



ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تخصصی

پتروشهرهای نفتین ماهنامه مهندسی

سال ششم، شماره ۴ (پیاپی ۳۶)، زمستان ۱۴۰۰

بررسی تاثیر آلاینده‌های نفتی ناشی از خطوط انتقال
نفت گچساران-گوره بر تراکم خاک
ابوالقاسم دردانه

مدلسازی تاثیر پارامترهای فیزیکی سطح و سیال بر
خوردگی شناورها با استفاده از نرم افزار کامسول
بهروز شیرمحمدی، مهدی وهنانی

مدیریت جلوگیری از خوردگی ورق کف مخازن
فولادی
کرمعلی عظیم زاده

تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک
مدلهای حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با
استفاده از نرم افزار MATLAB
محمدرضا شادی

نقش رنگ بر یادگیری کارآموزان در فضاهای
آموزشی
مریم داور، هایده هواسی، سمیه هواسی، ندا مرادی



نشریه

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲۴۸۷ / ۰۲۶۴۴۴۵۳۱۳۱ / ۰۲۱۳۳۲۰۲۴۸۷
نشانی: کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری، کوچه شهید سنجابی، پلاک ۲۸، واحد ۴ کدپستی: ۳۱۳۳۹۵۲۵۹۵
www.NRES.ir @Shij.journals@gmail.com

چاپ

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۳۹۳
انتشارات هنر و علوم دانشگاهی، تلفن: ۰۲۱۳۳۸۴۰۷۹۲

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: امیر حسین یوسفی زیر نظر شورای سردبیری مدیر اجرایی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی و داوری تحریریه: (به ترتیب حروف الفبا)

- دکتر محمدعلی ارجمند، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر شهرزاد اسدی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر رضا افضل، عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
- دکتر علی جباری، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر نعمت حسینی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر راحله خادمیان، عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
- دکتر چنگیز دهقانپایان، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
- دکتر علی رحمانی هنزکی، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
- دکتر قدرت الله رودینی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر مرتضی زیودار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
- دکتر علی فروغی، عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
- دکتر محمدحسین کاظمی، عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد
- دکتر علی لکی روحانی، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان
- دکتر سیدحمید هاشمی، عضو هیئت علمی دانشگاه اراک
- دکتر هجیر کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه یاسوج

فراخوان پذیرش مقاله:

نشریه «پژوهش‌های نوین علوم مهندسی» توسط موسسه مطبوعاتی مطالعات کاربردی شباک و با همکاری علمی اساتید برجسته دانشگاه‌های کشور به انتشار مقالات علمی در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی می‌پردازد. از این‌رو از تمام اساتید، صاحب‌نظران، کارشناسان، دانشجویان و پژوهشگران دعوت می‌شود با ارسال مقالات علمی خود از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.Nres.ir در پربارتر کردن این نشریه، ما را یاری نمایند. برای ارسال مقاله کافی است تا در وبسایت ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید.

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| - مهندسی صنایع | - مهندسی برق و الکترونیک |
| - مهندسی عمران | - مهندسی انرژی و فیزیک |
| - مهندسی مکانیک | - مهندسی شیمی، نفت و پلیمر |
| - مهندسی معدن | - مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات |
| - مهندسی هوا فضا | - مبانی علوم مهندسی |
| - مهندسی مواد و متالورژی | - مدیریت دانش در علوم مهندسی |

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	بررسی تاثیر آلاینده‌های نفتی ناشی از خطوط انتقال نفت گچساران - گوره بر تراکم خاک ابوالقاسم دردانه
۷	مدلسازی تأثیر پارامترهای فیزیکی سطح و سیال بر خوردگی شناورها با استفاده از نرم افزار کامسول بهروز شیرمحمدی، مهدی وهنانی
۱۵	مدیریت جلوگیری از خوردگی ورق کف مخازن فولادی کرمعلی عظیم زاده
۲۳	تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک مدل‌های حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB محمد رضا شادی
۳۵	نقش رنگ بر یادگیری کارآموزان در فضاهای آموزشی مریم داور، هایده هواسی، سمیه هواسی، ندا مرادی

بررسی تاثیر آلاینده‌های نفتی ناشی از خطوط انتقال نفت گچساران-گوره بر تراکم خاک

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

کد مقاله: ۳۸۸۳۹

ابوالقاسم دردانه^۱

چکیده

خاک با آلاینده‌هایی از جمله حلال‌های شیمیایی و مواد نفتی، آثار منفی بر تراکم خاک دارد. مواد نفتی با نشت به درون عمق خاک پارامترهای فیزیکی خاک را کاهش می‌دهد. این مطالعه با هدف بررسی نقش نفت خام بر تراکم خاک اطراف خطوط انتقال نفت گچساران-گوره صورت گرفته است. این مطالعه از نوع آزمایشگاهی بوده که متغیر تراکم خاک مورد بررسی قرار گرفتند. خاک مورد مطالعه از نوع رس می‌باشد که برای تهیه از خاک اطراف خطوط انتقال تهیه و برای بررسی پارامتر مورد مطالعه به آزمایشگاه مکانیک خاک استان کهگیلویه و بویر احمد ارسال گردید. اولین آزمایش که انجام گرفت تراکم خاک بود که یک‌بار با خاک انتخابی بدون مواد نفتی و یکبار آغشته با مواد نفتی انجام گرفت که در حدود ۵٪ درصد خاک مورد نظر را با نفت خام آغشته نموده‌ایم. روش آزمایش تراکم ASTM 689 A بود که با مقدار آب ۳۰۰ و ۲۵۰ و ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری این تحقیق از نرم‌افزار SPSS نسخه شماره ۲۳ استفاده شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد. در خصوص تراکم‌پذیری نتایج نشان داد که تراکم خاک طبیعی بیش از خاک‌آلوده به مواد نفتی بوده بطوریکه دانسیته خاک طبیعی ۱/۸۰ و خاک آغشته به نفت ۱/۷۰ بدست آمده است.

واژگان کلیدی: واژه آلودگی های نفتی، تراکم خاک، گچساران-گوره

فرآورده های نفتی یکی از عمومی ترین و شایع ترین نوع آلودگیها، درزیست بوم های خشکی و آبی است. توسعه صنعت پتروشیمی از یکسو و عدم رعایت الزامات زیست محیطی از سوی دیگر، سبب شده است تا دردهه های اخیر مقادیر زیادی از آلاینده های هیدروکربنی وارد محیط زیست شوند. مواد نفتی درحین حفاری و استخراج درسایت های نفتی و یا به هنگام نقل و انتقال زمینی و دریایی آنها، به رغم تدابیری که جهت کنترل آلودگی آنها در نظر گرفته میشود، به محیط اطراف نشت می کنند. مطالعات انجام شده نشان می دهد که فعالیتهای صنعتی انسان، تنها عامل آلودگی محیط زیست به ترکیبات سمی و خطرناک به وسیله این دسته از آلایندهها میباشد (المندروف، ۱۹۹۴). درکشورایران در بسیاری از مناطق، ایجاد صنایع پتروشیمی، احداث پالایشگاه ها و حفاری چاه های استخراج نفت و گاز، باعث افزایش مشکلات آلودگی خاکهای اطراف این مناطق می شود. عواملی نظیر دفع مناسب فاضلاب ها و ضایعات مراکز صنعتی، پخش آلاینده توسط پالایشگاهها و نیروگاهها، نشت آلاینده از مخازن نفتی زیر زمینی و ایستگاه های سوختگیری، تصادفات تانکرها و نفتکش ها به این مشکل دامن میزنند. تجمع این ترکیبات شیمیایی درمحیط زیست، تهدیدی جدی برای سلامت انسان، موجودات و اکوسیستم های زنده است (میرسال، ۲۰۰۴). رفع آلودگی مواد مذکور با روشهای مختلف از جمله روشهای شیمیایی، فیزیکی، زیستی و یا ترکیبی از این روش ها قابل انجام است. یکی از راه های ارزان و مقرون به صرفه، استفاده از ریز موجودات و گیاهان روش زیستی برای حذف و یا کاهش آلودگی نفتی است. آلودگی خاک و منابع آبریز زمینی با آلایندههای مختلف از جمله هیدروکربونها و حلالهای شیمیایی، آثارمنفی زیست محیطی متنوعی به دنبال دارد. آلایندهی محیط زیر زمینی با هیدروکربن های نفتی در اطراف پالایشگاه ها، جایگاههای سوختگیری، مخازن نفت و فرآورده های نفتی و محل عبور لوله های تاسیسات انتقال سوخت، ازحساسیت ویژه ای دارد، چرا که معمولاً از شروع آلودگی تا تشخیص آن مدت زمانی طولانی می گذرد و در صورت بروز، درمان آن به زمان و هزینه های اقتصادی چشمگیری نیاز دارد. از طرف دیگر، آلودگی ناشی از فعالیتهای صنعتی، همواره موجب دلمشغولی دست اندر کاران صنعت و مراجع ناظر بر حفظ محیط زیست بوده و برگزیدن سیاستهای سازگار و راه حل های منطقی برای پاکسازی محیط زیست در مسیرپهمانگ با ملاحظات زیست محیطی، اجتناب ناپذیر است. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر آلودگی های نفتی بر مقاومت خاک می باشد. آلودگی های نفتی تاثیرات زیست محیطی جبران ناپذیری را دنبال دارند و می توانند در فرسایش خاک موثر باشند و منجر به از بین رفتن لایه های خاک شوند. از جمله مشکلات آلودگی های نفتی در خاک می توان به تجمع مواد سمی اشاره کرد که ادامه حیات را برای انسان و سایر جانداران دچار مشکل می نماید. مواد نفتی با ورود به خاک می توانند وارد آب های زیر زمینی شوند و با آلوده کردن این آب ها ادامه حیات را با چالش مواجه نمایند. در صورتیکه اقدامات لازم برای این امر صورت نگیرد می تواند بعنوان یک چالش زیست محیطی مطرح که رفع آن بسیار دشوار است. با توجه به اینکه آلودگی های نفتی یکی از عوامل تاثیر گذار بر فرسایش خاک می باشد که منجر می شود خاک مقاومت خود را از دست دهد و برای کشاورزی کیفیت کمتری داشته باشد. ضروری است در این تحقیق ابعاد مختلف فرسایش خاک مورد بررسی قرار گیرد و راهکارهای لازم جهت مقابله با فرسایش خاک صورت گیرد. خاک بعنوان یکی از مهمترین ابزارهایی است که بشر نیاز زیادی به آن دارد. در صورت عدم توجه به فرسایش خاک زندگی بشر تحت تاثیر قرار گرفته و زندگی را به چالش می کشاند. بشر از قرنهای پیش پی به وجود نفت برده و این ماده روغنی شکل و سوزان را از دیرزمان مورد مصرف قرار داده و به اشکال مختلف از آن استفاده کرده است ولی همواره کنجکاو بوده که این روغن معدنی چگونه در قطر زمین تشکیل شده و سپس از شکافهای زمین نفوذ کرده و به سطح زمین آمده است.



شکل ۲: خاک با نفت خام آغشته گردید تا برای آزمایشات مورد بررسی قرار بگیرد.



شکل ۱: خاک طبیعی که از فاصله ۲۰ کیلومتری پالایشگاه بی بی حکیمه گردآوری و در انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

وسایل مورد نیاز: استوانه تراکم چهار اینچ- چکش تراکم- ترازو دیجیتالی- قوطی- اونمراحل انجام آزمایش تراکم خاک: مقدار خاک مورد نیاز ۶۰۰۰ گرم را که از الک ۴ میلیمتر عبور داده ایم را با ۳۰۰ سانتی متر مکعب آب مخلوط می کنیم تا رطوبت به طور یکنواخت در خاک مخلوط شود. سپس طی سه مرحله خاک را در قالب ریخته در هر مرحله بیست و پنج ضربه بوسیله چکش خاک را می کوبیم؛ و سپس روی قالب را با کاردک صاف می کنیم و آن را وزن کرده و یادداشت می کنیم و مقداری از خاک مرطوب را در قوطی ریخته و وزن می کنیم و عدد رو شماره آن را یادداشت نموده و آن را در اون به مدت ۲۴ ساعت قرار می دهیم تا خشک شود سپس خاک خشک را وزن کرده و آنرا یادداشت می کنیم و در مراحل بعد که با ۲۵۰ و ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر مکعب آب انجام می شود را نیز به مراحل آزمایش به همین صورت انجام داده و در هر مرحله وزن خاک مرطوب و خشک شده آن را بعد از ۲۴ ساعت قرار دادن در آن یادداشت می کنیم. بیشترین وزن خاک مرطوب به ۲۰۰ سانتی متر مکعب آب می باشد. سپس با تعیین درصد رطوبت میانگین و دانستیه خشک خاک معلوم می شود درصد رطوبت بهینه خاک رس مورد مطالعه آزمایش ۱۲/۹ و حداکثر دانستیه خشک *** ۱/۸ می باشد.

۳- مراحل آزمایش تراکم خاک با پنج درصد مواد نفتی

۳-۱- شرح آزمایش



شکل ۳: الک ۳/۴ برای جداسازی خاک ریز و درشت و استفاده از خاک ریز برای آزمایش



شکل ۵: ریختن خاک در قالب که مقدار خاک مورد نیاز گردآوری شده در قالب مخصوص خود برای انجام آزمایشات مختلف ریخته شد.

