Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Application of Yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticle for the mortar strength and corrosion resistance of rebar inside it: A potential strategy for strengthening water collection systems

Fatemeh Abdi [1]*

1. Associate Professor, Department of Advanced Science, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran. Email: F.Abdi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 05 December 2023
Revised: 24 January 2024
Accepted: 24 January 2024
Published online: 06 June 2024

Keywords:
Electrical impedance, corrosion, structure strength, water conservation.

ABSTRACT

Recently, nanotechnology has received wide applications in environmental health and sustainable water management. Besides, global drinking water shortages lead to the construction of different water collection systems. Therefore, considering that the corrosion of rebar inside concrete structures, especially in areas with acid rain and water structures, is an essential requirement. To this end, in the current research to investigate the effect of nanoparticles on the strength of the mortar and the corrosion resistance of the rebar inside it, Yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticles were used. Yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticles were added to the mortar with one weight percent of the cement weight. The strength of the mortar was investigated by measuring the 7-day and 28-day compressive and bending strengths, and the corrosion resistance of the rebar inside the mortar was checked by measuring the polarization and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) tests in a 3.5% salt solution. The results showed that Y_2O_3 nanoparticles increase the strength of the mortar by increasing the compressive and bending resistances. In addition, the result of the polarization test showed that this nanoparticle increases the corrosion resistance by reducing the corrosion tendency and corrosion rate. By examining the results of the EIS test, the reason for the decrease in the corrosion rate was attributed to the increase in the impedance of the mortar. Finally, conserving the water collection systems or watershed management infrastructures using Y_2O_3 is the suggestion of this research as a new technological-based solution against corrosion conditions.

Citation: Abdi, F. (2024). Application of Yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticle for the mortar strength and corrosion resistance of rebar inside it: A potential strategy for strengthening water collection systems. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), 102-112.
DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

* **Corresponding author:** Fatemeh Abdi
Address: Department of Advanced Science, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.
Tel: 09393406793
Email: F.Abdi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Application of Yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticle for the mortar strength and corrosion resistance of rebar inside it: A potential strategy for strengthening water collection systems

Fatemeh Abdi [*1]

1. Associate Professor, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran. Email: F.Abdi@uma.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Acid rain is composed of acidic water droplets that contain sulfur and nitrogen, which are emitted from vehicles and industrial processes. When these rains reach the ground, they fall on statues and buildings, causing metal corrosion and damage to the structures' facades. This damage is particularly severe in industrial areas and regions with high air pollution, resulting in more acidic rain. Consequently, it is essential to design water structures with improved resistance to acid rain. Today, due to its fire resistance and the availability of raw materials, the use of concrete in the construction of water collection systems has increased. For water applications, the concrete must have high strength; otherwise, the structure may collapse over time due to rebar corrosion. Therefore, using concrete and mortar that protect the inner rebar from corrosion is a fundamental requirement. Considering that when a material loses electrons, corrosion occurs, it is necessary to reduce the tendency and speed of electron loss to prevent metal corrosion. This reduction leads to an increase in electrical impedance. In this article, the impact of yttrium oxide (Y_2O_3) nanoparticles on mortar strength, mortar impedance, and the corrosion protection of rebar within it have been investigated. Since electrical impedance relies on factors such as capacitance and electrical resistance, increasing the electrical impedance of a material requires an increase in its electrical resistance and a decrease in its capacitance. The use of oxide nanoparticles is effective in elevating electrical resistance. Additionally, the lower the dielectric constant of these nanoparticles, the lower the capacitance, resulting in increased electrical impedance and improved corrosion protection.

Methodology: To investigate the impact of Y_2O_3 nanoparticles on mortar strength and protection against rebar corrosion, the aforementioned nanoparticles were added to the mortar at a weight percentage of one percent of the cement weight. The prepared mortar was then placed in a standard three-part mold. For corrosion analysis, rebar was inserted into a section of these molds. After surface smoothing, the samples were subjected to an impact machine to enhance their density. Subsequently, they were placed in a humidity chamber for 24 hours. Finally, the compressive and bending strengths of the prepared samples were measured after 7 and 28 days, following the ASTM C109 standard. To evaluate the corrosion resistance of the rebar within the mortar, polarization and EIS tests were conducted after 28 days of immersing the rebar sample in lime water. These tests were performed in a 3.5% salt solution using a potentiostat device.

Results and Discussion: The results of measuring the compressive and bending strengths demonstrate that the addition of one percent of Y2O3 nanoparticles to the cement mortar improves both the 7-day and 28-day strengths. The enhancement in mortar strength can be attributed to the filling of voids caused by the nanoparticles. Additionally, the presence of nanoparticles acts as nuclei, reinforcing the reaction between water and cement. The results of the polarization test indicate that the incorporation of one percent of nanoparticles in the cement mortar reduces both the corrosion tendency and corrosion rate. The EIS test was utilized to evaluate concrete impedance. The findings of this test reveal that the addition of a small percentage of Y_2O_3 significantly increases the impedance of the concrete, thereby enhancing its corrosion resistance.

