل (۸) آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، افزایش نانو افزودنی کیفیت اپوکسی را پس از ۶۰ روز کاهش داده و مقاومت کم شده است. درواقع افزایش غلظت باعث غیریکنواختی لایه بر روی نمونه شده و این موضوع باعث تبادل الکترون بین نمونه و الکترولیت می‌شود. هرچند می‌توان مشاهده کرد که افزایش غلظت تا ۱ درصد هنوز از اپوکسی بدون نانوذره مقاومت بهتری دارد ولی نسبت به ۰/۵ درصد بهبود ارتقاء اپوکسی مشهود است.



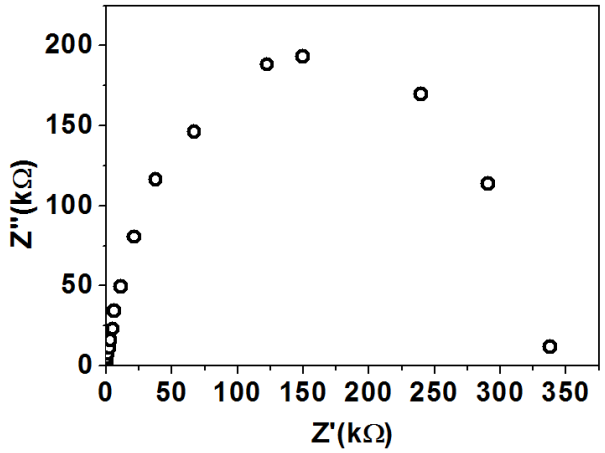

**شکل (۶): نمودار NY قطعه پوشش شده با اپوکسی (الف) ارتقاءیافته و (ب) معمولی به‌عنوان آستر و اپوکسی Zinc rich به‌عنوان رویه بعد از ۲۱ روز غوطه‌وری در نمونه آب ۱.**

۱.Counter electrode
۲.Nyquist (NY)
۳.Sacco

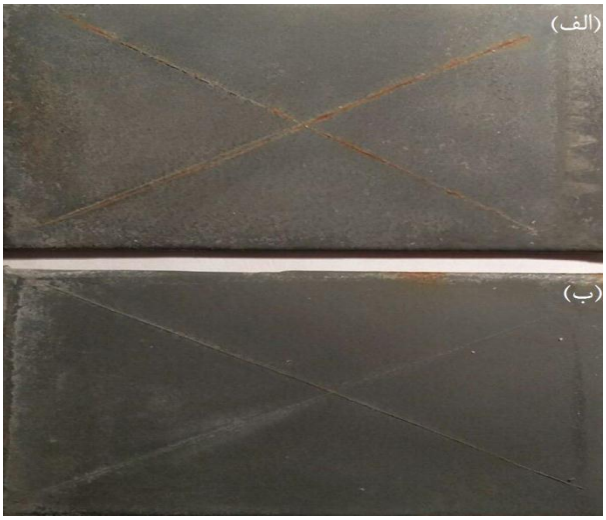
علاوه بر آزمایش‌های EIS، آزمایش عملی بر روی نمونه‌ها نیز انجام شد. برای این منظور، دو نمونه با پوشش معمولی و پوشش ارتقاءیافته با نانو ذرات رنگ زده شد و سپس این دو نمونه به مدت ۵۰۰ ساعت با خورنده‌ترین نمونه آب جمع‌آوری‌شده از سد، اسپری شدند و نتیجه این آزمون عملی در شکل (۹) آمده است. همان‌طور که در این عکس مشاهده می‌شود، می‌توان ارتقاء پوشش همراه با نانو ذرات در مقابل خوردگی را مشاهده کرد. نتایج به‌خوبی نشان می‌دهند که افزودن نانو افزودنی به اپوکسی مقاومت پوشش را در مقابل خوردگی افزایش داده است.