مقدار خاک نمونه برداشت شده از محل را از الک ۴/۳ عبور می دهیم و مقدار مورد نیاز آزمایش را از آن برداشت می کنیم. (شکل ۳) خاک مورد نیاز که به اندازه ۶۰۰۰ گرم را با پنج درصد نفت خام که در حدود ۳۰۰ سانتی متر مکعب می باشد مخلوط می کنیم و بهم می زنیم تا نفت خام بطور یکنواخت تمام سطح خاک را بپوشاند. (شکل ۴) و پنج مرحله تراکم را با درصدهای آب ۲۵۰ و ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ و ۵۰ سی سی انجام می دهیم در هر مرحله تراکم خاک با مواد نفتی را طی سه مرحله در قالب ریخته می شود و در هر مرحله با بیست و پنج ضربه چکش خاک کوبیده می شود و سپس با کاردک روی قالب را صاف کرده و قالب را وزن کرده و یادداشت می نماییم. (شکل ۵)



شکل ۴: خاک آلوده به نفت که با نفت خام آغشته گردید تا برای آزمایشات مورد بررسی قرار بگیرد

سپس مقداری از این خاک را در قوطی مخصوص ریخته و آنرا وزن کرده و سپس وزن و شماره قوطی را یادداشت می کنیم و آنرا در آن به مدت بیست و چهار ساعت قرار می دهیم تا خشک شود و دوباره آنرا وزن کرده و وزن آنرا یادداشت می کنیم این مراحل را برای چهار مرتبه دیگر با مقدار آبهای ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ انجام می دهیم؛ و روش کار در تمام مراحل مثل یکدیگر می باشند و در هر مرحله باید مقدار آب و وزن خاک مرطوب + قالب و وزن خاک مرطوب و دانستیه خاک تر و شماره قوطی و وزن خاک خشک + قوطی و وزن خاک تر + قوطی و وزن خاک خشک و وزن خاک مرطوب را یادداشت و سپس درصد

رطوبت خاک و درصد رطوبت میانگین و دانسیته خاک خشک را بدست می آوریم. بعد از انجام پنج مرحله تراکم معلوم می شود که حداکثر دانسیته خاک خشک با مواد نفتی ۱/۷ است و درصد رطوبت بهینه با مواد نفتی ۱۳/۶ است (شکل ۶)



شکل ۶: دستگاه آون برای حفظ حرارت طبیعی و رطوبت خاک

۳-۲- بررسی تراکم پذیری خاک های آلوده به مواد نفتی

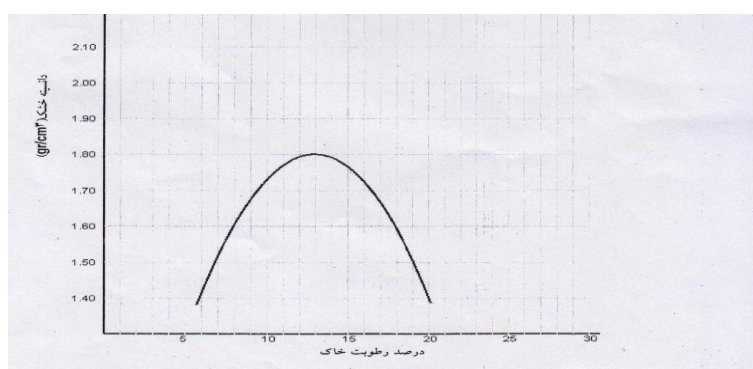
برای بررسی تراکم پذیری خاک های آلوده به مواد نفتی و خاک های طبیعی پارامترهای دانسیته خشک خاک و درصد رطوبت خاک مورد بررسی قرار می گیرند. تراکم پذیری یکی از پارامترهای موثر بر پایداری خاک است که برای محاسبه آن مقدار رطوبت، ϕ و c مد نظر است که از خاک های برداشتی بوسیله دستگاه محاسبه می شود و هر چه بیشتر باشد خاک تراکم پذیر تر است. نتایج تراکم پذیری نشان داد که برای خاک های آلوده به مواد نفتی میانگین رطوبت خاک ۱۴/۲۶ و برای خاک طبیعی ۱۲/۹ درصد بوده است. مقدار رطوبت خاک آلوده به مواد نفتی ۴۶/۷ گرم و خاک طبیعی ۴۲/۲ گرم بدست آمده است. (جدول ۱). دانسیته خاک برای خاک های آلوده به مواد نفتی ۱/۶۶ گرم بر سانتی متر مکعب و برای خاک های طبیعی ۱/۸۲ گرم بر سانتی متر مکعب بدست آمده است. (جدول ۱).

جدول ۱: بررسی تراکم پذیری خاک

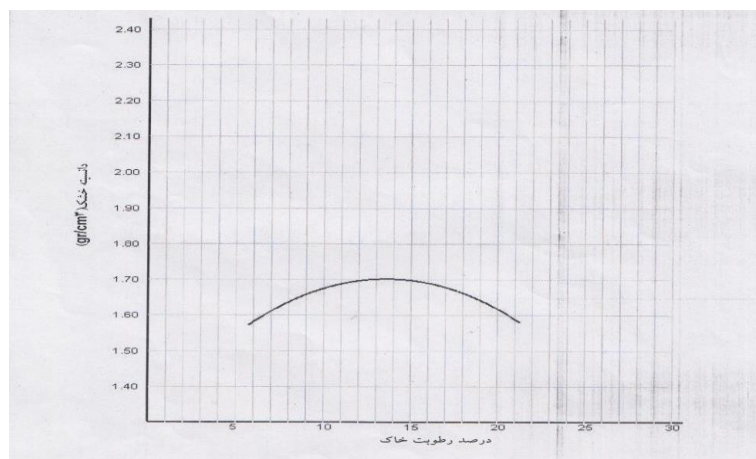
دانسیته خشک	درصد رطوبت خاک	رطوبت خاک	
۱/۶۶±۰/۲۱	۱۴/۲۶±۲/۳	۴۶/۷±۴/۳	خاک آلوده به مواد نفتی
۱/۸۲±۰/۱۴	۱۲/۹±۴/۵	۴۲/۲±۵/۲	خاک طبیعی

۳-۳- مقایسه تراکم پذیری خاک آلوده به مواد نفتی و خاک طبیعی

مطابق نمودارهای ۱ و ۲ که بترتیب تراکم پذیری خاک های آلوده به مواد نفتی و خاک های طبیعی را نشان می دهد دانسیته خشک خاک طبیعی بالاتر از خاک آلوده به مواد نفتی است که نمودار آن بصورت هذلولی بوده و با افزایش درصد رطوبت دانسیته بالا رفته و به میزان حداکثر می رسد، پس از مدتی متوقف می گردد. نمودار ۱ و ۲.



نمودار ۱: تراکم پذیری خاک طبیعی



نمودار ۲: تراکم پذیری خاک آغشته به نفت

۴- صحت سنجش و اعتبار سنجی نتایج

برای سنجش نتایج در این تحقیق از نرم افزار SPSS نسخه شماره ۲۳ استفاده شد. نرم افزار SPSS یکی از نرم افزارهای پرکاربرد در علوم مختلف می باشد که با پیشرفت تکنولوژی های جدید همواره کاربرد آن بیشتر شده است. به کمک این نرم افزار می توان بسیاری از مشکلات را برطرف کرد. بواسطه این نرم افزار می توان بین متغیرها میانگین، انحراف معیار از آمار توصیفی و سطح خطا را از آمار استنباطی بدست آورد. این نرم افزار بین متغیرها همبستگی بر. تراکم پذیری یکی از پارامترهایی بوده که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی این پارامترهایی از قبیل رطوبت خاک، درصد رطوبت خاک و دانسیته خشک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درصد رطوبت خاک در خاک های آغشته به نفت بیش از خاک طبیعی بوده که این امر ناشی از نفوذ نفت به خاک بوده است. بطوریکه رطوبت برای خاک آغشته به نفت ۱۴/۲۶ و برای خاک های طبیعی ۱۲/۹ درصد بدست آمده است. دانسیته خاک در خاک طبیعی بیشتر از خاک آلوده به مواد نفتی بوده است. برای خاک طبیعی ۱/۸۲ و برای خاک آلوده به مواد نفتی ۱/۶۶ بدست آمده است. در تبیین یافته های حاصل از این مطالعه می توان گفت که هر چه رطوبت خاک بیشتر باشد، دانسیته آن کمتر است و با افزایش رطوبت، دانسیته خاک کمتر می گردد و این امر در تراکم پذیری خاک می تواند تاثیر گذار باشد. بین رطوبت و دانسیته نسبت عکس وجود دارد و هر چه رطوبت بیشتر باشد دانسیته کمتر و در نتیجه تراکم خاک نیز کاهش می یابد که کاهش تراکم خاک می تواند عواقب جدی بدنبال داشته باشد و این امر در بروز رانش زمین موثر است. تراکم پذیری خاک چنانچه مواد نفتی به درون لایه های داخلی آن نفوذ پیدا کنند بشدت کاهش می یابد و برای جلوگیری از نفوذ مواد نفتی لازم است اقدامات ایمنی از قبیل بتن ریزی می تواند از این امر جلوگیری نماید. نتایج این مطالعه با یافته های اسدی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در رابطه با تاثیر آلودگی های نفتی بر خاک های مناطق نفتی ایران که نتایج نشان داد آلودگی های نفتی با تخریب لایه های خاک منجر به آلودگی خاک شده و تجزیه خاک و آلودگی های زیست محیطی را بدنبال دارند همسو می باشد. همچنین یافته های این پژوهش با مطالعات هیوان و همکاران (۲۰۱۳) که به مطالعه تاثیر آلودگی نفتی بر تراکم خاک های اطراف پالایشگاه سیچوان چین پرداختند و نتایج نشان داد رطوبت خاک در اثر نشت مواد نفتی افزایش و دانسیته خاک کاهش چشمگیری داشته همسو می باشد. نتایج این مطالعه بیانگر این است که دلیل افزایش رطوبت خاک ناشی از رسوب نفت و ترکیبات شیمیایی همراه آن به درون لایه های زمین می باشد که در کاهش تراکم پذیری موثر است. یافته های این مطالعه با نتایج شریعتی (۱۳۸۴) که در رابطه با نقش آلودگی های نفتی در فرسایش خاک های جنوب ایران انجام داد و نتایج نشان داد که آلودگی های خاکی با ورود به خاک زمینه فعالیت فلزات سنگین را فراهم می نماید که این امر می تواند منجر به آلودگی خاک شود و در نتیجه مشکلات فرسایشی برای خاک در پی داشته باشد همسو می باشد.

۵- نتیجه گیری

در خصوص تراکم پذیری خاک نتایج این مطالعه بیانگر این است که در خاک های آغشته به نفت ضریب تراکم پذیری بالاتر از خاک های طبیعی بوده بطوریکه از ۱۲/۹ در خاک طبیعی به ۱۴/۲۶ در خاک آغشته رسیده است. در مقایسه نتایج این مطالعه با یافته های کیم (۲۰۰۹) نتایج بیانگر همسویی بوده و هر دو مطالعه بر تاثیر رطوبت بر افزایش تراکم پذیری تاکید دارند.

منابع

۱. ابراهیمی، سهیلا، شایگان، جلال، ملکوتی، محمدجعفر، اکبری، علی، (۱۳۹۰)، ارزیابی زیست محیطی و سنجش برخی شاخص های مهم آلودگی نفتی در اراضی محدوده پالایشگاه گاز سرخون بندرعباس، مجله محیط شناسی، ص ۹-۱۸.
۲. بشارتی، حسین، (۱۳۹۲)، پالایش میکروبی خاک های آلوده به مواد نفتی و بررسی نقش رایزوسفر در کارایی ریز جانداران، نشریه پژوهش های خاک، صص ۵۷۱-۵۸۲.
۳. جعفری، منیژه؛ ابراهیمی، سهیلا، موحدی، علیرضا، (۱۳۹۲)، زیست پالایی خاک های آلوده به نفت کوره تحت تأثیر همزمان کمپوست زباله شهری و برخی کودهای شیمیایی، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، صص ۴۳-۵۶.
۴. شریعتی، محمدرضا. فرشوی رضا و گرکانی نژاد. صادق، (۱۳۸۹)، نقش آلودگی های نفتی در فرسایش خاک های جنوب ایران مجله خاک و آب، جلد ۵ شماره ۳ ص ۲۶۰ تا ۲۸۷.
۵. صدقیانی، محمدحسین، جبرانی، مرتضی، (۱۳۸۳)، بررسی آزمایشگاهی تأثیر آلودگی به نفت خام بر پارامترهای مقاومت، نشست و تراکم پذیری ماسه، اولین همایش مهندسی عمران دانشگاه شریف.
۶. گنجی دوست، حسین، مرادآبادی، احسان، جوادیان، سهیلا، (۱۳۸۸)، بررسی تأثیر شوینده های زیستی تولید شده در فرایند اصلاح زیستی بر انتقال و حذف آلودگی ها در خاک آلوده نفتی، مجله مهندسی عمران امیرکبیر، صص ۹۳-۱۰۴.
7. Pillet, G. Zingg, N. & Maradan, D. (2000). Appraising externalities of the swiss agriculture: a comprehensive view. *Swiss Federal Office of Agriculture*.
8. Pascual, U. Aslam, U. Fezzi, C. & Bateman, I. (2014). Valuing climate change effects upon UK agricultural GHG emissions: spatial analysis of a regulating ecosystem service. *Environmental and Resource Economics*, 57(2), 215-231.
9. Kim, C. U. & Lim, G. (2013). Finding Externalities: An Empirical Study on the US Agricultural Industry. *Modern Economy*, 4(9).
10. AsadiKapourchal, So. AsadiKapourchal, S. Pazira, E. and Homaei, M. 2009. Assessing radish (*Raphanussativus* L.) potential for phytoremediation of Lead- contaminated soils resulting from air pollution. *Soil plant and environment*, 55 (5): 202-206.
11. Elmendorf, D. L. C.E. Haith, G.S. Douglas, R. C. Prince. 1994. Relative rates of biodegradation of substituted polycyclic Aromatic hydrocarbon. In: Hinchee, R. E. lesson, A. Semprini, L. Ooong, S. K. (Eds.), *Bioremediation of chlorinated and polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds*. Lewis, Boca Raton, FL, pp. 188-202.
12. Kim S.J. Choi D.H. Sim D.S. and Oh Y.S. 2005. Evaluation of bioremediation effectiveness on crude oil contaminated sand. *Chemosphere*. 59:845-852.
13. Mirsal Ibrahim, A. 2004. *Soil pollution: origin, monitoring and remediation*, 1st Ed. Springer, Germany.
14. Saleha, h. (2008) Microbial Metabolism of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 723-736.
15. Wick, L.Y. Remer, R. Wu, B. Reichenbach, J. Braun, S. Schafer, F. Harms, H. 2007. Effect of fungal hyphae on the access of bacteria to phenanthrene in soil. *Environ. Sci. Technol.* 41, 500-505.

مدلسازی تأثیر پارامترهای فیزیکی سطح و سیال بر خوردگی شناورها با استفاده از نرم افزار کامسول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

کد مقاله: ۹۱۹۱۷

بهروز شیرمحمدی^{۱*}، مهدی وهنانی^۲

چکیده

در این پژوهش تأثیر پارامترهای فیزیکی پوشش پروانه و بدنه، سرعت، رسانایی الکترولیت و طول شناور در توزیع پتانسیل و جریان سطح آن‌ها مطالعه شده است. برای مدلسازی از نرم افزار کامسول با توزیع جریان ثانویه استفاده شده است. ترسیم نمودارهای توزیع پتانسیل و جریان برای تحلیلی خوردگی سطوح به کار برده شده‌اند. از مدلسازی نتیجه شد الگوی تغییرات پتانسیل در حالات مختلف با دو آند برای حفاظت کاتدی شناور یکسان است و بیشترین پتانسیل مربوط به بخش شفت و کمترین پتانسیل مربوط به آند است در نتیجه بیشترین خوردگی شناور را بخش پيشران آن شامل پروانه و شفت تجربه می‌کنند. همچنین پوشش پروانه بیشترین تأثیر را در کاهش میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی شناور دارد.