Conclusion: To enhance the strength of the mortar and improve the corrosion resistance of the rebar within it, Y_2O_3 nanoparticles were utilized. Strength analysis was conducted by measuring the compressive and bending strengths and comparing the results to the control sample. The findings indicated that the addition of these

[*] **Corresponding author:** Fatemeh Abdi
Address: Department of Enginieering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.
Tel: 09393406793
Email: F.Abdi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

nanoparticles increased the compressive and bending strengths at both 7 and 28 days. Corrosion protection analysis was performed through polarization and EIS tests, revealing that the incorporation of a small amount of these nanoparticles significantly reduced the corrosion rate and tendency. Investigation of the mortar's impedance demonstrated that the increase in impedance, due to the presence of Y_2O_3 nanoparticles, contributed to the decreased corrosion rate. It is therefore practical to establish water collection systems incorporated with Y_2O_3 in developing regions that currently lack green-water infrastructure.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Authors' contribution: Fatemeh Abdi conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Acknowledgment: This work was carried out with the support of the University of Mohaghegh Ardabili.

.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

کاربرد نانوذرات ایتریوم اکسید (Y_2O_3) برای مقاومت ملات و مقاومت در برابر خوردگی میلگرد داخل آن: یک راهبرد بالقوه برای مقاوم‌سازی سامانه‌های جمع‌آوری آب

فاطمه عبدی [۱]*

۱. دانشیار، گروه علوم نوین، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران، F.Abdi@uma.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۴ آذر ۱۴۰۲
بازنگری: ۰۴ بهمن ۱۴۰۲
پذیرش: ۰۴ بهمن ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
امپدانس الکتریکی، خوردگی، استحکام سازه، حفاظت از آب

چکیده

امروزه فن‌آوری نانو کاربرد وسیعی در حفظ سلامت محیط زیست و مدیریت آب دارد. هم‌چنین، کمبود جهانی آب آشامیدنی باعث شده است تا سامانه‌های مختلفی برای جمع‌آوری آب طراحی شود. با توجه به این‌که خوردگی میلگرد درون سازه‌های بتنی به‌ویژه در مناطق با باران اسیدی و سازه‌های دریایی منجر به تخریب سازه می‌شود. افزایش مقاومت به خوردگی میلگرد درون سازه، یک نیاز ضروری است. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، برای بررسی تاثیر نانو ذره بر استحکام ملات و مقاومت به خوردگی میلگرد درون آن، و به‌دلیل پایداری بالای ایتریوم اکسید، از نانو ذرات ایتریوم اکسید استفاده شد. نانو ذرات ایتریوم اکسید (Y_2O_3) با یک درصد وزنی از وزن سیمان به ملات افزوده شدند. استحکام ملات با اندازه‌گیری مقاومت‌های فشاری و خمشی ۷ روزه و ۲۸ روزه و مقاومت به خوردگی میلگرد درون ملات با انجام آزمون‌های پلاریزاسیون و طیف‌سنجی آمپدانس الکتروشیمیایی (EIS) در محلول ۳/۵ درصد نمک بررسی شد. نتایج نشان دادند که نانو ذره Y_2O_3 با افزایش مقاومت‌های فشاری و خمشی سبب افزایش استحکام ملات می‌شود. هم‌چنین نتیجه آزمون پلاریزاسیون نشان داد که این نانو ذره با کاهش تمایل به خوردگی و کاهش سرعت خوردگی سبب افزایش مقاومت دربرابر خوردگی می‌شود. با بررسی نتایج آزمون EIS علت کاهش سرعت خوردگی به افزایش امپدانس ملات نسبت داده شد. در نهایت، حفظ سیستم‌های جمع‌آوری آب یا زیرساخت‌های آبخیزداری با استفاده از Y_2O_3 به‌عنوان یک راه‌حل جدید مبتنی بر فناوری در برابر شرایط خوردگی پیشنهاد این تحقیق است.

استناد: عبدی، فاطمه (۱۴۰۳). کاربرد نانوذرات ایتریوم اکسید (Y_2O_3) برای مقاومت ملات و مقاومت در برابر خوردگی میلگرد داخل آن: یک راهبرد بالقوه برای مقاوم‌سازی سامانه‌های جمع‌آوری آب. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۱)، ۱۰۲-۱۱۲.
DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** فاطمه عبدی
نشانی: گروه علوم نوین، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران.
تلفن: ۰۹۳۹۳۴۰۶۷۹۳
پست الکترونیکی: F.Abdi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

مقدمه

برای بقاء و تکامل موجودات زنده، هیچ چیزی نمی‌تواند مهم‌تر از آب باشد. زمین به‌عنوان یک سیاره آبی شناخته می‌شود زیرا حدود ۷۰ درصد از سطح زمین را آب پوشانده است. آب شور حدود ۹۷/۵ درصد کل آب را تشکیل می‌دهد، در حالی که ۲/۵ درصد باقی‌مانده به‌عنوان آب شیرین است و از این آب شیرین حدود ۶۸/۹ درصد آب به‌صورت یخ، برف دائمی و یخچال‌های طبیعی است. علاوه بر این، آب‌های زیرزمینی ۳۰/۸ درصد از آب شیرین را تشکیل می‌دهند که از این میان تنها ۰/۳ درصد به‌راحتی قابل دسترسی است. بر همین اساس، دسترسی به آب پاک و سالم یک سرمایه اساسی و همچنین یک اقتصاد پر رونق است.

