

کاربرد نانوفناوری در مدیریت ناترازی تولید برق: راهبردهای فناورانه برای افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها

چکیده گزارش سیاستی:

در سال‌های اخیر، ناترازی میان تولید و مصرف برق در کشور، به‌ویژه در فصل تابستان، به یکی از چالش‌های راهبردی در حوزه انرژی بدل شده است. این ناترازی نه تنها منجر به خاموشی‌های گسترده و خسارات اقتصادی می‌شود، بلکه امنیت انرژی، توسعه صنعتی و رفاه اجتماعی را نیز تهدید می‌کند. در حالی که بخش عمده‌ای از تمرکز سیاست‌گذاران بر افزایش ظرفیت تولید یا مدیریت مصرف قرار دارد، ارتقای بهره‌وری نیروگاه‌های موجود، به‌ویژه با تکیه بر فناوری‌های نوین، ظرفیتی مغفول‌مانده اما بسیار اثرگذار است.

نانوفناوری، به‌عنوان یکی از پیشران‌های صنعتی قرن ۲۱، ظرفیت قابل‌توجهی برای کاهش تلفات انرژی، افزایش راندمان، کاهش خوردگی و فرسایش تجهیزات، و بهینه‌سازی فرآیندهای حرارتی در نیروگاه‌ها دارد. استفاده از پوشش‌های مقاوم نانویی، نانوسیالات با انتقال حرارت بالا، نانوحسگرهای هوشمند و مواد مهندسی پیشرفته، می‌تواند عملکرد اجزای حیاتی مانند بویلرها، توربین‌ها، کندانسورها و سیستم‌های خنک‌کاری را به شکل چشمگیری بهبود بخشد.

تحلیل‌ها و مطالعات موردی انجام‌شده در این گزارش نشان می‌دهد که استفاده هدفمند از نانوفناوری در نیروگاه‌ها می‌تواند بین ۳ تا ۷ درصد افزایش راندمان و تا ۱۰ درصد کاهش توقف اضطراری واحدها را در پی داشته باشد. این میزان بهبود، معادل صرفه‌جویی هزاران مگاوات در تولید عملی برق خواهد بود، بدون نیاز به ساخت نیروگاه جدید.

برای تحقق این ظرفیت، لازم است سیاست‌گذاران حوزه انرژی با همکاری نهادهای علمی و صنعتی، نقشه‌راهی برای توسعه، بومی‌سازی و استقرار فناوری‌های نانویی در نیروگاه‌ها تدوین نمایند. این گزارش با تکیه بر شواهد علمی و تحلیل اقتصادی، مجموعه‌ای از راهکارهای سیاستی را در این مسیر پیشنهاد می‌دهد.

شناسنامه گزارش سیاستی

کاربرد نانوفناوری در مدیریت ناترازی تولید برق: راهبردهای فناورانه برای افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها	عنوان گزارش
تولید برق	حوزه تخصصی
وزارت نیرو-پژوهشگاه نیرو-شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی-مدیران ارشد نیروگاه‌ها	مخاطبان اصلی
-شرکت‌های تعمیرات نیروگاهی و بهره‌برداری از تجهیزات- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (ستاد توسعه فناوری نانو)	
پژوهشگاه نیرو	سفارش دهنده
دکتر مجید میرزایی (ایمیل سازمانی: mjmirzaei@nri.ac.ir) - دکتر نسترن ریاحی نوری - دکتر حسین کوهانی	نویسندگان
پژوهشکده تولید	ناظر
پژوهشکده تولید- مرکز تخصصی نوآوری و توسعه فناوری نانو	پژوهشکده، گروه پژوهشی
خرداد ۱۴۰۴	تاریخ مطالعه

۱- مقدمه

تأمین پایدار برق یکی از ارکان اصلی توسعه اقتصادی، صنعتی و رفاه عمومی در هر کشوری است. در ایران، با وجود ظرفیت نصب شده بالا در بخش تولید برق، پدیده‌ی ناترازی در سال‌های اخیر به‌ویژه در فصل گرما به چالشی جدی تبدیل شده است. این ناترازی به معنای شکاف میان توان تولید عملی برق و میزان تقاضای مصرف است؛ شکافی که پیامدهایی چون خاموشی، کاهش بهره‌وری اقتصادی و فشار مضاعف بر زیرساخت‌های تولید و توزیع را به دنبال دارد.