واژگان کلیدی: مدلسازی، خوردگی، الکتروشیمی، کامسول، شناور

۱- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (نویسنده مسئول) b_shirmohammadi@aur.ac.ir

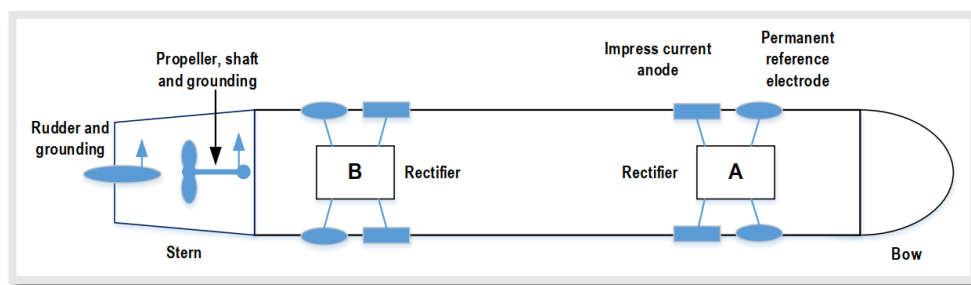
۲- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۱- مقدمه

خوردگی واکنش برگشت‌ناپذیر سطحی ماده (فلز، سرامیک، پلیمر) با محیط است که باعث مصرف ماده یا انحلال آن در ماده-ی یک جزء محیط می‌شود (تعریف آیوپاک) [۱]. این پدیده بسیار هزینه‌بر است و بین ۳ تا ۵ درصد از تولید ناخالص داخلی کشورها را به خود اختصاص می‌دهد [۲]. پوشش ۷۰ درصدی سطح زمین توسط دریا باعث شده است آب دریا بعد از اتمسفر گسترده‌ترین محیط خورنده باشد. عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله نمک‌ها و گازهای محلول، ذرات جامد، دما، موج آب، حیوانات، گیاهان و جلبک‌ها باعث شدت یافتن خوردگی در آب دریا می‌شود [۳].

روش‌های مختلفی برای حفاظت از سطح در برابر آب دریا وجود دارد. از جمله‌ی این روش‌های انتخاب جنس مناسب تجهیز و طراحی آن، استفاده از پوشش‌ها، عملیات سطحی مثل آندایزینگ، بازدارنده‌های خوردگی، حفاظت کاتدی و آندی هستند. اما مهم-ترین روش‌ها برای حفاظت کشتی‌ها در آب دریا استفاده از پوشش و حفاظت کاتدی هستند. عمده‌ی وظیفه‌ی پوشش در شناورها حفاظت در برابر میکروارگانیسم‌های دریایی هستند و حفاظت فلز در برابر خوردگی الکتروشیمیایی تحت تأثیر الکترولیت آب دریا توسط حفاظت کاتدی تأمین می‌شود [۴،۵].

حفاظت کاتدی به دو روش آند گالوانی (آند فداشونده) و جریان تزئینی انجام می‌شود. در روش آند گالوانی یک فلز که در برابر خوردگی ضعیف‌تر است با سازه در تماس قرار می‌گیرد و الکترون‌های مورد نیاز برای حفاظت سطح از این طریق تأمین می‌شود. اما در روش جریان تزئینی از یک منبع جریان خارجی (منبع تغذیه) برای تبدیل آند به کاتد استفاده می‌شود. شکل ۱ سیستم حفاظت کاتدی جریان تزئینی را برای یک کشتی نمایش می‌دهد. در این سیستم پتانسیل ابتدا توسط سلول مرجع اندازه‌گیری می‌شود سپس این داده‌ها به منبع تغذیه می‌رود و جریان مورد نیاز برای حفاظت به آند فرستاده می‌شود. در نهایت جریان رسیده به آند صرف صفر کردن اختلاف پتانسیل می‌شود [۵،۶].



شکل ۱- سامانه‌ی حفاظت کاتدی جریان تزئینی جهت حفاظت از سطح کشتی‌ها [۶]

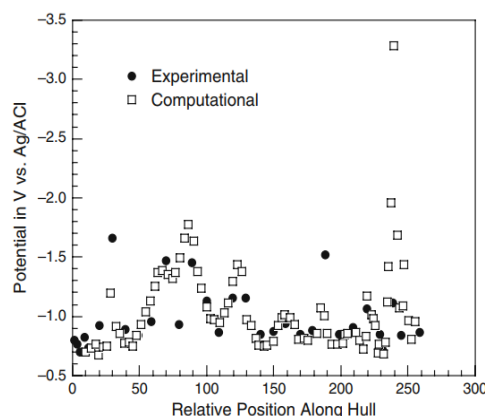
مدلسازی کامپیوتری خوردگی به یک روش قابل اتکا در بسیاری از مطالعات خوردگی به عنوان مکمل فعالیت‌های آزمایشگاهی تبدیل شده است. در سال‌های اخیر روش عددی عناصر مرزی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های حفاظت کاتدی جریان تزئینی^۱ در شرایط متنوعی شامل آرایش‌های مختلف ICCP، عملکرد پوشش‌ها، جزئیات هندسی بدنه‌ها و خوردگی گالوانی کشتی‌های استفاده شده است. این رو به یک ابزار قدرتمند برای طراحی و آنالیز سیستم‌های حفاظت کاتدی جریان تزئینی تبدیل شده است [۵].

لوکاس و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۵ یک مدل کامپیوتری را برای پیش‌بینی توزیع پتانسیل و جریان در طول یک شناور ۳۱۷ متری تحت حفاظت کاتدی با ۱۷ آند را توسعه دادند. آن‌ها معادله‌ی لاپلاس را برای این سسامانه با استفاده از روش المان مرزی حل کردند. نتایج حاصل را با داده‌های حاصل مدلسازی و نتایج حاصل از فعالیت تجربی در شکل ۲ مقایسه شده‌اند. همچنین هابر و وانگ [۷] در سال ۲۰۱۲ یک مدل دیگر را برای شناور ۲۵ متری و در سرعت‌های مختلف مدلسازی کردند. مدل دارای ۲ آند در طرفین شناور و سرعت از صفر تا ۳۵ نات افزایش می‌یافت. نتیجه‌ی حاصل از مدلسازی نشان از پتانسیل بالای ناحیه‌ی شفت و پروانه را برای شناور داشت و تأثیر بالای پوشش دادن پروانه در حفاظت از خوردگی را نمایش می‌داد.

مدلسازی‌های مختلفی جهت تفسیر صحیح از پدیده‌ی خوردگی گالوانی نیز توسط گروه‌های مختلف ارائه شده است. دشپند [۸] در سال ۲۰۱۰ یک مدل برای خوردگی گالوانی منیزیم-استیل ارائه کرد و با نتایج حاصل از نرم افزار کامسول مورد مقایسه قرار داد. نتایج حاصل نشان از پیش‌بینی قابل قبول نرم افزار از توزیع پتانسیل و جریان در نواحی مختلف سامانه داشت. همچنین ترنر و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۳ با استفاده از نرم افزار کامسول به بررسی سیستم خوردگی گالوانی در هندسه‌های مختلف

1 Impressed current cathodic protection

پرداخته‌اند. در سال ۲۰۲۱ نیز ژائو و همکاران [۱۰] با توسعه‌ی یک مدل و مقایسه‌ی آن با نتایج تجربی و نتایج حاصل از نرم‌افزار کامسول توافقی نسبی این مدل‌ها را نتیجه گرفتند.



شکل ۲- پروفایل پتانسیل در طول شناور برای شناور ۳۱۷ متری نسبت به الکترود مرجع نقره/ نقره کلرید [۵]

در این پژوهش ما به بررسی پارامترهای تأثیر پوشش پروانه و بدنه‌ی شناور، طول شناور، سرعت شناور و تغییرات رسانایی الکترولیت در توزیع پتانسیل و جریان بدنه‌ی آن می‌پردازیم.

۲- تئوری و روش کار

معادله‌ی حاکم بر توزیع پتانسیل الکترولیت معادله‌ی لاپلاس است [۱۱]:

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (1)$$

که در آن ∇ عملگر دیفرانسیل است. این معادله تنها زمانی اعمال می‌شود که محلول از لحاظ الکتریکی خنثی باشد، واکنشی شیمیایی که باعث تولید و یا مصرف گونه‌ها شود در توده سیال رخ ندهد و هیچ گرادیان غلظتی در توده محلول وجود نداشته باشد. برای به دست آوردن جریان در هر نقطه از رابطه‌ی (۲) استفاده می‌شود:

$$i = -\sigma \nabla \varphi \quad (2)$$

که در آن σ رسانایی الکترولیت است [۱۲]. ضرایب باتلر-ولمر (رابطه (۳)) که برای شرایط مرزی به کار برده شده‌اند از نتایج فعالیت‌های آزمایشگاهی استخراج شده‌اند.

$$i_{net} = i_0 \exp\left(\frac{a_{anodic} z F (\varphi - \varphi_0)}{RT}\right) - i_0 \exp\left(\frac{-a_{cathodic} z F (\varphi - \varphi_0)}{RT}\right) \quad (3)$$

همچنین در نقاطی که عایق در نظر گرفته می‌شوند شرط مرزی به صورت زیر است:

$$n \cdot i_l = 0 \quad (4)$$

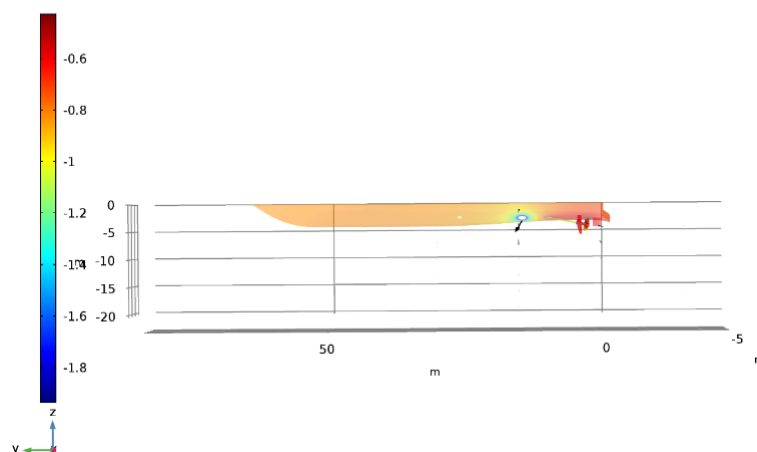
جنس شناور از آلومینیوم ۶۲۵ و پروانه از جنس نیکل-آلومینیوم-برنز است. مقدار مورد استفاده برای رسانایی الکترولیت ۴ و ۲٫۵ در دو حالت است. مش استفاده در پژوهش ریز و بسیار ریز با حداقل و حداکثر مقدار ۰٫۰۱ تا ۱٫۵ متر بوده است (شکل ۳).

۳- نتایج

شکل‌های (۳) توزیع پتانسیل شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات را در حالت بدون پوشش پروانه و شفت نمایش می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود پتانسیل در بخش پیشران شناور و در همسایگی پروانه و شفت بیشترین میزان را دارد و در آند و همسایگی‌های آند کمترین میزان پتانسیل مشاهده می‌شود. همچنین از آند هرچقدر دورتر می‌شویم میزان پتانسیل در نوک شناور بیشتر و در نتیجه خوردگی آن افزایش می‌یابد. شکل (۴) اما توزیع پتانسیل شناور در حالتی را نمایش می‌دهد که پروانه‌ی شناور پوش داده شده است. در این مشاهده‌ی توزیع پتانسیل نشان می‌دهد که حداکثر پتانسیل به سمت شفت حرکت کرده است و

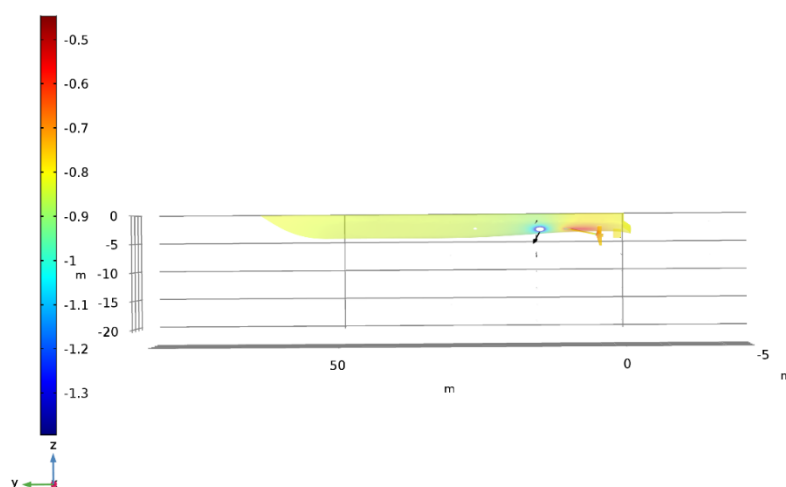
پتانسیل اطراف پروانه تا حدودی کاهش یافته است. با استفاده از شکل (۵) که تغییرات پتانسیل در طول شناور را نمایش می‌دهد می‌توان مقایسه‌ی بهتری از دو شناور داشت. این شکل نشان می‌دهد الگوی تغییرات پتانسیل در دو شناور مشابه می‌باشد اما دامنه‌ی تغییرات پتانسیل در شناور بدون پوشش پروانه برابر ۰.۵۳ و برای شناور با پوشش برابر ۰.۲۳ ولت است. همچنین دیده می‌شود که حداکثر پتانسیل در طول شناور برای حالت با پوشش پروانه در ناحیه‌ی شفت و همسایگی آن است در حالیکه بدون پوشش این میزان حداکثر به سمت پروانه حرکت می‌کند.