**شکل (۷): نمودار NY قطعه پوشش شده با اپوکسی (الف) ارتقاءیافته و (ب) معمولی به‌عنوان آستر و اپوکسی Zinc rich به‌عنوان رویه بعد از ۶۰ روز غوطه‌وری در نمونه آب ۱.**




**شکل (۸): نمودار NY قطعه پوشش شده با اپوکسی ارتقاءیافته با ۱ درصد نانوذره در آستر و اپوکسی Zinc rich به‌عنوان رویه بعد از ۶۰ روز غوطه‌وری در نمونه آب.**




**شکل (۹): آزمون پاشش به مدت ۵۰۰ ساعت توسط آب جمع‌آوری‌شده از خورنده‌ترین قسمت سد بر روی دوتکه لوله هم‌جنس در مدت ۶۰ روز که (الف) بارنگ معمولی و (ب) با رنگ ارتقاء یافته رنگ‌آمیزی شده است.**

علت نتایج فوق را می‌توان بر اساس دلایل زیر تفسیر نمود. ساختار نانو افزودنی Sn-doped $TiO_2$/ppy شامل دو قسمت Sn-doped $TiO_2$ و ppy است. نانو ذرات Sn-doped $TiO_2$ دو نقش اساسی در کنترل خوردگی دارند.

از طرفی نقش ppy در این کامپوزیت برای کنترل خوردگی نقش بسیار اساسی دارد. درواقع الکترواکتیو پلیمرها بر اساس مکانیسم‌های زیر می‌توانند میزان خوردگی را کنترل کنند.

- ppy به‌عنوان یک سد عمل کرده و می‌تواند از دسترسی $O_2$ و $H_2O$ به سطح فلز جلوگیری کند.
- ppy پس از سنتز دارای بار مثبت بوده و درنتیجه می‌تواند یک‌لایه اکسیدی فشرده بر روی سطح فلز ایجاد کند و سبب محافظت سطح فلز شود.
- این مواد توانایی دارند با یون‌های آزاد موجود در محلول مانند $Cl^-$، $PO_4^{3-}$ و $CO_3^{2-}$ که در آنالیز نمونه آب سد مشاهده شدند و مهم‌ترین عامل خوردگی هستند، واکنش داده و یا به‌عبارت‌دیگر با یک جاذبه الکترواستاتیکی جذب سطحی کنند.
- در ضمن نانو ذرات اکسید تیتانیم دارای شکاف انرژی بزرگی می‌باشند که این امر باعث جلوگیری انتقال الکترون بین فلز و الکترولیت می‌شود و از زنگ‌زدگی جلوگیری می‌کند.

در کل، نتایج حاصل از این تحقیق به‌خوبی نشان می‌دهد که وجود ۰/۵ درصد وزنی از نانو افزودنی به اپوکسی Zinc rich به‌خوبی می‌تواند توانایی پوشش را در کاستن خوردگی ارتقاء دهد.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق نانو ذرات اکسید تیتانیم آلاییده شده با درصدهای مختلف قلع و عامل‌دار شده با پلی‌انیلین به رنگ اپوکسی بکار برده شده در سد شهید عباسپور به شکل فیزیکی با درصدهای وزنی مختلف افزوده شد. آزمایش‌های امپدانس اسپکترسکوپی نشان داد که این افزودنی نانویی به رنگ، مقاومت رنگ را در مقابل خوردگی به‌شدت افزایش داد. هرچند افزایش نانو افزودنی یک مقدار بهینه‌ای دارد که بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده این مقدار بهینه ۰/۵٪ وزنی است. نتیجه این طرح برای تمامی سدهای استان خوزستان و حتی کشور نیز قابل‌استفاده است.

## تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت سد شهید عباسپور بر اساس قراردادی پژوهشی با شماره ۹۵۰۲۵ که با دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان منعقد شده بود، انجام‌شده است. کلیه هزینه‌های تحقیق توسط سد شهید عباسپور پرداخت شده است و کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی نانو ساختارهای دانشگاه آزاد مسجدسلیمان صورت گرفته است.