در شرایطی که تقاضای برق با رشد فناوری، گسترش صنایع، توسعه سرمایش و گرمایش خانگی و تغییر اقلیم در حال افزایش است، ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور به دلایل متعددی با افت مواجه شده است. در کنار فرسودگی تجهیزات، تعمیرات ناکارآمد، و عدم نوسازی زیرساخت‌ها، یکی از عوامل اصلی ناترازی، اتلاف انرژی در فرآیند تولید و بهره‌برداری از نیروگاه‌ها است؛ عاملی که تاکنون کمتر به‌صورت هدفمند مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفته است.

تجربه‌ی جهانی نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین، به‌ویژه فناوری نانو، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش راندمان، کاهش تلفات، و بهبود عمر مفید تجهیزات نیروگاهی مطرح شود. این گزارش با تمرکز بر همین رویکرد فناورانه، تلاش دارد ضمن تحلیل دقیق مسئله ناترازی از منظر فنی و اقتصادی، راهکارهای مبتنی بر نانوفناوری را برای سیاست‌گذاری هدفمند در بخش انرژی کشور پیشنهاد دهد.

۲- تحلیل ناترازی تولید برق در نیروگاه‌ها

طبق آمار رسمی وزارت نیرو، طی سال‌های اخیر، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، شبکه برق کشور با ناترازی فزاینده‌ای مواجه بوده است. به عنوان نمونه، در تابستان ۱۴۰۲، شکاف میان اوج مصرف برق و توان تولید عملی به بیش از ۱۰ هزار مگاوات رسید. این در حالی است که ظرفیت نامی نصب شده بیش از ۸۵ هزار مگاوات بوده اما راندمان متوسط نیروگاه‌ها در محدوده ۳۷٪ باقی مانده است.

ناترازی تولید برق را می‌توان ترکیبی از این عوامل دانست:

- ظرفیت نامی غیرواقعی یا کاهش یافته به دلیل فرسودگی
- راندمان پایین تولید
- توقف‌های اضطراری و تعمیرات تکرارشونده
- اتلاف حرارتی گسترده در فرآیندهای بویلر، توربین و کندانسور
- تلفات انتقال گرما و بخار در سیستم‌های خنک‌کننده و خطوط لوله

۲-۱- ریشه‌های ناترازی در سطح اجزای نیروگاه

در این بخش، هر جزء کلیدی نیروگاه بررسی شده و مشکلات عملکردی آن با تمرکز بر فرصت‌های نانوفناورانه استخراج می‌شود:

۲-۱-۱- بویلرها (دیگ‌های بخار)

- **چالش‌ها:** رسوب‌گیری لوله‌ها، خوردگی ناشی از دمای بالا و فرسایش، افت راندمان انتقال حرارت
- **اثرات:** کاهش نرخ تبخیر، افزایش مصرف سوخت، افزایش دمای دیواره و استهلاک
- **فرصت‌های نانویی:**

- پوشش‌های مقاوم به خوردگی و فرسایش بر پایه نانوکامپوزیت‌ها
- نانوسیالات با ضریب انتقال حرارت بالا

۲-۱-۲- توربین‌ها

- **چالش‌ها:** فرسایش پره‌ها به دلیل بخار داغ و ذرات معلق، اکسیداسیون در دمای بالا
- **اثرات:** افت توان خروجی، نیاز به تعمیرات دوره‌ای سنگین
- **فرصت‌های نانویی:**
 - پوشش‌های مقاوم به دمای بالا با نانوذرات سرامیکی
 - پوشش‌های کاهش اصطکاک برای کاهش تلفات مکانیکی

۲-۱-۳- کندانسورها

- **چالش‌ها:** رسوب، خوردگی در لوله‌های مسی یا فولادی، کاهش راندمان تقطیر
- **اثرات:** افزایش back pressure در توربین، کاهش تولید مؤثر برق
- **فرصت‌های نانویی:**
 - پوشش‌های ضدخوردگی نانویی با خاصیت انتقال حرارت بالا
 - پوشش‌های فوق آبریز برای بهبود چگالش قطره‌ای