Arrow Volume: Electrolyte current density vector Surface: Electrode potential vs adjacent reference (V)
Surface: Electrode potential vs adjacent reference (V) Surface: Electrode potential vs adjacent reference (V)
Surface: Hull potential vs Ag/AgCl (V)



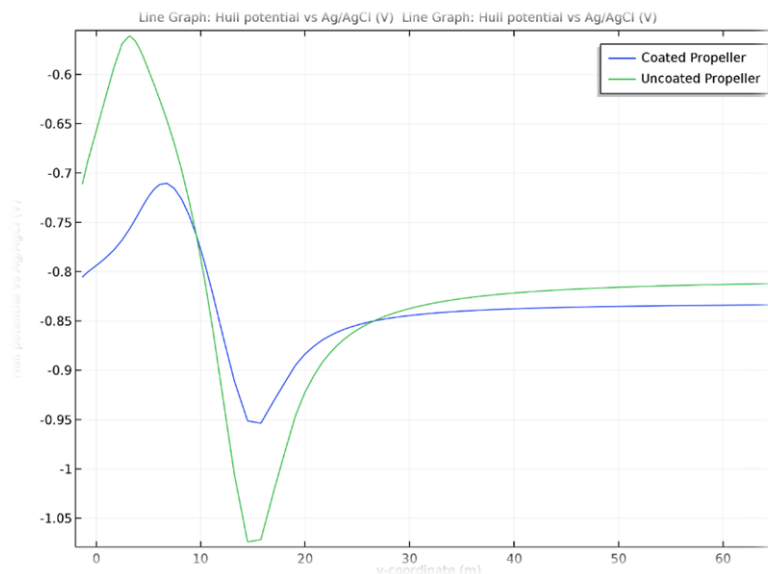
شکل ۳- توزیع پتانسیل بدنه‌ی شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات و بدون پوشش پروانه

Arrow Volume: Electrolyte current density vector Surface: Electrode potential vs adjacent reference (V)
Surface: Hull potential vs Ag/AgCl (V)

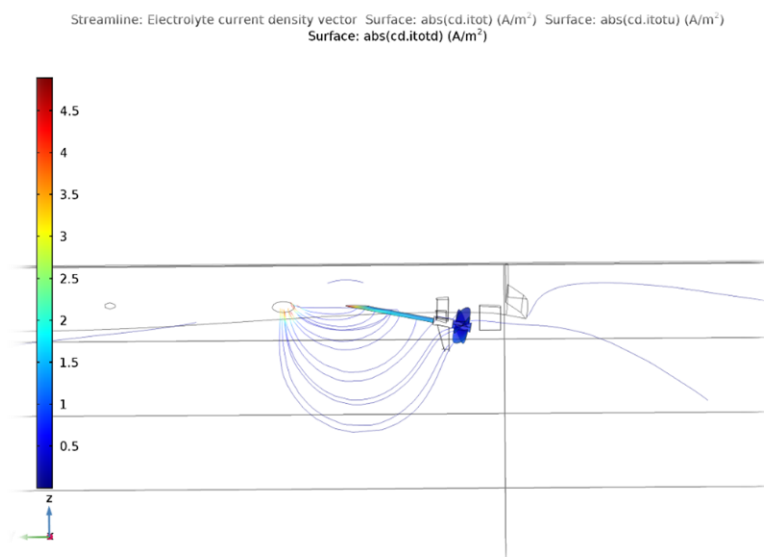


شکل ۴- توزیع پتانسیل بدنه‌ی شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات با پوشش کامل پروانه و بدنه

شکل (۶) توزیع و خطوط جریان در الکترولیت در حالت شناور بدون پوشش پروانه را نمایش می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود میزان جریان بیشتری در شفت برای حفاظت از آن هزینه می‌شود که این مقدار در دهانه‌ی ابتدایی شفت بسیار بیشتر از سایر نواحی آن است. از انتگرال‌گیری بر روی آند برای اندازه‌گیری میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی سطح میزان ۱۸.۲۶ آمپر به دست می‌آید. این مقدار برای حالت پروانه‌ی دارای پوشش برابر ۹.۳۵ آمپر است که حاصل کم کردن سطح لخت در معرض الکترولیت است.

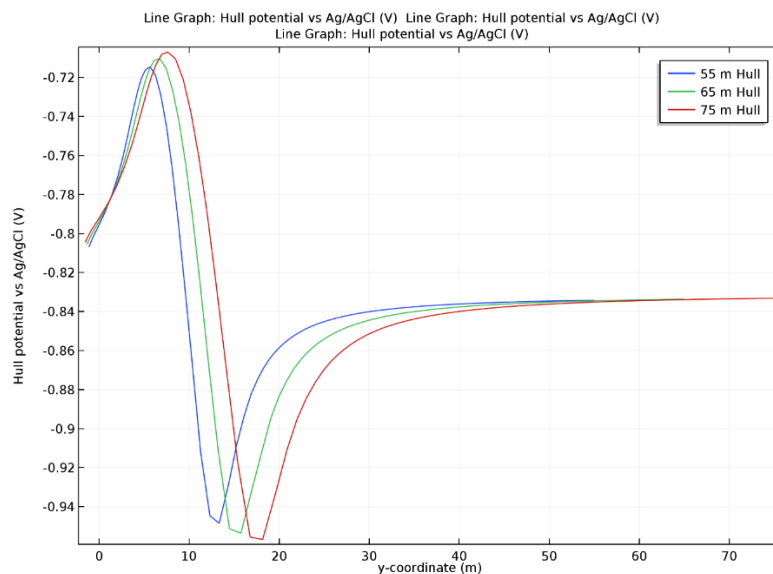


شکل ۵- مقایسه‌ی پروفایل پتانسیل دو حالت با پوشش و بدون پوشش پروانه برای شناور ۶۵ متری متحرک با سرعت ۵ نات



شکل ۶- توزیع جریان بدنه‌ی شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات و بدون پوشش پروانه

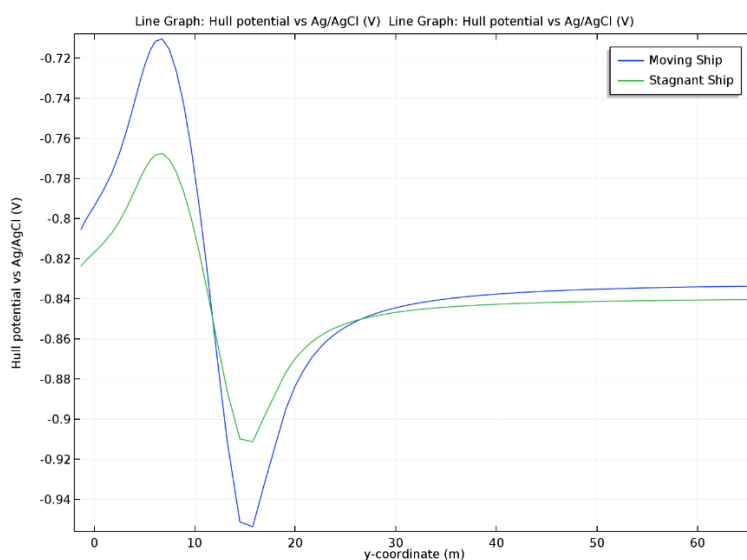
شکل (۷) تأثیر طول شناور در توزیع پتانسیل سطح آن را نمایش می‌دهد. چنانکه از شکل‌ها پیداست الگوی تغییرات پتانسیل شبیه به هم است و در ناحیه‌ی پیشران میزان پتانسیل بیشتر و در نتیجه خوردگی بیشتری را مشاهده می‌کنیم و در ناحیه‌ی آند کمترین میزان مشاهده می‌شود. نکته‌ی دیگر که از شکل‌ها قابل استنباط است برابر بودن دامنه‌ی تغییرات پتانسیل در حالت است. به دلیل تغییر نکردن جنس تجهیزات و الکترولیت که خاصیت الکتروشیمیایی مشابهی را نشان می‌دهند این میزان تغییر زیادی را نشان نمی‌دهد. اما میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت از سطح به دلیل افزایش کل سطح شناور با افزایش طول شناور بیشتر می‌شود. این میزان برای شناورهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ متری به ترتیب برابر ۷،۶۲، ۹،۳۵ و ۱۱،۱۰ آمپر است.



شکل ۷- مقایسه‌ی توزیع پتانسیل بدنه‌ی شناورهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات با پوشش کامل بدنه و پروانه

شکل (۸) به مقایسه‌ی توزیع پتانسیل در دو حالت شناور ساکن و متحرک می‌پردازد. در حالت متحرک ناور با سرعت ۵ نات حرکت می‌کند. چنانکه می‌بینیم دامنه‌ی تغییرات پتانسیل در حالت متحرک بزرگ‌تر است و به همین سبب میزان جریان مورد نیاز جهت حفاظت نیز بیشتر است. این میزان برای حالت ساکن برابر ۵,۵۲ آمپر است در حالیکه برای حالت متحرک برابر ۹,۳۵ می‌شود.

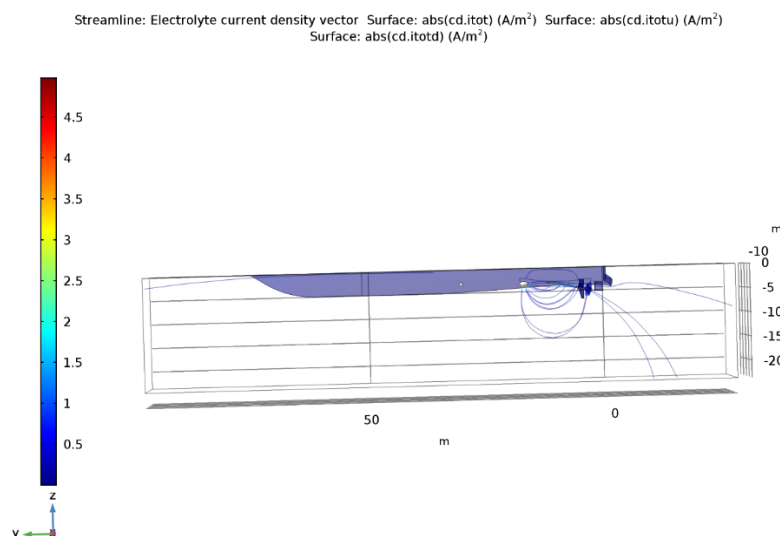
برای حالتی که میزان نمک در آب و در نتیجه رسانایی آن تغییر کند ضرایب باتلر-والمر نیز تغییر می‌کنند. اما آنچه تغییر بی‌تر در جریان مورد بری حفاظت را تعیین می‌کند میزان رسانایی الکترولیت است که مستقیماً در گردادیان پتانسیل ضرب می‌شود. در حالت رسانایی الکترولیت ۴ زیمنس بر ثانیه میزان جریان برای حفاظت شناور ۶۵ متری متحرک با سرعت ۵ نات برابر ۹,۳۵ آمپر است. این میزان برای همین شناور در آبی با رسانایی ۲,۵ زیمنس بر ثانیه برابر ۵,۹۵ آمپر است.



شکل ۸- مقایسه‌ی توزیع پتانسیل بدنه‌ی شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات و جریان ساکن

شکل (۹) توزیع جریان در شناور ۶۵ متری بدون پوشش پروانه و با تخریب ۱۵ درصدی پوشش سطح بدنه را نشان می‌دهد. شکل توزیع جریان در تمام سطح بدنه را به دلیل تخریب پوشش نمایش می‌دهد. چگالی جریان در بخش پیش‌ران شناور بیشتر از

سایر نقاط است. مقدار جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی سطح با انگرال گیری بر روی سطح آند در این حالت ۲۲,۴۱ آمپر به دست می آید.



شکل ۹- توزیع جریان بدنه‌ی شناور ۶۵ متری در حرکت با سرعت ۵ نات و بدون پوشش پروانه و ۱۵ درصد کاهش کارایی پوشش بدنه

۴- نتیجه گیری

- در این پژوهش به مدلسازی حفاظت کاتدی شناورها با استفاده از نرم افزار کامسول پرداخته شد. شناور ۶۵ متری برای حالات بدون پوشش پروانه و با پوشش پروانه، تغییرات الکترولیت، در سرعت ۵ نات و آب ساکن و سه شناور به طول‌های ۵۵، ۶۵ و ۷۵ متری در حالت پوشش پروانه پوشش مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش به صورت خلاصه نتایج زیر به دست آمد:
- در شناورها در حالت بدون پوشش توزیع پتانسیل بدنه‌ی شناور و داخل الکترولیت به نسبت حالت دارای پوشش پروانه یکنواختی کمتری وجود دارد و دامنه‌ی تغییرات پتانسیل بسیار بیشتر از حالت دارای پوشش است. که این موضوع به افزایش میزان فلز لخت در معرض الکترولیت وابسته است.
- در شناور بدون پوشش میزان جریان برای حفاظت از بدنه‌ی شناور بسیار بیشتر از حالت پوشش دار است. میزان جریان مورد نیاز در حالت بدون پوشش برای شناور ۶۵ متری ۹,۳۵ آمپر و در حالت پوشش دار این میزان جریان برابر ۱۸,۲۶ آمپر است.
- با افزایش طول بدنه‌ی شناور توزیع پتانسیل در الکترولیت و بدنه از یکنواختی کمتری برخوردار است. میزان دامنه‌ی تغییرات پتانسیل در شناورهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ متری در حالت بدون پوشش پروانه به ترتیب ۲۳۵، ۲۴۰ و ۲۵۰ میلی ولت است.
- میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت از سطح در هر دو حالت بدون پوشش و دارای پوشش با افزایش طول شناور افزایش می‌یابد. در حالت بدون پوشش این مقدار برای شناورهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ متری به ترتیب برابر ۷,۶۲، ۹,۳۵ و ۱۱,۱۰ آمپر است.
- برای نمایش تأثیر سرعت بر توزیع پتانسیل و جریان و میزان افزایش جریان مورد نیاز حفاظت خوردگی شناور متحرک در جریان ۵ نات نیز مدلسازی گردید و نتایج با حالت ساکن مقایسه شد. در حالت با پوشش پروانه میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی برای شناور ۶۵ متری در سرعت ۵ نات برابر ۹,۳۵ آمپر است که این مقدار برای حالت ساکن برابر ۵,۵۲ آمپر به دست می‌آید که نشان از تأثیر سرعت جریان در میزان افزایش خوردگی سطح دارد.
- میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی بدنه در آب با رسانایی الکترولیت ۴ برای شناور ۶۵ متری در سرعت ۵ نات برابر ۹,۳۵ آمپر است در حالیکه همین مقدار برای آب‌های با رسانایی ۲,۵ برابر ۵,۹۸ آمپر محاسبه می‌شود.
- بعد از ۱۵ درصد تخریب پوشش بدنه میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی بدنه به ۲۲,۲۶ آمپر می‌رسد. این مقدار که در طول زمان با تخریب پوشش به دست می‌آید به دلیل افزایش سطح در معرض الکترولیت است.