متأسفانه، افزایش سریع جمعیت، گسترش صنعتی شدن، شهرنشینی و شیوه‌های کشاورزی نادرست، باعث بدتر شدن منابع آب با کیفیت می‌شود که یک موضوع جدی جهانی است (Jain et al., 2021). با وجود این چالش‌ها، تامین آب شیرین از طریق فناوری‌های جدید قابل دستیابی است. هدف نهایی این فناوری‌ها باید بهبود محیط زیست باشد. فن‌آوری نانو حوزه‌ای است که در تلاش برای تولید، مدیریت و توسعه چشم‌اندازهای جدید، برای حمایت از انسان و سلامت محیط است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای نانو فناوری در حوزه آب، استفاده از نانو ذرات برای بهبود کیفیت آب بوده است (Khan, 2019; Ali & Ahmad, 2020). فناوری نانو در حال متحول کردن بسیاری از زمینه‌های کاربردی است و پتانسیل زیادی برای تغییر پارادایم سنتی تامین آب و تصفیه فاضلاب دارد.

خواص منحصربه‌فرد بسیاری از نانومواد می‌تواند فناوری‌های جدیدی را برای حذف آلاینده‌ها، کنترل میکروبی، سنجش، پایش و بازیابی منابع فراهم کند. انتظار می‌رود نسبت سطح به حجم زیاد، واکنش پذیری بالا و خواص کاتالیزوری نانومواد، سنتز و کارایی فرآیندهای شیمیایی و فیزیکوشیمیایی مختلف مورد استفاده در مدیریت آب را تا حد زیادی افزایش دهد و در نتیجه اندازه سیستم و همچنین مصرف مواد شیمیایی و انرژی را کاهش دهد (Fuhaid & Niaz, 2022). علاوه بر بهبود کیفیت و مدیریت آب، نانو تکنولوژی کاربردهای زیادی در حفاظت از محیط زیست و منابع آبی می تواند داشته‌باشد (Qu, 2013; Jain et al., 2021). برای نمونه، باران اسیدی شامل قطرات آب اسیدی است که حاوی گوگرد و نیتروژن منتشر شده از وسایل نقلیه و فرآیندهای صنعتی هستند. هنگامی که این باران‌ها به زمین می‌رسند بر روی مجسمه‌ها و ساختمان‌ها فرود آمده و باعث خوردگی فلزات و تخریب نمای سازه‌ها، خصوصا سازه‌های آبی می‌شود. این تخریب در مناطق صنعتی و مناطقی که آلودگی هوا و در نتیجه میزان اسیدی بودن باران بیش‌تر است شدیدتر است. بنابراین طراحی سازه‌هایی که در برابر باران اسیدی مقاومت مناسب‌تری داشته باشند یک ضرورت است.

امروزه به‌دلیل مقاوم بودن در برابر آتش و فراوانی مواد اولیه، استفاده از بتن در انواع ساخت و سازها از جمله سازه‌های کوچک‌مقیاس و زیرساخت‌های سبز–آبی افزایش یافته است. یکی از کاربردهای بتن علاوه بر کاربرد در ساختمان های شهری، استفاده در سازه‌های آبی است. بتن استفاده شده در سازه‌های آبی باید از مقاومت بالایی برخوردار باشد در غیر این صورت به‌دلیل خوردگی میلگرد، سازه پس از مدتی فرو می‌ریزد. خوردگی میلگرد درون بتن معمولا از دوسر میلگرد یا از وسط آن شروع می‌شود. با گذشت زمان، این خوردگی افزایش می‌یابد و در نهایت منجر به آسیب سازه می‌شود. بنابراین استفاده از بتنی و ملاتی که میلگرد درون خود را در برابر خوردگی محافظت کند یک نیاز اساسی است (Hu et al., 2022).

با توجه به این‌که وقتی ماده‌ای الکترون از دست می‌دهد، خوردگی رخ می‌دهد، برای جلوگیری از خوردگی فلز، باید تمایل و سرعت اتلاف الکترون را کاهش داد و این به معنای افزایش امپدانس الکتریکی است (Abdi, 2022) در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرات برای افزایش استحکام بتن و ملات به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و محققان تأثیر نانوذرات مختلف نظیر نانو لوله‌های کربنی (Carriço et al., 2018)، اکسید روی (Silatikunsatid et al., 2018)، اکسید آهن (Nazari et al., 2010)، دی اکسید تیتانیوم (Praveenkumar, 2019)، آلومینا (Nazari & Riahi, 2011)، اکسید مس (Riahi, 2011)، اکسید زیرکونیوم (Negahdary, 2013)، سیلیسیوم دی اکسید (Sobolev, 2012; Behfarnia, 2017 ;Younis, 2010; Najigivi, 2013) و کلسیم کربنات (Supit, 2014) در استحکام بتن را بررسی کرده‌اند. در این بررسی‌ها مشخص شده است که افزودن نانو ذرات به بتن و ملات باعث افزایش مقاومت‌های فشاری و خمشی می‌شود. مرور منابع نشان می‌دهد که هرچند خوردگی بتن و میلگرد در محیط خورنده تا حدود زیادی بررسی شده (Hu, 2022; James , 2019;Gomez, 2023)، ولی علت خوردگی از دید فیزیک به‌خوبی مطالعه نشده است. هم‌چنین، با وجود این‌که تاثیر نانوذرات مختلف در استحکام ملات و بتن مورد توجه قرار گرفته، اما اثر آن‌ها بر امپدانس بتن به‌خوبی بررسی نشده است. ایتریوم اکسید نانو ذره‌ای است که به‌دلیل ثبات فازی و پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، طیف گسترده‌ای از کاربردها را در صنایع مختلف دارد. بر همین اساس، در این پژوهش تأثیر نانو ذره اکسید ایتریم (Y_2O_3) بر استحکام ملات، امپدانس ملات و محافظت از خوردگی میلگرد درون آن با هدف کاربرد در سامانه‌های جمع‌آوری آب به‌ویژه زیرساخت‌های سبز–آبی بررسی شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