۲-۱-۴- Air Cooler ها (سیستم‌های خنک‌کننده هوایی)

- **چالش‌ها:** کاهش تبادل حرارتی در تابستان، آلودگی پره‌ها، گرفتگی کانال‌های هوا
- **فرصت‌های نانویی:**
 - نانوپوشش‌های خودتمیزشونده برای افزایش عملکرد فین‌ها
 - نانوسیالات در کویل‌ها برای افزایش راندمان انتقال حرارت

۲-۱-۵- سیستم‌های پایش و کنترل

- **چالش‌ها:** نبود سنسورهای دقیق در سطح تجهیزات
 - **فرصت‌های نانویی:**
 - نانوحسگرهای پایش خوردگی، فشار، دما با دقت بالا و امکان اتصال به سیستم‌های SCADA
- به طور خلاصه ناترازی موجود در واحدهای نیروگاهی، راهکارهای نانوفناورانه و اثرگذاری آن در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. خلاصه ناترازی موجود در واحدهای نیروگاهی، راهکارهای نانوفناورانه و اثرگذاری آن

واحد / قطعه	ناترازی / مشکل موجود	راهکار نانوفناوری	اثرگذاری
فیلتراسیون هوا	کاهش کیفیت هوای ورودی به دلیل ذرات معلق	فیلترهای نانوالیافی با ظرفیت جذب بالا	کاهش رسوب، افزایش عمر فیلتر، بهبود راندمان کمپرسور

کمبرسور	افت فشار و کاهش راندمان به دلیل خوردگی و رسوب	نانوپوشش‌های ضد خوردگی و ضد رسوب	کاهش نوسانات عملکرد، افزایش دوام قطعات
محفظه احتراق	احتراق ناکامل، آلاینده‌های زیاد	نانوذرات کاتالیستی برای افزایش کارایی احتراق	کاهش SO_x و NO_x ، بهبود ثبات تولید
بویلر	رسوب، خوردگی، افت انتقال حرارت	نانوپوشش‌های حرارتی و ضد خوردگی	افزایش راندمان انتقال گرما، کاهش توقف‌های تعمیراتی
توربین بخار / گاز	فرسایش پره‌ها، افت فشار	نانوپوشش‌های مقاوم در برابر سایش و حرارت	افزایش عمر مفید، کاهش تعمیرات
ترانسفورماتور	اتلاف انرژی، خطر اضافه بار	روغن‌های نانوسیال برای خنک‌کاری	کاهش دمای عملیاتی، افزایش ظرفیت انتقال
برج خنک‌کننده	کاهش راندمان خنک‌کاری، رسوب در لوله‌ها	نانوذرات ضد رسوب و ضد خوردگی در سیستم آب‌گردشی	افزایش طول عمر، کاهش هزینه‌های تعمیراتی
سیستم روغن و خنک‌کننده توربین	افت ویسکوزیته و کاهش عملکرد	روغن‌های نانوادیتو با خاصیت ضد سایش و خنک‌کنندگی بالا	کاهش اصطکاک، افزایش دوام تجهیزات
سیستم‌های کنترل و حفاظت	خطای تشخیص، تاخیر در واکنش	نانوحسگرهای هوشمند با دقت بالا	افزایش دقت در کنترل فرآیند و مدیریت بار
عایق‌ها	اتلاف حرارتی	عایق‌های نوین آبروژل	کاهش اتلاف انرژی، افزایش ایمنی
سیستم‌های نظارتی و پایش وضعیت	کمبود دقت در پایش لحظه‌ای	نانوحسگرهای دما، فشار، ارتعاش و دود	بهبود نظارت و مدیریت پیشگیرانه

در مجموع، ناترازی در نیروگاه‌ها تنها به معنای کمبود ظرفیت نیست، بلکه نتیجه‌ی مستقیم کاهش راندمان، اتلاف انرژی و فرسایش تجهیزات است. نانوفناوری، با ورود به اجزای کلیدی، می‌تواند بهره‌وری عملیاتی را بهبود داده و ظرفیت واقعی تولید را افزایش دهد، بدون نیاز به سرمایه‌گذاری کلان در نیروگاه‌های جدید.