## مراجع

1- Forsgren, A. Schweitzer, P.A. (2006) "Corrosion control through organic coatings", *CRC Press, Boca Raton*.
2- Hosseini, M. Fotouhi, L. Ehsani, A. Naseri, M. (2017) "Enhancement of corrosion resistance of polypyrrole using metal oxide nanoparticles: Potentiodynamic and electrochemical impedance spectroscopy study" *J. Colloid. Interf. Sci.* 505, 213-219.
3- Karthik, K. Pandian, S.K. Kumar, K.S. Jaya, N.V. (2010) "Influence of dopant level on structural, optical and magnetic properties of Co-doped anatase $TiO_2$ nanoparticles" *Appl. Surf. Sci.* 256, 4757–4760.
4- Ladan. M. Basirun, W.J. Kazi, S.M. Abdul Rahman, F. (2017) "Corrosion protection of AISI 1018 steel using Co-doped $TiO_2$/polypyrrole nanocomposites in 3.5% NaCl solution" *Mater. Chem. Phys*. 192, 361-373.
5-Mahmoudian, M.R. Basirun, W.J. Alias, Y. (2011) "Synthesis and characterization of poly(N-methylpyrrole)/TiO2 composites on steel" *Appl. Surf. Sci.* 257, 3702–3708.
6-Mahmoudian, M.R. Alias, Y. Basirun, W.J. Ebadi, M. (2011) "Poly (N-methyl pyrrole) and its copolymer with o-toluidine electrodeposited on steel in mixture of DBSA and oxalic acid electrolytes" *Cur. Appl. Phys*. 11, 368-375.
7- Mytreyi, S. Murugendrappa, M.V. (2018) "Synthesis, characterization studies of polypyrrole/strontium titanate (nano ceramic) composites" *Mater. Today*.5, 3158-3164.
8- Nabid, M.R. Golbabee, M. Moghaddam, A.B. Dinarvand, R. Sedghi, R. (2008) "Polyaniline/TiO2 Nanocomposite: Enzymatic Synthesis and Electrochemical Properties" *Int. J. Electrochem. Sci*. 3, 1117–1126.
9- Sacco, A. (2017) "Electrochemical impedance spectroscopy: Fundamentals and application in dye-sensitized solar cells", *Renew Sust Energ Rev*. 79, 814-829.
10- Saji, V. Cook, R. (2014) "Corrosion Protection and Control Using Nanomaterials" *Elsevier publisher*, 1st Edition.
11- Yousefi, R. Azimi, H.R. Mahmoudian, M.R. Basirun, W.J. (2018) "The effects of defect emissions on enhancement photocatalytic performance of ZnSe QDs and ZnSe/rGO nanocomposites", *Appl Surf. Sci.* 435, 886-893.
12- Yuvraj, H. Park, E.J. Gal, Y.S. Lim, K.T. (2008) "Synthesis and characterization of polypyrrole–$TiO_2$ nanocomposites in supercritical $CO_2$" *Coll. Surf. A* 313–314, 300–303.

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
6th Year / No. 20 / June 2019

نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال ششم / شماره بیستم / بهار ۱۳۹۸

# The use of Nanotechnology in Preventing Corrosion of Metal Pipe and Equipment of Shahid Abbaspour Dam

Ramin Yousefi[*1]

Mohammad Reza Mahmoudian[2]

**Abstract:**

In this work, a research carried out on a project by Shahid Abbaspour dam in Khuzestan province, the nanotechnology was used to improve the epoxy paint used in staining the dam. Tin-doped titanium oxide nanoparticles, which were polymerized by polypyrrole, were added to the paint used in the dam with various weight percentages of 0.1 to 1% by weight, and it was observed that if 0.5% of nanoparticles in paint are used, the epoxy fastness to corrosion increases significantly. All experimental materials such as pipe, paint, and water from pipes and intrusive walls were used from the dam. An electrochemical method was used to conduct a corrosion test, one of the electrodes of which were pieces of tubes used in the dam, painted with normal epoxy and enhanced epoxy with nanoparticles. Meanwhile, for electrolyte used in tubes, various water samples taken from different points of the dam were used.

**Keywords**:

Nanotechnology, Corrosion, Oxide titanium nanoparticles, Polypyrrole.

[1]. Department of Physics, Masjed-Soleiman Branch, Masjed-Soleiman, Iran, Yousefi.ramin@gmail.com
[2].Department of Chemistry, University of Farhangian, 15916 Tehran, Iran, m_r_mahmoudian@yahoo.com

Received:13/02/2018 Accepted: 05/08/2018