- [1] Pietro Pedferri, (2018) Corrosion Science and engineering, Springer, (2018)
- [2] B. Hou et al, The cost of corrosion in china, Materials degradation nature, (2017)
- [3] M. Shutze, M. Roche, and R.Bender, Corrosion resistance of steels, Nickel alloys and zinc in aqueous media, Wiley, (2016)
- [4] Sh. Verma et al, A review on protective polymeric coatings for marine applications, Journal of coating technology and research, (2019)
- [5] V.G.DeGiorgi, S. A. Wimmer, Geometric details and modeling accuracy requirements for shipboard impressed current cathodic protection system modeling, Engineering Analysis with Boundary Elements (2005)
- [6] Cathodic protection of ships, American bureau of shiping, (2017)
- [7] Huber and Y. Wang, Effect of propeller coating on cathodic protection current demand: Sea trial and modeling studies, Corrosion, (2012)
- [8] Kiran B.Deshpande, Validated numerical modelling of galvanic corrosion for couples:Magnesium alloy (AE44)-mild steel and AE44-aluminium alloy (AA6063) in brine solution, Corrosion Science, (2010)
- [9] M. Turner et al, Modeling galvanic corrosion, Comsol conference, Boston, (2013)
- [10] Jiangming Zhao et al, A Peridynamic Model for Galvanic Corrosion and Fracture, Electrochemica Acta, (2021)
- [11] E.McCafferty, Introduction to corrosion science, Springer, (2010)
- [12] E. J. F. Dickinson et al, COMSOL Multiphysics: Finite element software for electrochemical analysis. A mini-review, Electrochemistry Communications, (2014)

مدیریت جلوگیری از خوردگی ورق کف مخازن فولادی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

کد مقاله: ۱۷۱۷۱

کرمعلی عظیم زاده*

چکیده

زمینه و هدف: در اکثر پروژه های نفت و گاز بدلیل وجود وقفه زمانی بین مراحل ساخت تا راه اندازی و پیش راه اندازی که ناشی از موارد مختلف از جمله: ضعف در اجرا، کمبود متریکال و تحریم ها می باشد ورق مخازن فولادی دچار خوردگی می شوند و البته می بایستی به این نکته توجه داشت که خوردگی مواد فلزی امری است که منتظر تکمیل مخزن فولادی نماند و به مرور و با شروع عملیات نصب ورق های فولادی خوردگی در قطعات فولادی آغاز و منجر به کاهش عمر بهره برداری و حتی غیر قابل استفاده شده مخازن فولادی که دچار خوردگی حاد شده اند خواهد گردید این موضوع مهم با در نظر گرفتن نکاتی بسیار ساده و پیش بینی تمهیداتی توسط مدیران ساخت و مدیران پروژه در زمان ساخت به راحتی قابل پیشگیری می باشد که در این مقاله به این موضوع پرداخته شده است. ذکر این نکته خالی از لطف نمی باشد که در پروژه های در حال ساخت در صورتی که به مرحله راه اندازی رسیده باشند پیمانکاران اجرایی کار خود را به اتمام رسانده اند و در صورت بروز مشکلاتی از جمله خوردگی در مخازن نفت و گاز نیازمند برگزاری سیکل طولانی مناقصات و در اختیار گرفتن پیمانکار مجری و در ادامه تعمیر و برطرف نمودن قسمت های که دچار خوردگی حاد شده اند خواهد شد که باعث بروز تاخیرات در اتمام پروژه و همچنین تاخیر شروع عملیات بهره برداری از مخازن فولادی خواهد گردد. در این مقاله به بررسی دلایل خوردگی ورق کف یک مخزن فولادی با سقف متحرک، زمان بر شدن پروژه پرداخته شده است که در پی آن ورق های فولادی کف مخزن دچار خوردگی حاد شده اند و همچنین بررسی راهکارهای مدیریتی و تدابیر پیشگراانه جهت جلوگیری از بروز خوردگی در کف مخازن فولادی خواهد گردید پرداخته شده است.

روش بررسی: جهت دستیابی به اهداف تحقیق ما با استفاده از بازرسی های مکرر به بررسی وضعیت مخازن پرداخته و به تحلیل فرضیات مورد نظر دامن زدیم. این تحقیق کاربردی و از لحاظ رویکرد ماهیت ((توصیفی-تحلیلی)) دارد. یافته ها: پس از بررسی تعدادی از فرضیه ها، فرضیه های عدم وجود خرابکاری، نقشه ها، شرایط محیطی و زمان اجرای مخزن فولادی، بررسی فعال بودن یا نبودن سیستم حفاظت کاتدی مخزن، مشخص گردید که عدم فعال بودن سیستم حفاظت کاتدی تاثیر بسزایی در حفاظت مخزن فولادی در برابر خوردگی دارد. نتایج به دست آمده از تحلیل نتایج آزمایشگاه و فرضیه ها نشان داد بدلیل عدم توجه به راه اندازی سیستم حفاظت کاتدی مخزن در زمان ساخت و همچنین فعالیت باکتری به نام SRB ورق کف مخزن دچار خوردگی حاد شده است که نیازمند تعویض ورق کف مخزن می باشد.

واژگان کلیدی: مخازن فولادی، ورق های فولادی، خوردگی، باکتری SRB، حفاظت کاتدیک، ماسه بادی

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت ساخت. دانشگاه آزاد اسلامی واحد سیرجان، ایران.

karamaliazimzadeh@gmail.com

۱- مقدمه

در صنایع نفت و گاز تعمیر مخازن امری اجتناب ناپذیر است و حتی در پتروشیمی ها و پالایشگاه ها بصورت دوره ای این عملیات انجام می گردد. پس در جهت مدون نمودن راه حل های متناسب برای این سازه ها، ابتدا می بایست با انواع مخازن آشنا شویم و یک اطلاعات کلی راجع به این سازه ها داشته باشیم و با بررسی جزئیات و نحوه عملکرد یک مخزن (مخازن با سقف شناور بدون سقف ثابت) و دلایل از رده خارج کردن و تمهیداتی که باید در زمان از سرویس خارج نمودن مخزن مورد توجه قرار گیرند پرداخت و با شناسائی محل های آسیب دیده و علل آسیب با ارائه راه حل مناسب نسبت به تعمیر و اصلاح عیوب مخزن اقدام نمود. در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، مواد ارزشمند، مانند بنزین یا گاز مایع، طی فرآیندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام، مانند نفت خام جدا می شود و یا از آنها بوجود می آید. چند راه برای انتقال مواد خام از منابع تامین کننده به واحد فرآیندی وجود دارد که بر حسب مورد و شرایط، از یکی از آنها مانند خطوط انتقال و یا تانکر استفاده می گردد. همچنین محصولات تولیدی نیز به روشهای مختلف به بازار داخلی و یا خارجی عرضه می شود. به دلایل زیادی از جمله یکسان کردن کیفیت محصول، اندازه گیری حجم محصول جهت فروش، امکان بارگیری و انتقال به تانکر و یا کشتی در حداقل زمان ممکن و ... سبب می شود تا مواد محصول را بعد از تولید، در مخازن یا تانک های مناسب ذخیره شوند. البته در این مقاله سعی داریم تا با بررسی دلایل آسیب مخازن قبل از رسیدن به مراحل بهره برداری پرداخته و با جلوگیری از خوردگی ورق کف مخازن، که می تواند دلایل مختلفی داشته باشد با ارائه راهکارهای قابل انجام و بهینه و با کمترین هزینه، هم از کاهش عمر مخازن جلوگیری بعمل آورده و هم اینکه از بروز مشکلات در زمان بهره برداری جلوگیری بعمل آید. همچنین با ارائه راهکارهای مدیریتی در زمان ساخت مخزن از بروز چنین مشکلاتی جلوگیری گردد. ضمناً بدلیل اینکه از نتایج این مقاله می تواند در تصمیمات نهایی مدیران استفاده نمود این مقاله جزء مقالات کاربردی و از لحاظ ماهیت بدلیل استفاده از نتایج آزمایشگاهی و تحلیل رایانه ای استفاده شده است و با توصیف وضعیت مخزن فولادی به تشریح مشکلات پرداخته شده است جز مقالات از نوع (تحلیل - توصیفی) قرار دارد.

۲- بیان مساله

یکی از عمده ترین عوامل موثر بر کارکرد مخازن فولادی در طول عمر مفید ۲۰ تا ۴۰ سال مخزن پدیده خوردگی می باشد که در اجزای مختلف مخزن می تواند بوجود آید. این پدیده در قسمت تحتانی مخازن فولادی به دلیل تجمع رسوبات نفتی و در قسمت های بالایی بدلیل در تماس بودن با سیال تبخیر شونده بصورت تشدید شده و با خوردگی بیشتری رخ می دهد مزیدی، دهقان منشادی، امیری. (۱۳۹۶) که در صورت ایجاد نشتی در مخزن که حداقل آن بروز پدیده نشست مخزن، مشکلات زیست محیطی، ایجاد آتش سوزی، توقف و از سرویس خارج شدن مخزن فولادی و نهایتاً توقف تولید، حوادث جانی و مالی فراوان خواهد بود که اکثر این موارد در زمان بهره برداری پیش خواهد آمد اما در این مقاله بطور مشخص، به مخازن فولادی که زمان ساخت آنها به دلایل مختلف دچار توقف شده و زمان راه اندازی، پیش راه اندازی و بهره برداری آنها با تاخیر انجام شده مد نظر می باشد و در این زمان در صورت پیش بینی و تمهیدات لازم در خصوص راه اندازی سیستم حفاظت کاتدی موقت می بایست برق رسانی و فعال نگه داشته شود تا از بروز خسارت و خوردگی قطعات و ورق های مخازن فولادی جلوگیری بعمل آورد. البته ذکر این نکته که در زمان طراحی هر مخزن فولادی ضخامت ورق ها را بعد از طراحی به میزان مشخص و مجازی افزایش داده تا اثر خوردگی در زمان ساخت را پوشش داده شود دلیلی بر عدم توجه به راه اندازی سیستم حفاظت کاتدی مخزن نمی باشد و در هر صورت به هر نحوه می بایست با به حداقل رساندن زمان ساخت و راه اندازی سیستم حفاظت کاتدی موقت از خوردگی کف و بدنه مخازن فولادی جلوگیری بعمل آورد که نیازمند لحاظ نمودن و پیش بینی این مورد توسط مدیران ساخت در این حوزه می باشد. از دیگر مواردی که ورق کف مخزن فولادی می تواند دچار خوردگی شدید نماید به مصالح مصرفی که در کف مخزن استفاده می شود می تواند اشاره نمود که در مخازن مورد بررسی در این مقاله فونداسیون از نوع بتنی و بصورت رینگ دایره ای اجرا و پس از نصب شبکه های آند و کاتد (شکل شماره ۴) با استفاده از یک لایه ماسه بادی خشک به ضخامت ۲۰ سانتیمتر در زیر ورق کف مخزن ساخته شده است (شکل شماره ۳) که می بایست از مصالح با دانه بندی مناسب و از نوع شسته شده با آب شیرین معروف به (CLEAN SAND) که عاری از مواد آلی و یون کلرید می باشد استفاد گردید.

۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به وسعت و موقعیت جغرافیایی کشور عزیزمان ایران و وجود ذخایر نفت و گاز عظیمی که در کشور وجود دارد و همچنین مدفون بودن و یا در تماس با خاک بودن مخازن، خطوط لوله، تاسیسات نفت و گاز و وابستگی ساختاری اقتصادی کشورمان به این حوزه ضرورت حفاظت و نگهداری از این تاسیسات، مخازن و مواردی از این دست بدلیل مختلف دارای اهمیت و

ویژگی‌های می باشد و از این منظر دارای جایگاه خاصی می باشد. باقر زاده خلخالی و رجایی. (۱۳۹۷)، لذا طبیعی است در این حوزه سعی و تلاش فراوانی در خصوص تهیه مخازن و تاسیسات رو به افزایش بوده و در کنار ساخت این نوع تاسیسات و مخازن شیوه نامه ها و دستورالعمل های جهت حفظ و نگهداری مخازن تهیه گردد و با ارائه راهکارهای جهت افزایش طول عمر مخازن فولادی، کاهش هزینه های ناشی از تعمیرات مخازن فولادی و سودآوری بیشتر حاصل از در آمد این ساختار در کشور خواهد بود. همچنین در کنار وابستگی های اقتصادی، اهمیت و ضرورت های زیست محیطی خوردگی مخازن فولادی و آلودگی ناشی از آن که می تواند منجر به خسارات مالی و جانی جبران ناپذیر فراوان گردد که ضرورت تحقیق در این حوزه را نشان می دهد. همچنین براساس نشریه ۳۱۱ سازمان برنامه و بودجه ترجمه BS 7361 بند 5-1 اشاره شده است که به موارد اجباری در نظر گرفتن حفاظت کاتدی اشاره شده در صورتی که پیامدهای حاصل از سوراخ شدن لوله، مخازن و تجهیزات در اثر خوردگی مهم باشد) مانند نشت مواد سمی و یا قابل اشتعال یا قطع بهره برداری از تاسیسات بزرگ یا سوراخ شدن کشتی ها) در این صورت اعمال حفاظت کاتدی با توجه به اهمیت طرح و بدون توجه به ملاحظات اقتصادی اجباری می باشد. متأسفانه بدلیل مشکلات اجرایی و عوامل ناخواسته که در زمان ساخت مخازن فولادی بر پروژه تحمیل می شود کنترل اینگونه موارد بسیار مشکل و نهایتاً در اکثر مواقع منجر به توقف فعالیت اجرایی می گردد. در این مقاله سعی شده است ضمن پرداختن به مواردی و نکاتی که می تواند در شرایط ناخواسته موجب خوردگی ورق کف مخازن فولادی می شوند ضمن ارائه راهکار مدون از بروز خسارات جلوگیری و با حداقل هزینه از مخزن در حال ساخت در برابر عوامل خورنده محافظت نمود و از این طریق با راهکارهای مدیریتی و عملیاتی، پس از آغاز مجدد فعالیت اجرایی بعد از توقف پروژه توسط پیمانکار اجرایی ساخت مخزن فعالیت اجرایی را آغاز و روند تحویل مخازن فولادی تا زمان راه اندازی مخزن بدون ایجاد خوردگی حاد در ورق های کف مخازن فولادی، روند راه اندازی تا مراحل بهره برداری مخزن به کمترین هزینه ها مخزن به بهره برداری رسیده و آغاز روند سودآوری برای کشور را در پی خواهد داشت. همچنین می تواند گفت خوردگی موضوعی مهمی است که بیشترین تحقیقات در این حوضه می باشد و روش های مختلفی برای جلوگیری از خوردگی وجود دارد که یکی از آن موارد استفاده از سیستم حفاظت کاتدی و آند فدا شونده می باشد البته استفاده از این روش به تنهایی کافی نمی باشد و در حد امکان و در صورت راه اندازی سیستم و فعال بودن آن از بروز خوردگی غیر متعارف در سازه های فولادی از جمله مخازن فولادی جلوگیری بعمل می آورد و می تواند گفت مکمل درگیر تمعیدات در راستای محافظت از سازه های فولادی می باشد از آنجاکه خوردگی مخازن در حد فاصله زمان ساخت تا زمان پیش راه اندازی و راه اندازی اطلاعات چندانی وجود نداشته و یکی از دلایل عدم پرداختن به این موضوع می تواند به بیش فرض ذهنی مدیریت های پروژه ها نفت، گاز و پتروشیمی مبنی بر راحتی تامین متریال جهت ساخت مخازن فولادی بر می گردد در صورتی که بدلائل مختلف از جمله تحریم، عدم ورود بعضی از قطعات و تجهیزات مربوط به مخازن فولادی، عدم توانایی پیمانکاران مجری، شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی در ساخت مخزن تاخیراتی حادث گردد که منجر به خوردگی مخازن فولادی بصورت یکنواخت می گردد که در مقطع زمانی پیش از راه اندازی بروز چنین مشکلاتی باعث تاخیر در راه اندازی کل پروژه خواهد گردید.