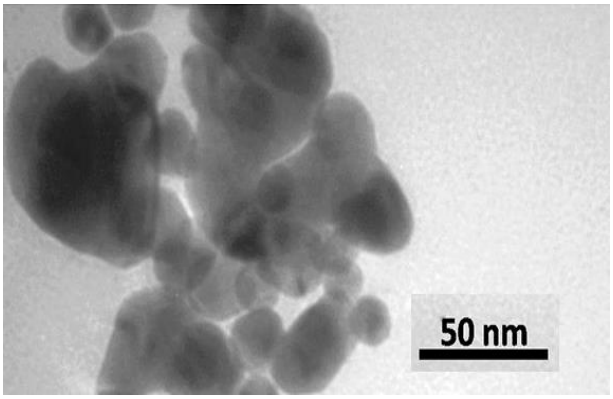
مواد و روش تحقیق

برای بررسی تاثیر نانوذر Y_2O_3در استحکام ملات و محافظت از خوردگی میلگرد درون آن، نانو ذرات با مشخصاتی کـه در جـدول ۱ آورده شده است، از شرکت مرک خریداری شدند. شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) این نانو ذرات را نشان مـی‌دهـد. بایـد توجه داشت که در ابعاد نانو، اندازه و شکل نانو ذره از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در کاربردهای مختلف هستند.

جدول ۱- مشخصات نانو ذرات استفاده شده

Table 1- Characteristics of nanoparticles

فرمول شیمیایی	Y_2O_3
درجه خلوص	99/95
شکل ظاهری	Powder
مورفولوژی	Spherical
اندازه متوسط دانه	30-45



شکل ۱- تصویر TEM نانو ذرات Y_2O_3

Figure 1- TEM image of Y_2O_3 nanoparticles

برای تهیه ملات از ۱۳۵۰ گرم ماسه استاندارد (ASTM C778)، ۴۵۰ گرم سیمان پورتلند II، ۴/۵ گرم نانو ذره (یک درصـد وزنـی سیمان) و ۱۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر استفاده شد. ملات آماده شده در قالب استاندارد سه بخشی (ابعاد هـر بخـش: 40 × 40 × 160 mm) در دو مرحله ریخته شد. شکل ۲ ملات داخل قالب‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲- قرار گرفتن ملات در داخل قالب استاندارد در دو مرحله

Figure 2- Placing the mortar inside the standard mold in two steps

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

در داخل ملات یکی از این سه بخش، میلگردی استوانه‌ای شکل با مشخصاتی که در جدول ۲ آمده است، به قطر ۱ سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر که به شکل L خم شده بود طوری قرار داده شده بود که ۸ سانتی‌متر درون ملات قرار گیرد و ۲ سانتی‌متر خم شده بیرون از ملات باشد. این نمونه برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر خوردگی و دو نمونه دیگر برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و فشاری ۷ و ۲۸ روزه درنظر گرفته شدند. قابل ذکر است که مقدار تنش فشاری تک محوری زمانی که در آن المان مورد نظر کاملاً گسیخته می‌شود مقاومت فشاری نامیده می‌شود. این کمیت ظرفیت تحمل سازه در مقابل نیروهای فشاری محوری را نشان می‌دهد. علاوهبر این، مقاومت خمشی بتن به توانایی تیر بتنی برای مقاومت در برابر خمش اشاره دارد، و از معیارهای مقاومت کششی بتن است.

جدول ۲- ترکیبات میلگرد مارپیچی استفاده شده درون ملات

Table 2- Spiral rebar compositions used in mortar

Si	Mn	C	P	S	N
0.65	1.66	0.4	0.05	0.5	-

بعد از صاف کردن سطح، نمونه‌ها در دستگاه ضربه زن برای متراکم تر شدن قرار گرفتند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در محفظه رطوبت قرار داده شدند. در نهایت مقاومت فشاری و خمشی ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های تهیه شده طبق استاندارد ASTM C109 اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آمدن نتایج دقیق، مقاومت‌های فشاری و خمشی سه مرتبه برای هر نمونه اندازه‌گیری شد تا مقدار متوسط آن‌ها به‌دست آید. برای اندازه‌گیری مقاومت خوردگی میلگرد درون ملات، بعد از ۲۸ روز قرارگرفتن نمونه میلگرددار در آب آهک، آزمون‌های پلاریزاسیون و EIS در محلول ۳/۵ درصد نمک با استفاده از دستگاه پتانسیو استات انجام گرفت. نمونه طوری در محلول قرار می‌گرفت که فقط دو سانتی‌متر میلگرد برای اتصال بیرون باشد.