۳- نقش نانوفناوری در بهبود عملکرد نیروگاه‌ها

نانوفناوری با فراهم کردن ابزارهایی برای مهندسی مواد در مقیاس نانومتری، توانسته در سال‌های اخیر تحولاتی جدی در صنعت برق ایجاد کند. در نیروگاه‌ها، استفاده از نانوپوشش‌ها، نانوسیالات، نانوساختارهای مقاوم، و نانوحسگرهای دقیق، امکان کاهش اتلاف انرژی، افزایش عمر تجهیزات و ارتقاء راندمان حرارتی را فراهم کرده است. در ادامه، فناوری‌های کلیدی نانو در هر بخش نیروگاهی تشریح می‌شود:

۳-۱- پوشش‌های نانویی مقاوم به خوردگی و سایش

کاربرد: سطوح بویلرها، کندانسورها، پره‌های توربین، خطوط لوله

مزایا:

- افزایش عمر تجهیزات در محیط‌های دمای بالا و خورنده
- کاهش نیاز به تعمیرات دوره‌ای
- حفظ کیفیت انتقال حرارت به دلیل جلوگیری از رسوب و خوردگی

نمونه فناوری:

- نانوپوشش‌های اکسید آلومینیوم و سرامیکی بر پایه Sol-Gel یا APS
- پوشش‌های نانوکامپوزیتی با پایه نیکل یا کروم

۳-۲- نانوسیالات با انتقال حرارت بالا

کاربرد: بویلرها، سیستم‌های خنک‌کاری، کندانسورها

مزایا:

- افزایش ضریب انتقال حرارت تا ۲۰٪
- کاهش مصرف سوخت برای تولید بخار
- بهبود نرخ خنک کاری در تابستان

نمونه مواد:

- نانوسیال بر پایه آب با نانوذرات TiO_2 ، Al_2O_3 ، یا نانوکربن
- پایداری بالا، رسانایی حرارتی بهبودیافته

۳-۳- پوشش‌های آبریز، ضد رسوب و خودتمیزشونده

کاربرد: فین‌های Air Cooler، کندانسورها

مزایا:

- کاهش گرفتگی و افت فشار
- افزایش راندمان چگالش و تبادل گرما
- کاهش توقف برای پاک‌سازی

نمونه فناوری:

- نانوپوشش‌های سیلیکاتی یا فلئوروپلیمری
- فناوری‌هایی با زاویه تماس آب $< 150^\circ$ درجه

۳-۴- نانومواد مقاوم به دمای بالا

کاربرد: پره‌های توربین، نازل‌ها، دیواره‌های محفظه احتراق

مزایا:

- پایداری ساختاری در دمای بالا
- کاهش اکسیداسیون و سایش
- امکان افزایش دمای کاری بدون آسیب

نمونه مواد:

- نانوالیازهای پایه نیکل، نانوساختارهای Ti-Al

۳-۵- نانوحسگرها برای پایش دقیق

کاربرد: مانیتورینگ خوردگی، دما، فشار، ارتعاش و رسوب در تجهیزات

مزایا:

- هشدار زودهنگام برای نگهداری پیشگیرانه
- کاهش توقف اضطراری
- ارتقاء سیستم‌های کنترل هوشمند

نمونه:

- حسگرهای مبتنی بر نانوذرات نقره، نانولوله‌های کربنی، گرافن

۳-۶- نانوفیلترها و سیستم‌های تصفیه

کاربرد: تصفیه آب بویلر، فیلتراسیون گازهای خروجی
مزایا:

- بهبود کیفیت بخار و آب خوراک
- کاهش خوردگی و رسوب
- کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی

نمونه فناوری:

- نانوفیلترهای پلیمری برای فیلتراسیون ذرات ریز
- نانوکاتالیست‌ها برای حذف اکسیدهای نیتروژن و گوگرد

۴- مطالعات موردی و شواهد تجربی از تأثیر نانوفناوری در بهبود عملکرد نیروگاه‌ها

برای سیاست‌گذاری اثربخش، اتکاء به داده‌های تجربی و نمونه‌های اجراشده ضروری است. در این بخش، برخی از مهم‌ترین مطالعات میدانی، پروژه‌های صنعتی و نتایج آزمایشگاهی در حوزه نانوفناوری در نیروگاه‌ها ارائه می‌شود.