۴- اهداف تحقیق

از نظر اقتصادی: جلوگیری از خوردگی حاد ورق کف مخزن فولادی با استفاده از سیستم حفاظت کاتدی

۵- تحقیقات داخلی و خارجی

عرب زاده (۱۳۹۴) در تحقیق هزینه های خوردگی و لزوم کنترل آن در صنعت به تاریخچه حفاظت کاتدی پرداخته و اولین بار توسط شخص به نام همفری دیوی، در سال 1824 میلادی، در شهرلندن و در میان سلسله مقالاتی که ایشان به انجمن سلطنتی ارائه می کردند مطرح گردید. بعد از یک سری آزمایشات موفق، اولین استفاده عملی از این فناوری جدید در همان سال به وقوع پیوست این دانشمند پیشنهاد نمود که برای حفاظت کاتدی کشتیهای با بدنه مسی قطعاتی از آهن به عنوان آندهای از بین رونده روی بدنه کشتیها نصب شود به طوری که نسبت سطحی آهن به مس یک به صد باشد. به هر ترتیب یکی از نتایجی که حفاظت کاتدی به همراه داشت، رشد و توسعه دریانوردی بود. در همین رابطه روبرت مالت در سال 1840 آلیاژی از فلز روی ساخت که به عنوان آندهای از بین رونده مورد استفاده قرارگرفت.

باقر زاده خلخالی وهمکاران. (۱۳۹۷)، در تحقیقی با عنوان حفاظت کاتدی در خاک به معرفی سیستم حفاظت کاتدی پرداخته است حفاظت کاتدی یک روش الکتروشیمیایی برای جلوگیری یا کنترل خوردگی سازه های فلزی مدفون یا مستغرق می باشد. سیستم های حفاظت کاتدی سیستم هایی پویا هستند که برای کنترل خوردگی ازجریان الکتریسته استفاده می کنند. درصورت قطع جریان، خوردگی با سرعتی متناسب با ترکیب ماده، محیط رخ خواهد داد و درصورتی که جریان تأمین شده برای

حفاظت کامل کافی نباشد، خوردگی با سرعت کمتری انجام می شود. پس از اینکه سیستم حفاظت کاتدی برای ایجاد حفاظت کافی نصب و تنظیم شد، باید جریان و پتانسیل ها نسبتاً ثابت بمانند. تغییرات جریان یا پتانسیل نشان دهنده بروز مشکل می باشد. همچنین به کاربرد این سیستم اشاره نمود در ادامه با تعریف خوردگی در حفاظت کاتدی به این شرح پرداخته است که خوردگی تخریب یک ماده در اثر واکنش آن با محیط اطراف می باشد. در یک فلز، این تخریب اصولاً طی یک فرآیند الکترو شیمیایی صورت می گیرد. این فرآیند طی چهار مسیر مجزای آند، کاتد، الکترولیت و فلز رخ می دهد. این چهار جزء، (پیل خوردگی) را تشکیل می دهند و خوردگی الکترو شیمیایی فقط زمانی اتفاق می افتد که هر چهار عامل حاضر باشند. رطوبت از عوامل موثر در خوردگی فلزات بوده و محدوده فعالیت اکثر نمک ها که منجر به خوردگی سطوح فلزی می گردد، زمانی است که رطوبت نسبی محیط به ۱۰ درصد برسد در واقع خوردگی از این نقطه شروع شده و بیشتر می شود و در ادامه به تشریح آند، کاتد و الکترولیت به بیان انواع خوردگی و شرایط ایجاد خوردگی شامل: ۱- وجود آند و کاتد ۲- وجود اختلاف پتانسیل (ولتاژ) بین آند و کاتد ۳- وجود الکترولیت (خاک) ۴- اتصال آند و کاتد به هم. خوردگی پیل غلظتی و حالت های خوردگی پیل غلظتی، محیط ناهمسان، غلظت اکسیژن، الکترولیت مرطوب و خشک، خاک ناهمگن، ناخالصی های خاکریزی، اسید الکترولیت و به معرفی روش چهار پیل برای اندازه گیری مقاومت ویژه خاک پرداخته و ضمن اشاره به اینکه با استفاده از آزمایش های ساده می تواند پس از تشخیص نوع خاک، رطوبت خاک، و PH خاک می تواند از خوردگی تاسیسات جلوگیری نمود و در نهایت به نتایج ذیل دست یافته است. ۱- مقاومت الکتریکی مخصوص خاک، تابع میزان رطوبت و یونهای موجود در خاک بوده و تاثیر مستقیم بر روی دانسیته جریان حفاظت کاتدی دارد. ۲- چگالی جریان حفاظت کاتدی تابع نوع و جنس خاک و رطوبت موجود در خاک می باشد. ۳- در هدایت یونی بسیار کم و خاک کاملاً خشک، چگالی جریان لازم برای حفاظت تقریباً به صفر رسیده و اصلاً نیاز به حفاظت کاتدی نیست و بالعکس. ۴- در خاک مرطوب با افزایش میزان یونها، مقاومت مخصوص خاک (رسانایی) کمتر شده و چگالی جریان حفاظت کاتدی افزایش می یابد و بالعکس رابطه میزان رطوبت، با چگالی جریان به صورت سهمی می باشد. اما در خاک خشک تاثیر یونها ناچیز می باشد.

ناصری مقدم (1389). در رساله خود با موضوع مدل سازی و بهینه سازی سیستم حفاظت کاتدیک در خطوط لوله ی انتقال نفت و گاز و مخازن ذخیره ی فرآورده های نفتی به کاربرد آندهای از بین رونده پرداخته است تا اینکه به تدریج رنگهای ضد زنگ ساخته شد و استفاده از آنها به منظور حفاظت کاتدی و نیز صرفه جویی در هزینه ی تعمیرات رواج بیشتری یافت. استفاده از پوشش های فلز روی در روی فولاد از زمانهای قدیم، قبل از سال 1742 میلادی معمول بود، ولی کاربرد اعمال جریان الکتریکی جهت حفاظت کاتدی لوله ها و تاسیسات زیرزمینی از حدود سال 1910 آغاز شد و با سرعت زیاد گسترش پیدا کرد، به طوری که امروزه تقریباً در تمام خطوط لوله و کابل های زیرزمینی از آن استفاده می شود.

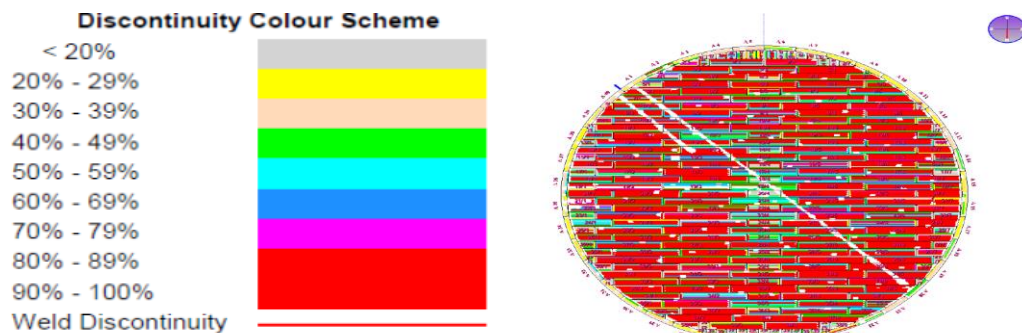
دوگ^۱ (۱۹۷۹) در تحقیق خود با موضوع تجزیه و تحلیل عددی محدود گالوانیک خوردگی برای الکتروده های همسطح خطی خود به اختلاف پتانسیلی که بین آندهای فدا شونده و فلز مورد حفاظت وجود دارد اشاره و عامل تخلیه جریان از فلز تشخیص می دهد. همچنین با ذکر اینکه سیستم آند فدا شونده نیازی به منبع نیروی خارجی ندارد به این موضوع که انرژی لازم جهت تولید جریان را از انرژی شیمیایی مواد آندی تأمین می نماید اشاره نموده است. بنابراین این آندها منبع انرژی اند و به خصوص در مکان هایی که برق وجود ندارد، مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله آندهای فدا شونده عبارت است از آلومینیوم، منیزیم، روی، و ... آندهای منیزیم معمولاً اولین انتخاب هستند اما آندهای روی ارزاترند، راندمان بیشتری دارند و در ایستگاه هایی که برای مدتهای معین طولانی تر پیش بینی می شوند، مورد استفاده قرار می گیرند. رطوبت و همچنین خواص و قابلیت های PH، به صورت کلی نوع آند مصرفی بستگی به ویژگی های مثل مقاومت ویژه هر یک از آندها دارد. آندهای فدا شونده (گالوانیک) به دلیل توزیع خیلی آسانتر جریان، نسبت به سیستم های یک سو کننده، برتری دارند. همچنین این آندها ارزاترند، اما استفاده از این آندها در خاکهایی با مقاومت ویژه زیاد، اقتصادی نیستند.

۶- روش تحقیق

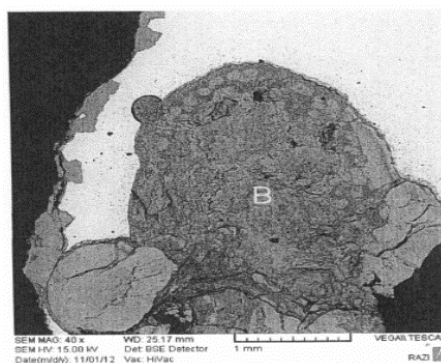
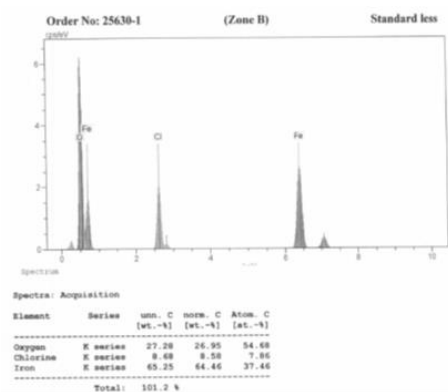
در این مقاله از روش نمونه گیری احتمالی ساده و حجم نمونه ها بسته به نیاز تعیین شده است همانگونه که در مقدمه توضیح داده شد روش تحقیق کاربردی و از لحاظ رویکرد ماهیت (توصیفی-تحلیلی) می باشد همچنین روش کار به موضوع، امکانات و اهداف تحقیق بستگی دارد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه هدف اصلی جلوگیری از خوردگی حاد ورق کف مخزن فولادی، جلوگیری از تاخیرات ناشی از بهره برداری دیر هنگام و با تاخیر مخازن فولادی می باشد. لذا برای تدوین چارچوب نظری تحقیق و مروری بر تحقیقات پیشین از روش اسنادی نیز بهره گرفته شده است. به منظور جمع آوری اطلاعات، آمیزه ای از روش های تحقیق کتابخانه ای و میدانی استفاده می شود. روش تجزیه تحلیل به کمک نتایج آزمایشگاهی و رایانه صورت می گیرد.

۷- بررسی و تحلیل یافته ها

حین انجام عملیات بازرسی بر روی نقاط آسیب دیده کف مخازن، وجود چند سوراخ سبب ایجاد نگرانی خوردگی و یا سوراخ مشاهده گردید و عملیات Patch گذاری انجام شد، اما با بازرسی مخازن مشابه جهت اطمینان از سالم بودن متعلقات داخلی و انجام Box-up وجود چند سوراخ در کف این مخازن نیز محرز گردید که تا آن زمان حدود ۵۰ نقطه سوراخ دیگر نیز در سایر مخازن مشاهده شد. به نحوی که در بعضی قسمت ها فرضیاتی از جمله: خراب کاری در مخزن فولادی بوجود آمد ولی با بازدید از سایر مخازن مشابه و کنترل نقشه های اجرای، تغییرات بوجود آمده در زمان ساخت مخزن مشخص گردید در سایر مخزن ها موارد مشابه ای وجود دارد و با بریدن نمونه هایی از ورق کف و بازرسی چشمی، کاهش ضخامت سطح خارجی مشاهده و از طرفی جهت تسریع در آماده سازی مخازن فولادی جهت بارگیری میعانات گازی، تصمیم به انجام MFL (تست نشت شار مغناطیسی) گرفته شد تا در صورت امکان نسبت به انجام Patch گذاری صحیح و اصلاح نقاط دارای کاهش ضخامت احتمالی اقدام شود و حتی المقدور، مخازن هرچه سریعتر، در سرویس قرار بگیرد که نتایج تست مذکور، خوردگی شدید را نشان می داد. (شکل شماره ۱) به طور همزمان جهت اطمینان از علت ایجاد سوراخها و اتخاذ تصمیم صحیح در نحوه تعمیر، نمونه هایی از ورق کف مخازن به آزمایشگاه متالوژی ارسال گردید و مشخص شد علت وجود سوراخها پدیده خوردگی از سطح خارجی در تماس با ماسه علت این مشکل تشخیص داده شد. همزمان جهت انجام آزمایشات تکمیلی نمونه هایی به مجتمع تحقیقات و توسعه دانشگاه صنعتی شریف ارسال شد. که عامل سوراخها وجود یک نوع باکتری به نام SRB (باکتری احیاء کننده سولفات) در ماسه لایه Clean Sand در حد قابل توجه و همچنین احتمالاً اثر مخرب همزمان یون کلراید محرز گردید (شکل شماره ۲) و با ارائه راه حل برای تعمیر مخازن با سقف شناور (فاقد سقف ثابت) پیشنهاد گردید، که با توجه به نظر کارفرما از روش تعویض ورق کف مخازن فولادی استقبال و برای شروع عملیات اجرای از پیمانکاران داخلی که سابقه کارهای مشابه را دارند استفاده گردید. همچنین با بررسی علل و عوامل خوردگی ورق کف مخازن فولادی مشخص گردید که از زمان استفاده ورق کف مخازن تا مراحل قبل از راه اندازی زمان بیشتری از حد معمول می باشد و در حد فاصل زمانی مذکور بدلیل عدم برق رسانی به سیستم حفاظت کاتدی کف مخزن باعث گردید که باکتری SRB فعالیت شیمیایی خود را آغاز نموده و بدلیل شرایط جوی مناطق ایجاد مخازن (مناطق گرم و مرطوب جنوب) فعالیت بسیار جدی بروی ورق های فولادی کف مخازن داشته است در صورتی که می تواند با استفاده از برق رسانی موقت در زمانهای تعطیلی کارگاه و در زمان متوقف شدن فعالیت اجرای از جمله عدم موجود بودن قطعات و تجهیزات بدلیل تحریم، ضعف اجرائی پیمانکاران، اعتصابات کارگری و غیره ... بوسیله دیزل ژنراتورهای موجود از فعالیت باکتری SRB جلوگیری بعمل آمده و از بروز خسارت این چنینی به مخازن جلوگیری و یا به حداقل رساندن آن را منجر گردد.