اندازه‌گیری پلاریزاسیون با شروع پتانسیل از ۴- تا ۴ ولت و با آهنگ ۵۰ میلی ولت بر ثانیه و آزمون EIS در بازه فرکانس ۰/۰۰۱ هرتز تا ۱۰۰۰۰۰ هرتز و با دامنه ولتاژ ۰/۰۱ ولت انجام شد. آزمون پلاریزاسیون برای بررسی رفتار خوردگی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش پس از روبش خطی پتانسیل منحنی پلاریزاسیون (نمودار پتانسیل و جریان) به‌دست می‌آید. معادله تافل ارتباط بین یک واکنش الکتروشیمیایی و پارامترهای سینتیکی را نشان می‌دهد. با برون‌یابی منحنی تافل پارامترهای خوردگی نظیر سرعت خوردگی، جریان و پتانسیل خوردگی و مقاومت پلاریزاسیون به‌دست خواهد آمد. پتانسیل خوردگی معیاری از تمایل به خوردگی و جریان خوردگی معیاری از تسریع فرآیند خوردگی است. EIS روشی مناسب برای مطالعه سیستم‌های در معرض خوردگی است. این روش مبتنی بر اعمال پتانسیل نوسانی با دامنه کوچک به سیستم مورد مطالعه است. در این روش نسبت ولتاژ به جریان که امپدانس نامیده می‌شود به‌صورت منحنی‌های نایکویست دیده می‌شود. هرچه منحنی بزرگ‌تر باشد به معنی بزرگ بودن قسمت حقیقی و موهومی امپدانس است. قبل از شروع اندازه‌گیری، نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در محلول قرار گرفتند تا پتانسیل مدار باز (ocp) تثبیت شود. تمامی این مراحل یک بار با حضور نانو ذره و بار دیگر بدون حضور نانو ذره انجام گرفت تا بتوان نتایج را مقایسه کرد.

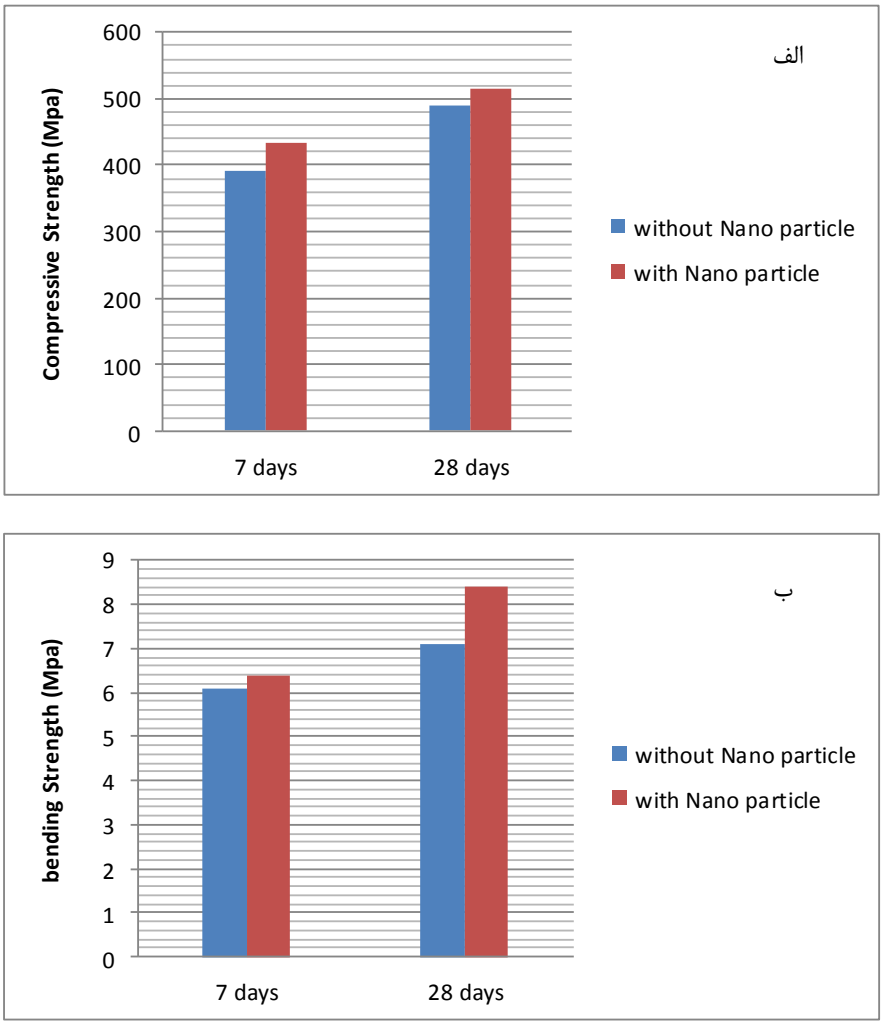
نتایج و بحث

نتایج مقاومت‌های فشاری و خمشی

شکل ۳ (الف) نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه و شکل ۳ (ب) مقاومت خمشی ۷ روزه و ۲۸ روزه را با حضور و بدون حضور نانو ذره Y_2O_3 در ملات سیمان را نشان می‌دهند. از نتایج مشخص هست که با افزودن یک درصد نانو ذره Y_2O_3 به ملات سیمان، مقاومت‌های خمشی و فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه بهبود می‌یابد که در تطابق با سایر پژوهش‌ها نیز است (Praveenkumar, 2019). دلیل افزایش استحکام ملات با افزودن نانو ذره پر شدن حفرات است. در واقع وجود نانو ذرات به‌عنوان هسته‌هایی عمل کرده و واکنش آب و سیمان را تقویت می‌کنند. در توضیح بهبود خواص ملات به کمک نانوذرات ایتریوم اکسید باید گفت که مقاومت ملات در نهایت به میزان تخلخل موجود در آن بستگی دارد. با توجه به این‌که نانوذرات نقش پرکننده‌ها را در ترکیبات سیمانی بازی می‌کنند، پر شدن منافذ ملات توسط نانوذرات دلیل افزایش استحکام در ترکیبات سیمانی است. هم‌چنین نانوذرات به‌دلیل داشتن واکنش‌پذیری بالا، رشد کریستال‌های هیدروکسید کلسیم، را محدود کرده و سرعت هیدراتاسیون را افزایش می‌دهند. با محدود شدن کریستال‌های کلسیم هیدروکسید، کریستال‌های کلسیم سیلیکات هیدریت (C-S-H) فضاهای خالی سطح تماس سنگدانه‌ها را با خمیر سیمان پر می‌کنند و محصول متراکم تر و در نتیجه مقاوم‌تر می‌شود (Al-Saffar, 2023; Singh, 2017).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]