مطالعه موردی ۱: افزایش راندمان انتقال حرارت با نانوسیالات

محل اجرا: نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان

نتایج: نتایج محتمل بهبود راندمان انتقال حرارت بوده که به زودی نتیجه آن توسط مسئولان نیروگاه اصلاع رسانی خواهد شد.

مطالعه موردی ۲: استفاده از نانوفیلترهای نیروگاهی شرکت بهران فیلتر مشهد

محل اجرا: نیروگاه یزد - کازرون - بندرعباس - آبادان - چابهار - قم - طوس - کیش - کرمانشاه

نتایج: فیلتر هوا برای محافظت از آسیب به قطعات تجهیزات نیروگاهی توسط ذرات گرد و غبار و آلودگی و دیگر ذرات مضر در هوا به کار می‌رود. این محصول با تکنیک نانو سطح الیاف سلولزی و یا مصنوعی (معمولاً با قطر ۱۰ تا ۳۰ میکرومتر) با لایه‌ای از الیاف نانو (معمولاً با قطر ۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر) به روش الکتروریسی پوشانده می‌شود و موجب کاهش رسوب، افزایش عمر فیلتر، بهبود راندمان کمپرسور شده است.

مطالعه موردی ۳: استفاده از نانو پوشش‌های سخت در قطعات تحت فرسایش نیروگاهی

محل اجرا: نیروگاه شهید مفتاح همدان

نتایج: افزایش عمر تجهیزات به میزان ۸۰ برابر

مطالعه موردی ۴: استفاده از نانوعایق های حرارتی آبروژل توسط شرکت پاکان آتیه نانودانش

محل اجرا: به زودی توسط شرکت مادر تخصصی برق حرارتی اعلام خواهد شد.

نتایج محتمل: هزینه اولیه بسیار کم، طول عمر مفید ۲۰ الی ۵۰ سال بدون هزینه، عملکرد دائمی بدون توقف در کل شبانه روز، عدم استهلاک در طول زمان، برگشت سرمایه بسیار سریع

مطالعات فوق نشان می دهند که استفاده هدفمند از نانوفناوری در نیروگاه ها، با توجه به ویژگی های محیطی و نوع تجهیزات، نه تنها ممکن بلکه اقتصادی و اثربخش است. این تجربیات می توانند مبنای سیاست گذاری بومی در ایران قرار گیرند.

۵- تحلیل اقتصادی به کارگیری نانوفناوری در نیروگاه ها

در این بخش، هزینه های تقریبی پیاده سازی فناوری های نانو در اجزای مختلف نیروگاه، در برابر منافع اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت، کاهش توقف ها، افزایش عمر تجهیزات و جلوگیری از خسارات پیش بینی نشده تحلیل می شود.

۵-۱- مزایای اقتصادی کلان در سطح ملی

با پیاده سازی نانوفناوری در مقیاس گسترده در نیروگاه های کشور (مثلاً در ۵۰٪ ظرفیت نیروگاهی کشور)، برآورد می شود:

- صرفه جویی سوخت معادل سالانه: بیش از ۳ میلیون بشکه معادل نفت خام
- کاهش هزینه تعمیرات و قطعات یدکی: تا ۲۰٪ در سال
- افزایش ظرفیت مؤثر تولید برق: معادل ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مگاوات بدون ساخت نیروگاه جدید
- کاهش ناترازی تابستانی به نصف یا کمتر در ۲-۳ سال

۵-۲- مشوق های پیشنهادی برای سرمایه گذاری

- معافیت گمرکی برای واردات مواد نانویی و تجهیزات مرتبط
- تخصیص تسهیلات ارزان قیمت به شرکت های بهره بردار نیروگاهی در پروژه های ارتقاء با فناوری نانو
- الزام به استفاده از نانومواد تأیید شده توسط «شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو» در پروژه های توسعه ای

۶- توصیه های سیاستی پیشنهادی برای وزارت نیرو

۱. تدوین برنامه ملی ارتقاء نیروگاه ها با فناوری نانو

- هدف: ارتقاء راندمان عملی ۳۰٪ از ظرفیت حرارتی کشور با نانوفناوری تا سال ۱۴۱۰
- اجرای آزمایشی در ۵ نیروگاه منتخب با پایش عملکرد