شکل ۱- نتایج تست MFL یا همان تست نشت شار مغناطیسی و میزان خوردگی ورق کف مخزن که با انجام تست



ترکیب شیمیایی، SEM

نتیجه درصد وزنی عناصر مورد درخواست در نمونه به شرح زیر می باشد:

Zone A:

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
O	10.46	Na	32.82	Cl	41.60	Fe	15.12	-	-

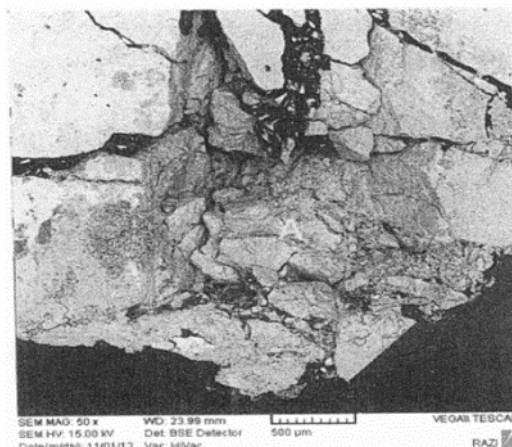
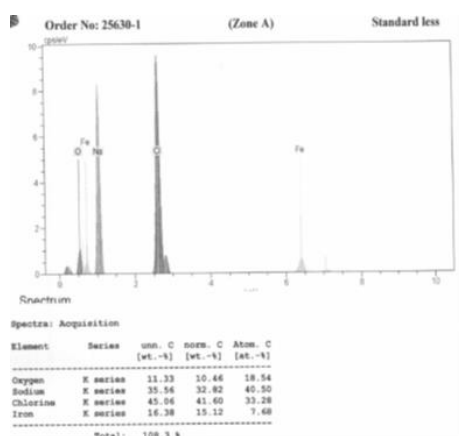
Zone B:

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
O	26.95	Cl	8.58	Fe	64.46	-	-	-	-

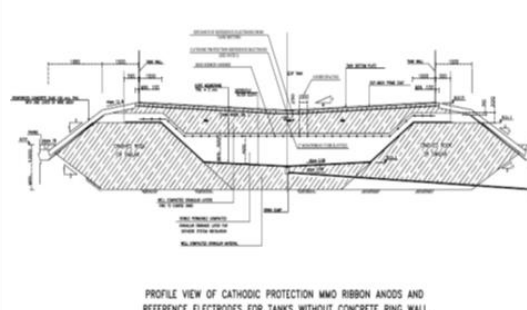
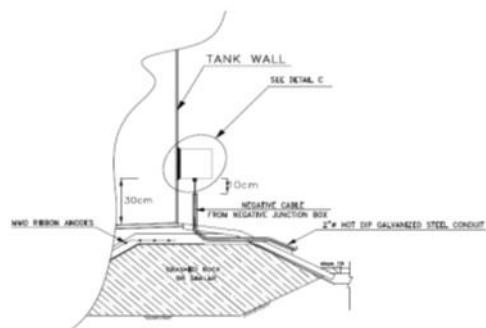
توضیحات

- آنالیز بصورت نیمه کمی (Semi Quantitative) انجام شده است.

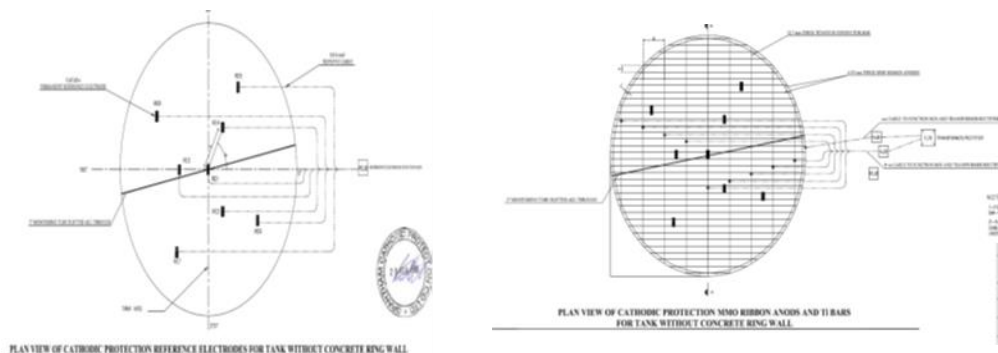
شکل ۲- نتایج تست شیمیایی ورق های بریده شده کف برای تشخیص عناصر موجود در قطعات نمونه ورق کف



ادامه شکل ۲- نتایج تست شیمیایی ورق های بریده شده کف برای تشخیص عناصر موجود در قطعات نمونه ورق کف



شکل ۳- نقشه سیویل و حفاظت کاتدی کف مخزن به همراه نحوه نحوه قرار گیری ریبون آنده کف مخزن و کابل اتصال منفی.



شکل ۴- نقشه مربوط به آرایش قرارگیری آنود، کاتد، ریکتیفایر و جاکشن باکس های مخزن.

۸- نتیجه گیری

پس از بررسی نتایج آزمایش از ورق کف مخزن فولادی مشخص گردید که میزان خوردگی در ورق های کف بسیار شدید بوده و اجباراً می بایست اقداماتی جهت تعویض ورق کف مخزن انجام گردد و همچنین طی بررسی و نتایج تست باکتری شناسی عامل حمله به ورق کف باکتری به نام SRB تشخیص داده شده که می بایست اقداماتی جهت از بین بردن و عوامل ایجاد این باکتری را در مراحل اصلاح انجام داد. در نهایت پس از بررسی تمام جوانب و دلیل بوجود آمدن این باکتری و بررسی تمام مدارک ساخت مخزن به یک جمع بندی کلی در این خصوص رسیدم که بدلیل زمان بر شده زمان ساخت تا زمان راه اندازی و عدم فعال بودن سیستم حفاظت کاتدیک بدلیل عدم راه اندازی سیستم برق مخزن ناشی می شود سیستم حفاظت کاتدیک مخزن عمل نکرد و خسارات جبران ناپذیر به مخزن وارد گردید در این خصوص پیش بینی های لازم در خصوص برق رسانی به مخزن و با راه اندازی پیش از موعد سیستم حفاظت کاتدیک با تدبیر مدیران پروژه می تواند به این مطلوب دست یافت و از خوردگی ورق های فولادی کف که در تماس با ماسه بادی هست جلوگیری و یا خوردگی را به حداقل رساند که این موضوع علاوه بر کاهش هزینه ها و جلوگیری از زمان بر شدن پروژه تلاش نمود و یا اینکه با در نظر گرفتن پروژه هایی که بدلائل متفاوت دچار تاخیر در روند تکمیل و راه اندازی می شوند با تمهید و ایجاد سیستم برق موقت و راه اندازی سیستم حفاظت کاتدیک مخزن در زمانهای تاخیر و توقف پروژه های نفت و گاز از بروز چنین مشکلاتی و خساراتی پیشگیری و با حداقل رساندن آن در راستای اهداف کلی پروژه های نفت و گاز قدم های کوچک و موثری برداشت. البته ذکر این نکته که در زمان ساخت مخازن فولادی می بایست با دقت به ضوابط و جوانب ایمنی و جلوگیری بر بروز هر گونه مشکل در روند برق رسانی به جداره فولادی مخزن دقت و از بروز هر گونه حوادث از جمله برق گرفتگی تمهیدات لازم پیش بینی گردد.

۹- ارائه پیشنهاد

در پایان، پیشنهاد می شود در مخازن مشابه قبل از ماسه زیر ورق کف، نمونه ای جهت تعیین میزان خوردگی آن تهیه شود و در صورت لزوم و طولانی شدن زمان، و زمان بر شدن مراحل ساخت تا بهره برداری و یا توقف پروژه از فعال بودن سیستم دائم حفاظت کاتدی با آند فدا شونده اطمینان حاصل شود.

منابع

۱. باقر زاده خلخالی، احد. رجایی، حمید رضا. (۱۳۹۷). حفاظت کاتدی در خاک. سومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین عمران، معماری و شهر سازی انجمن مهندسی راه و ساختمان ایران. گروه مهندسی عمران. دانشگاه تهران، ایران.
۲. مزیدی، میلاد. دهقان منشادی، سید هادی. امیری، حمیدرضا (۱۳۹۶). PET اثر پدیده خوردگی روی مقاومت کماتش مخازن استوانه ای روی زمینی تحت اثر بار لرزه ای. پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و شهر سازی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
۳. عرب زاده، علی (۱۳۹۴). هزینه های خوردگی و لزوم کنترل آن در صنعت. تهران. معاونت امور مهندسی شرکت نفت.
۴. ناصری مقدم، امین (۱۳۸۹). مدلسازی و بهینه سازی سیستم حفاظت کاتدیک در خطوط لوله ی انتقال نفت و گاز و مخازن ذخیره ی فرآورده های نفتی. رساله جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد، دانشکده برق دانشگاه خواجه نصیر.

۵. راهنمای حفاظت کاتدی خطوط لوله و سازه های فولادی - نشریه شماره ۳۱۱ (سال چاپ ۱۳۸۴)
6. Doig, P., & Flewitt, P. E. J. (1979). A Finite Difference Numerical Analysis of Galvanic Corrosion for Semi Infinite Linear Coplanar Electrodes. Journal of The Electrochemical Society, 126(12), 2057-2063.

تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک مدل‌های حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB

محمدرضا شادی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

کد مقاله: ۳۴۴۵۷

چکیده

در این مطالعه به تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک مدل‌های حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و مقایسه آن‌ها با روابط تجربی پرداخته شد. در بین روابط تجربی موجود روابط گلاسو (۱۹۸۰) و استاندینگ (۱۹۸۱) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت و رابطه پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین عملکرد را دارد. مقایسه مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده برای محاسبه نسبت گاز به نفت نشان می‌دهد، اگرچه مدل LSSVM تطبیقی قوی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و آزمایشگاهی فراهم می‌کند اما مدل ANN با رسیدن به کمترین AAPRE برابر با ۹/۳۴۵۶ و RMSE با مقدار ۵۴/۰۶۷۵ و بالاترین ضریب همبستگی ($R=0.9837$) که نزدیک‌ترین مقدار به یک می‌باشد، بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز به نفت دارد. آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نشان می‌دهند که مدل‌های ANN و LSSVM توسعه داده شده نسبت به روابط تجربی موجود معتبرتر می‌باشد و قادر است بر تمام روابط تجربی غلبه کند. عملکرد و کارایی مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده به‌ویژه مدل ANN تأیید می‌کند که این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان روشی سریع، کم‌هزینه با قابلیت پیش‌بینی قوی و به‌عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های آزمایشگاهی جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت به کار روند. روابط تجربی برای محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز محلول به نفت مناسب نیستند.

واژگان کلیدی: نسبت گاز به نفت، مخازن نفتی، حداقل مربعات، ماشین بردار پشتیبان، نرم‌افزار MATLAB

۱- کارشناسی ارشد فرآوری و انتقال گاز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران، گچساران، ایران (نویسنده مسئول)
aref.shadi_72@gmail.com

۱- مقدمه

نسبت گاز محلول به نفت یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی نفت خام است که نقش مهمی در محاسبات مهندسی مخزن و مدیریت تولید دارد. نسبت گاز محلول به نفت را می‌توان به‌صورت آزمایشگاهی، با استفاده از آزمایشاتی که بر روی نمونه‌های ته چاهی یا سطحی انجام می‌گیرد، بدست آورد [۱]. اگرچه روش آزمایشگاهی بسیار دقیق و معتبر می‌باشد ولی این روش نیازمند هزینه و وقت زیاد و همچنین دقت فراوان هنگام نمونه‌گیری از مخزن نفتی می‌باشد. در مواردی که داده‌های آزمایشگاهی موجود نباشد می‌توان از معادلات حالت و رابطه‌های تجربی برای تخمین خصوصیات PVT استفاده کرد که این روش‌ها نیز با محدودیتهایی روبرو می‌باشند [۲]. معادلات حالت اکثراً دارای محاسبات سخت و پیچیده بوده و نیازمند اطلاعات کامل از ترکیب سیال مخزن می‌باشند. تاکنون محققین رابطه‌های تجربی زیادی را برای تخمین خصوصیات فیزیکی نفت خام ارائه داده‌اند [۳ و ۴]. این رابطه‌ها دارای محاسبات ساده بوده و اکثراً برای یک یا چند منطقه جغرافیایی خاص که ترکیب شیمیایی سیال مخزن و دامنه داده‌های آنها مشخص می‌باشد معرفی شده‌اند. این روابط بر اساس رگرسیون خطی، غیر خطی چندگانه و تکنیک‌های گرافیکی توسعه یافته‌اند. مقایسه نتایج روابط تجربی مختلف که برای میادین نفتی مختلف جهان پیشنهاد شده‌اند، با مقادیر آزمایشگاهی برای انواع مختلف نفت خام موضوع بحث مطالعات [۵] بی‌شماری بوده است که در همه آن‌ها به ناتوانی این روابط جهت تخمین زدن خصوصیات PVT نفت‌های خام با ویژگی‌ها و شرایط مکانی مختلف، اشاره شده است [۶]. از طرفی به دلیل اینکه این روابط بر اساس روش‌های رگرسیون خطی و غیر خطی چند گانه توسعه داده شده‌اند ممکن است نتایج دقیقی ندهند. در طی دو دهه گذشته شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی نفت از جمله پیش بینی خصوصیات فیزیکی نفت خام، بررسی عملکرد آینده مخزن، تخمین تخلخل و تراوایی، پیش‌بینی حداقل فشار امتزاجی، تعیین افت فشار در چاههای تولیدی و لوله‌ها، شکاف هیدرولیکی و محاسبات خصوصیات مخزن مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷-۱۰]. هدف از این مطالعه توسعه دادن مدل‌های هوشمند و قابل اعتماد بر اساس شبکه‌های عصبی چند لایه و الگوریتم حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان جهت تخمین زدن نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد. برای ساخت و تست مدل‌ها در کل از یک مجموعه داده آزمایشگاهی که نمونه‌های نفت خام مربوط به میادین نفتی خاورمیانه را نمایندگی می‌کند، استفاده خواهد گردید سپس عملکرد مدل‌های توسعه داده شده در برابر چندین رابطه تجربی مشهور با استفاده از آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی ارزیابی و بررسی خواهد شد.