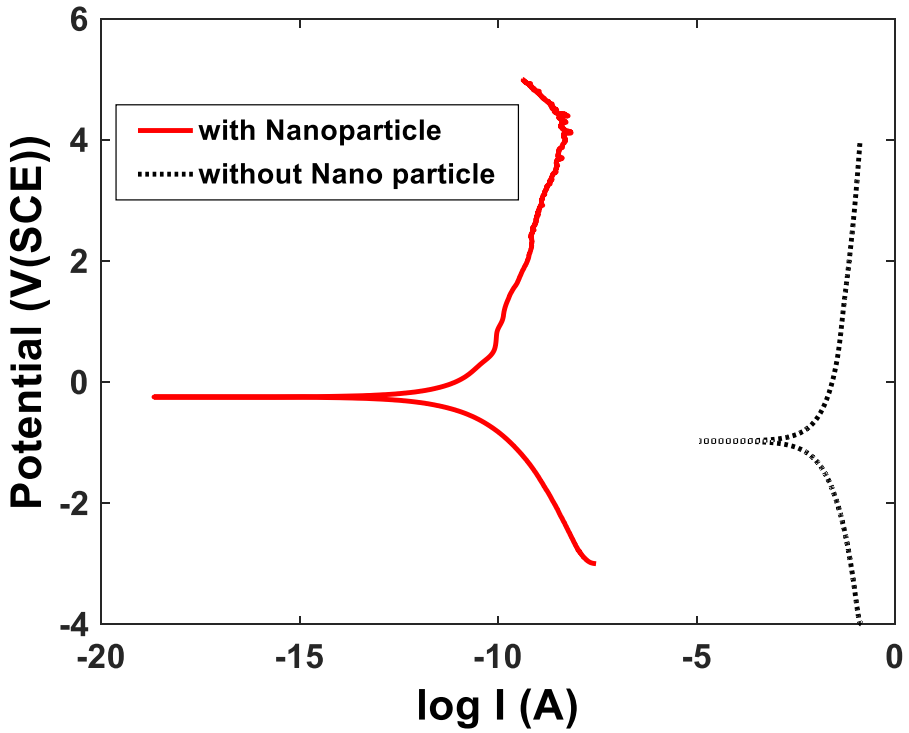
شکل۳- الف: مقاومت فشاری و ب: مقاومت خمشی با حضور و بدون حضور نانو ذرهY_2O_3

Figure 3- a- compressive strength, b- bending strength with and without Y_2O_3 nanoparticles

نتایج آزمون پلاریزاسیون

شکل ۴ نتیجه آزمون پلاریزاسیون را نشان می‌دهد از نتایج مشخص است که نمونه‌ای که دارای یک درصد Y_2O_3 است دارای پتانسیل خوردگی بیش‌تر (تمایل خوردگی کم‌تر) و جریان خوردگی کم‌تری از نمونه شاهد است. جریان و پتانسیل خوردگی این نمونه و نمونه شاهد در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این که پتانسیل خوردگی تعیین‌کننده تمایل به خوردگی است، نتایج نشان می‌دهد که نمونه با وجود نانو ذره تمایل کم‌تری به خوردگی پیدا کرده است. هم‌چنین با توجه به این که جریان خوردگی نشان دهنده سرعت از دست دادن الکترون است، از نتایج مشخص است که نمونه با وجود نانو ذره ایتریوم اکسید دارای سرعت خوردگی کم‌تری نسبت به نمونه شاهد است. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن مقدار ناچیزی از نانو ذره ایتریوم اکسید (یک درصد وزنی نسبت به وزن سیمان) 10^{-8} برابر سرعت خوردگی را کاهش می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]