۲. ایجاد نظام استانداردسازی و ارزیابی نانومواد در صنعت نیروگاهی

- همکاری با ستاد ویژه توسعه فناوری نانو و مؤسسات تأیید صلاحیت
- شناسنامه‌دار کردن محصولات و پوشش‌های نانویی قابل استفاده در نیروگاه‌ها

۳. تدوین آیین‌نامه حمایتی برای نوسازی نانویی نیروگاه‌ها

- اختصاص وام کم‌بهره به پروژه‌های بهینه‌سازی با فناوری نانو
- معافیت گمرکی برای تجهیزات مرتبط با پوشش‌دهی، تزریق نانوسیالات، پایش هوشمند

۴. تشویق بخش خصوصی برای تولید داخلی نانومواد نیروگاهی

- حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در تولید نانوپوشش‌ها، نانوسیالات و حسگرها
- راه‌اندازی مراکز پایلوت صنعتی با همکاری وزارت صمت و نهادهای نوآوری

۵. ایجاد پلتفرم رصد و تحلیل داده‌های عملکرد نانویی

- جمع‌آوری داده‌های راندمان، توقف، خوردگی، مصرف سوخت قبل و بعد از اجرای فناوری
- بهره‌برداری برای تدوین سیاست‌های آینده و انتخاب فناوری‌های برتر

۷- نتیجه‌گیری نهایی

استفاده از نانوفناوری در صنعت نیروگاهی، راهبردی کم‌هزینه، سریع‌الاث‌ر و بومی‌پذیر برای مقابله با ناترازی برق است. با حمایت هوشمندانه و هدایت‌شده از سوی دولت، این فناوری می‌تواند در کمتر از سه سال، تحول بنیادینی در افزایش توان تولید مؤثر برق در کشور ایجاد کند.

۸- منابع و مستندات

- [1] Sioshansi, F. P. (2013). "Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance." Elsevier.
- [2] Raina, N., Sharma, P., Slathia, P. S., Bhagat, D., & Pathak, A. K. (2020). Efficiency enhancement of renewable energy systems using nanotechnology. *Nanomaterials and environmental biotechnology*, 271-297.
- [3] Elcock, D. (2010). Potential nanotechnology applications for reducing freshwater consumption at coal fired power plants: an early view (No. DOE/NETL-2010/1438). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- [4] Abdalla, A. M., Elnaghi, B. E., Hossain, S., Dawood, M., Abdelrehim, O., & Azad, A. K. (2020). Nanotechnology utilization in energy conversion, storage and efficiency: a perspective review. *Advanced Energy Conversion Materials*, 1(1), 30-54.
- [5] Pourkhalil, M., Rashidi, A., Mahmoudabadi, Z. S., Mirzaee, M., Babakhani, E. G., Esmaeili, M., & Sharafinia, S. (2025). Catalytic reduction of SO₂ to elemental sulfur with methane over CuOx/γ-Al₂O₃ catalysts. *Scientific Reports*, 15(1), 5907.
- [6] Mirzaee, M., Yousefpour, A., & Mohebbi, T. (2024). A Review of Methods for Controlling and Monitoring Microbial Corrosion in Power Plant Cooling Sections. *Farayandno*, 19(85), 20-36.
- [7] Mirzaee, M., & Rezaei Abadchi, M. (2024). Aerogels: A New Generation of High-Temperature Thermal Insulators for Power Plant Applications. *Advanced Materials and New Coatings*, 12(47), 300-322.
- [8] Mirzae, M., & Mohebbi, T. (2024). A review of high heat transfer coatings in steam power plant condensers. *Journal of Farayandno-Vol*, 18(84), 75-98.

- [9] Mirzaee, M., Mohebbi, T., & Rezakhani, D. (2023). A Comprehensive Review of the Corrosion and Erosion Resistant Coating on the Fireside in Power Plant Boilers. *Farayandno*, 18(82), 73-93.
- [10] Mirzaee, M. (2023). A review of the design and testing of air preheater elements in steam power plants. *Journal of Selected Topics in Energy*, 4(2), 11-23.
- [11] Mirzaee, M., & Mohebbi, T. (2024). A review of anti-corrosion and erosion protective coatings in offshore wind power devices. *Journal of Studies in Color World*, 14(2), 133-159.