شکل ۳- آزمون پلاریزاسیون با حضور و بدون حضور نانو ذره

Figure 4– Polarization test with and without nanoparticles

جدول 4- جریان و پتانسیل خوردگی نمونه های مختلف

Table 4- Current and corrosion potential of different samples

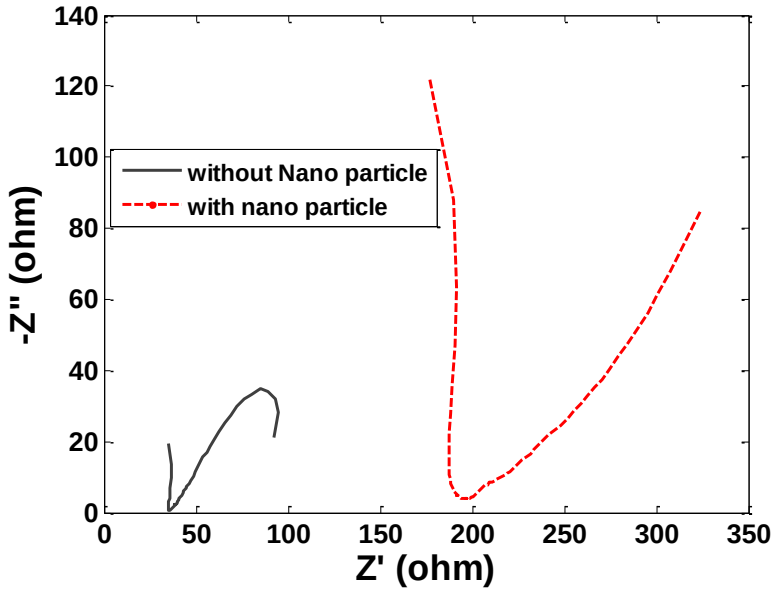
کمیت اندازه‌گیری شده	بدون حضور نانو ذره	با حضور نانو ذره
Icorrosion (A)	0.0079	3.9×10^{-11}
Vcorrosion (V (SCE))	-0.972	-0.246

نتایج آزمون EIS

نتایج آزمون EIS که در شکل ۱۰ آورده شده است نشان می‌دهد که امپدانس الکتریکی میلگرد درون سیمانی که دارای یک درصد نانو ذره Y_2O_3 است، بیش‌تر از امپدانس الکتریکی نمونه شاهد است. بالا بودن امپدانس الکتریکی نمونه‌ای که دارای نانو ذره است نشان می‌دهد که سرعت از دست دادن الکترون میلگرد در ملاتی که نانو ذره دارد کندتر از نمونه دیگر است. در واقع همان‌طور که قبلا ذکر شد، نمونه با ازدست دادن الکترون خورده می‌شود و هرچه سرعت از دست دادن الکترون بیش‌تر باشد نمونه بیش‌تر خورده می‌شود. در نتیجه برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی باید سرعت از دست دادن الکترون کاهش یابد یا به عبارت الکتریکی امپدانس الکتریکی افزایش یابد. نتایج می‌دهد که با افزودن نانو ذره Y_2O_3 به ملات سیمان امپدانس الکتریکی تا حدود زیادی افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که امپدانس الکتریکی یک عدد موهومی است و به عناصری مانند ظرفیت و مقاومت الکتریکی بستگی دارد، برای افزایش امپدانس الکتریکی ماده باید مقاومت الکتریکی آن افزایش و ظرفیت خازنی کاهش یابد. برای افزایش مقاومت الکتریکی، استفاده از نانوذرات اکسیدی مؤثر است. هرچه ثابت دی الکتریک این نانوذرات کم‌تر باشد، ظرفیت خازنی کم‌تر می‌شود و در نتیجه امپدانس الکتریکی افزایش می‌یابد و محافظت بهتری در برابر خوردگی ایجاد می‌شود (Abdi, 2021).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]



شکل ٤– نتایج EIS با و بدون نانو ذره Y_2O_3

Figure 4– EIS results with and without Y_2O_3 nanoparticles

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، برای افزایش استحکام ملات و افزایش مقاومت به خوردگی میلگرد درون ملات، به‌منظور مدیریت سازه‌ها و سامانه‌های حفظ و جمع‌آوری آب از نانو ذره ایتریوم اکسید (Y_2O_3) استفاده شد. تحلیل استحکام سازه‌ها با اندازه‌گیری مقاومت‌های فشاری و خمشی و مقایسه نتایج با نمونه شاهد انجام گرفت. نتایج نشان دادند که افزودن این نانو ذره مقاومت‌های فشاری و خمشی ۷ و ۲۸ روزه را افزایش می‌دهد. هم‌چنین، بررسی محافظت خوردگی با استفاده از آزمون‌های پلاریزاسیون و EIS انجام شد. تحلیل نتایج نشان داد که افزودن مقدار کمی از این نانو ذره سرعت و تمایل خوردگی را به میزان خیلی زیادی کاهش می‌دهد. بررسی امپدانس ملات نشان داد که علت کاهش سرعت خوردگی با حضور نانو ذره Y_2O_3، افزایش امپدانس ملات است. پیشنهاد می‌شود که با بررسی محافظت از خوردگی توسط نانو ذرات مختلف، نانو ذره‌ای که با کم‌ترین هزینه بیش‌ترین تاثیر را در حفاظت از محیط زیست دارد تعیین شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش از دانشگاه محقق اردبیلی حمایت مالی دریافت نموده است.

مشارکت نویسندگان: این پژوهش توسط فاطمه عبدی انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسنده این مقاله، از معاونت پژوهشی داشگاه محقق اردبیلی برای حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید.

References

1. Abdi, F. (2021). Multi-layer structures including zigzag sculptured thin films for corrosion protection of AISI 304 stainless steel. *Chinese Physics B*, 30(3), 038106. DOI: 10.1088/1674-1056/abd398
2. Abdi, F. (2022). Increasing of the cement strength and corrosion resistance of rebar inside it using silica nanoparticles. *Journal of Applied Chemical Research*, *16*(3), 8-17. https://journals.iau.ir/article_690724.html
3. Ali, Z., & Ahmad, R. (2020). Nanotechnology for water treatment. *Environmental Nanotechnology*, 3, 143-163. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26672-1_5
4. Al-Saffar, F. Y., Wong, L. S., & Paul, S. C. (2023). An Elucidative Review of the Nanomaterial Effect on the Durability and Calcium-Silicate-Hydrate (CSH) Gel Development of Concrete. *Gels*, *9*(8), 613. https://doi.org/10.3390/gels9080613
5. Behfarnia, K., & Rostami, M. (2017). Effects of micro and nanoparticles of SiO_2 on the permeability of alkali activated slag concrete. *Construction and Building Materials*, 131, 205-213. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.070

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]

6. Carriço, A., Bogas, J. A., Hawreen, A., & Guedes, M. (2018). Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, *164*, 121-133. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.12.221
7. Fuhaid, A. F. A., & Niaz, A. (2022). Carbonation and corrosion problems in reinforced concrete structures. *Buildings*, 12(5), 586. doi: 10.3390/buildings12050586
8. Gómez-Luna, G. F., López-Calvo, H. Z., Bremner, T. W., Fajardo-San Miguel, G. J., Castro-Borges, P., & Montes-García, P. (2023). Assessment of corrosion prevention methods for steel reinforcement embedded in concrete exposed to a natural marine environment. *Construction and Building Materials*, 385, 131514. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131514
9. Hu, J. Y., Zhang, S. S., Chen, E., & Li, W. G. (2022). A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures. *Construction and Building Materials*, 325, 126718. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.126718
10. Jain, K., Patel, A. S., Pardhi, V. P., & Flora, S. J. S. (2021). Nanotechnology in wastewater management: a new paradigm towards wastewater treatment. *Molecules*, 26(6), 1797. doi: 10.3390/molecules26061797
11. James, A., Bazarchi, E., Chiniforush, A. A., Aghdam, P. P., Hosseini, M. R., Akbarnezhad, A., & Ghodoosi, F. (2019). Rebar corrosion detection, protection, and rehabilitation of reinforced concrete structures in coastal environments: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 1026-1039. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.250
12. Khan, N. A., Khan, S. U., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Dhingra, A., Hussain, A., & Changani, F. (2019). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment: A review. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, *16*(4), 81-86. DOI: 10.3233/AJW190051
13. Machado, A. B., Rodrigues, G. Z. P., Feksa, L. R., Berlese, D. B., & Tundisi, J. G. (2019). Applications of nanotechnology in water treatment. *Revista Conhecimento Online*, 1, 03-15. doi: 10.25112/rco.v1i0.1706
14. Najigivi, A., Khaloo, A., & Rashid, S. A. (2013). Investigating the effects of using different types of SiO2 nanoparticles on the mechanical properties of binary blended concrete. *Composites Part B: Engineering*, *54*, 52-58. doi:10.1016/j.compositesb.2013.04.035
15. Nazari, A., & Riahi, S. (2011). Improvement compressive strength of concrete in different curing media by Al2O3 nanoparticles. *Materials Science and Engineering: A*, *528*(3), 1183-1191. doi: 10.1016/j.msea.2010.09.098
16. Nazari, A., Riahi, S., Riahi, S., Shamekhi, S. F., & Khademno, A. (2010). Benefits of Fe2O3 nanoparticles in concrete mixing matrix. *Journal of American Science*, *6*(4), 102-106. http://www.americanscience.org
17. Negahdary, M., Habibi-Tamijani, A., Asadi, A., & Ayati, S. (2013). Synthesis of zirconia nanoparticles and their ameliorative roles as additives concrete structures. *Journal of Chemistry*. doi: 10.1155/2013/314862
18. Praveenkumar, T. R., Vijayalakshmi, M. M., & Meddah, M. S. (2019). Strengths and durability performances of blended cement concrete with TiO2 nanoparticles and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, *217*, 343-351. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.045
19. Qu, X., Brame, J., Li, Q., & Alvarez, P. J. (2013). Nanotechnology for a safe and sustainable water supply: enabling integrated water treatment and reuse. *Accounts of Chemical Research*, *46*(3), 834-843. doi: 10.1021/ar300029v
20. Riahi, S., & Nazari, A. (2011). Compressive strength and abrasion resistance of concrete containing SiO2 and CuO nanoparticles in different curing media. *Science China Technological Sciences*, *54*, 2349-2357. https://link.springer.com/article/10.1007/s11431-011-4463-4
21. Silatikunsatid, T., Jaitanong, N., & Narksitipan, S. (2018). A study on influence of zinc oxide in cement composite materials. *Key Engineering Materials*, *772*, 95-99. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.772.95
22. Singh, L. P., Zhu, W., Howind, T., & Sharma, U. (2017). Quantification and characterization of CSH in silica nanoparticles incorporated cementitious system. *Cement and Concrete Composites*, *79*, 106-116. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.02.004
23. Sobolev, K., Sanchez, F., & Vivian, I. F. (2012). The use of nanoparticle admixtures to improve the performance of concrete. *The 12th International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability* (pp. 455-469).
24. Supit, S. W., & Shaikh, F. U. (2014). Effect of nano-CaCO3 on compressive strength development of high volume fly ash mortars and concretes. *Journal of Advanced Concrete Technology*, *12*(6), 178-186. doi: 10.3151/jact.12.178
25. Younis, K. H., & Mustafa, S. M. (2018). Feasibility of using nanoparticles of SiO_2 to improve the performance of recycled aggregate concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2018*. doi:10.1155/2018/1512830

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.6.9]