۲- روش تحقیق

در ابتدا تلاش می‌شود مجموعه‌ی وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی که محدوده‌ی وسیعی از شرایط ترمودینامیکی را پوشش دهند از میادین نفتی خاورمیانه گردآوری شود. سپس پیاده‌سازی مدل‌های پیش بینی کننده بر اساس هوش مصنوعی جهت تخمین زدن نسبت گاز به نفت در نرم افزار Matlab صورت خواهد گرفت. برای یکسان سازی دامنه داده‌های به کار برده شده فرایند نرمالسازی بروی داده‌ها به کار خواهد رفت سپس داده‌ها به دو زیر مجموعه آموزشی و آزمایش به طور تصادفی تقسیم می‌شوند که مجموعه آموزشی جهت ساخت مدل‌های عصبی و حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان و مجموعه آزمایش جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده می‌گردد. در مرحله بعد کدهای مربوط به چندین رابطه تجربی معروف همانند، گلاسو جهت تخمین نسبت گاز به نفت در محیط نرم افزار Matlab پیاده سازی می‌شوند و در پایان با استفاده از آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نتایج مدل‌ها و روابط تجربی ارزیابی و بررسی می‌شود و بهترین مدل که نزدیکترین پیش بینی‌ها به مقادیر آزمایشگاهی دارد معرفی می‌گردد.

نرم افزار Matlab: متلب یک زبان برنامه‌نویسی سطح بالای نسل چهارم و یک محیط تعاملی برای محاسبات عددی، تجسم و برنامه‌نویسی می‌باشد که از ترکیب دو واژه MATrix (ماتریس) و LABoratory (آزمایشگاه) ایجاد شده است این نام حاکی از رویکرد ماتریس محور برنامه است که در آن حتی اعداد منفرد نیز به‌صورت یک ماتریس با ابعاد ۱*۱ در نظر گرفته می‌شود. نرم‌افزار متلب توسط شرکت MathWorks تولید شده است. این شرکت در سال ۱۹۸۴ در ایالت ماساچوست آمریکا تأسیس شد. کلوی مولر^۱ (۱۹۷۰) رییس دانشکده نیومکزیکو نرم‌افزار متلب را بر پایه زبان فرترن نوشت. در سال ۱۹۸۳ این نرم‌افزار را بر پایه زبان برنامه‌نویسی C شکل دادند و پس از تأسیس شرکت گسترش آن سرعت گرفت. متلب توانایی کار با ماتریس‌ها، رسم انواع توابع و داده‌ها، پیاده‌سازی انواع الگوریتم‌ها، ایجاد رابط کاربری، ارتباط با برنامه‌های نوشته شده به زبان‌های دیگر از جمله C، ++C، JAVA و فرترن و ایجاد مدل‌ها و برنامه‌های کاربردی را فراهم می‌کند. لازم به توضیح می‌باشد که در این پایان نامه از نرم افزار متلب با ورژن (matlab 2014a) استفاده شده است. سیستم متلب از پنج قسمت اصلی ایجاد شده است:

زبان متلب: متلب یک زبان سطح بالای ماتریس- آرایه‌ای است ویژگی‌های برنامه‌نویسی شی گرا را شامل می‌شود که می‌توان با کمک آن برنامه‌های ساده و پیچیده را ایجاد کرد.

محیط کاری متلب: مجموعه‌ای از ابزار و امکانات است که شما به‌عنوان کاربر متلب یا برنامه‌نویس متلب با آن‌ها تعامل دارید. این محیط شامل امکاناتی برای مدیریت متغیرها در فضای کاری و ابزاری جهت توسعه، مدیریت، رفع خطا و ایجاد M فایل‌ها در برنامه‌های متلب می‌باشد.

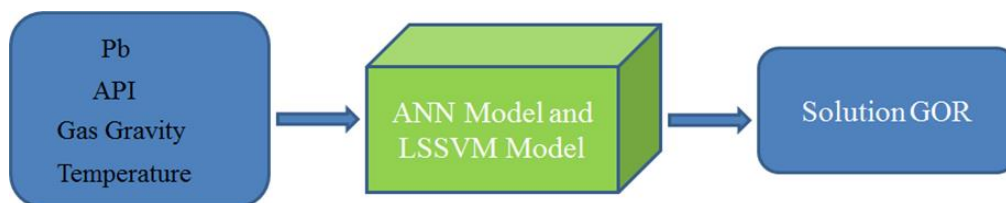
کنترل گرافیک: همان سیستم گرافیکی متلب است که شامل دستورات سطح بالا برای تجسم داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی، پردازش تصویر، انیمیشن و گرافیک است. همچنین شامل دستورات سطح پایین است که به شما اجازه می‌دهد که ظاهر گرافیکی برنامه‌های خود را به‌صورت سفارشی طراحی کنید.

۲-۱- جمع آوری و دسته بندی داده ها

انتخاب و جمع آوری داده‌های معتبر و باکیفیت که محدود به رنج مشخصی نباشد برای توسعه و پیش‌بینی قابل قبول هر مدلی لازم و ضروری می‌باشد. از آنجاییکه هدف محاسبه نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد به همانند اکثر کارهای منتشر شده نسبت گاز محلول به نفت تابعی از فشار نقطه حباب، دمای مخزن، چگالی ویژه نفت خام و چگالی ویژه گاز در نظر گرفته شد. همچنین دینال می‌شوند:

$$R_s = f(P_b, T_R, API, \gamma_g) \quad (1)$$

جهت ساخت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN Model) و LSSVM به منظور پیش‌بینی نسبت گاز محلول به نفت و همچنین ارزیابی عملکرد روابط تجربی ۳۸۰ مجموعه داده آزمایشگاهی که محدوده‌ی وسیعی از شرایط ترمودینامیکی را پوشش می‌دهند و مربوط به مخازن نفتی خاورمیانه با انواع مختلف نفت خام بود استفاده شد. این داده‌ها از کارهای منتشر شده معتبر جمع آوری شده بودند. هر کدام از این مجموعه داده‌ها شامل چندین نقطه داده می‌باشد به طوریکه نسبت گاز محلول به نفت خروجی، و پارامترهای دیگر که عبارتند از فشار نقطه حباب، دمای مخزن، چگالی API و وزن مخصوص گاز و به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شدند (شکل (۱)). خصوصیات آماری داده‌های استفاده شده در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): شمای مدل توسعه داده شده برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت

جدول (۱): توصیف آماری مجموعه داده استفاده شده در این مطالعه

Properties	Minimum	Maximum	Mean
Bubble point pressure, P_b (Psia)	۷۸	۵۱۳۵	۱۵۹۷
Reservoir temperature, T_R (°F)	۷۲	۲۹۴	۱۹۳
Oil gravity (API)	۱۹	۵۷٫۵	۳۵۱
Gas Gravity, γ_g	۰٫۵۳۱	۲٫۸۹	۱٫۳۵
Solution gas- oil ratio , R_s (SCF/STB)	۷۲	۲۴۹۱	۶۳۰

۲-۲- روش‌های ارزیابی مدل‌ها و روابط تجربی

برای چک کردن عملکرد و دقت مدل مهیا شده و همچنین مقایسه آن با رابطه‌های تجربی آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی به عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شدند.

(۱) آنالیزهای خطای آماری: پارامترهای آماری زیر جهت مقایسه دقت مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله مدل‌ها و روابط تجربی با مقادیر آزمایشگاهی در این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند:

۲) درصد خطای نسبی میانگین^۱ (APRE): این پارامتر انحراف نسبی داده پیش‌بینی شده از داده آزمایشگاهی را نشان می‌دهد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$APRE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \% \quad (2)$$

E_i انحراف نسبی یک مقدار پیش‌بینی شده از یک مقدار آزمایشگاهی می‌باشد و می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$E_i\% = \left(\frac{x_{exp} - x_{pred}}{x_{exp}} \right) \times 100 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

در حالیکه x_{exp} and x_{pred} به ترتیب مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده بوسیله مدل می‌باشند.

۳) درصد خطای نسبی مطلق میانگین^۲ (AAPRE): این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$AAPRE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i\%| \quad (4)$$

و مشخص کننده انحراف نسبی مطلق از داده آزمایشگاهی می‌باشد که هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان دهنده دقت بالاتر مدل می‌باشد.

– جذر میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE): این پارامتر توزیع داده در حدود انحراف صفر را محاسبه می‌کند. و معمولاً هر چه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق باشد مقدار آن کمتر است و به صورت زیر بیان می‌شود.

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{iexp} - x_{ipred})^2} \quad (5)$$

– انحراف استاندارد^۴ (SD): این پارامتر مقدار پراکندگی یا تغییرات یک مجموعه از داده‌ها را نشان می‌دهد. هر چه مقدار انحراف کمتر باشد دقت مدل بیشتر می‌باشد و توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{iexp} - x_{ipred}}{x_{iexp}} \right)^2} \quad (6)$$

– ضریب همبستگی^۵ (R): در حقیقت ضریب رابطه قدرت و شدت همبستگی بین دو متغیر را بیان می‌کند. مقدار این ضریب بین ۱ تا -۱ تغییر می‌کند که مقادیر ۱ و -۱ به ترتیب نشان دهنده یک ارتباط مثبت و منفی کامل بین دو متغیر می‌باشد و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر مقدار این ضریب صفر می‌باشد. این پارامتر آماری با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{iexp} - x_{ipred})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{iexp} - \bar{x})^2}} \quad (7)$$

در حالیکه $\bar{x}$ میانگین مقادیر داده‌های آزمایشگاهی بوده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{iexp} \quad (8)$$

– آنالیزهای خطای گرافیکی: روش‌های گرافیکی می‌توانند در تجسم کردن دقت یک مدل کمک کند و معمولاً ۲ روش آنالیز گرافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– نمودار پراکندگی^۶: در این روش همه داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های آزمایشگاهی ترسیم می‌شوند و سپس یک خط مستقیم با زاویه ۴۳/۵ درجه بین مقادیر محاسبه شده و آزمایشگاهی کشیده می‌شود که بروی آن داده‌های پیش‌بینی شده با آزمایشگاهی برابر می‌باشند. حال هر چه مقادیر رسم شده به این خط نزدیکتر باشند مدل دارای دقت و عملکرد بهتری می‌باشد.

– نمودار توزیع خطا^۷: به طور کلی در این روش با محاسبه کردن توزیع خطا در اطراف خط خطای صفر می‌توان مشخص کرد که آیا مدل یک روند خطا دارد یا نه.

1- Average percent relative error
2- Average absolute percent relative error
3- Root mean square error
4- Standard Deviation
5- Correlation coefficient
6- Scatter Diagram
7- Error distribution

۳- نتایج و بحث

- پیش بینی نسبت گاز محلول به نفت با استفاده از روابط تجربی

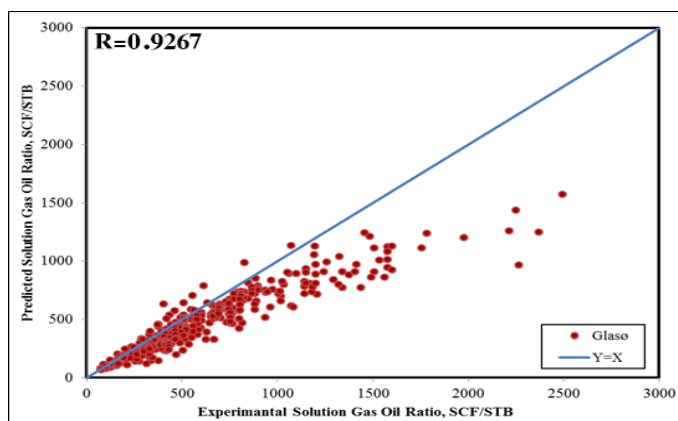
به منظور بررسی قدرت و توانایی روابط تجربی موجود جهت پیش بینی نسبت گاز محلول به نفت برای نمونه های نفت مخازن نفتی خاورمیانه حداقل ۴ رابطه تجربی رابطه تجربی معروف که در جدول (۴-۱) آمده اند، مورد بررسی قرار گرفتند و دقت آنها مقایسه و ارزیابی گردید. جدول (۲) نتایج آماری حاصل از مقایسه روابط تجربی مختلف را نشان می دهد. همچنین شکل های (۲) تا (۱۳) نمودارهای Cross plot و مقایسه نقطه به نقطه را برای روابط تجربی مختلف نشان می دهند.

جدول (۲): آنالیزهای آماری نتایج روابط تجربی پیش بینی کننده برای نسبت گاز محلول به نفت

Correlation	AAPRE (%)	R
Glaser (1980)	۲۴٫۸۳۵۶	۰٫۹۲۶۷
Standing (1981)	۲۱٫۶۵۱۷	۰٫۹۰۵۳
Al-Marhoun (1988)	۳۹٫۱۰۷۶	۰٫۷۱۹۶
Petrosky and Farshad (1993)	۴۷٫۹۲۵۳	۰٫۸۰۶۵
Macary and El-Batanoney (1993)	۴۰٫۸۷۰۲	۰٫۸۷۳۷
Dindoruk and Christman (2004)	۲۶٫۶۷۲۴	۰٫۸۹۵۶

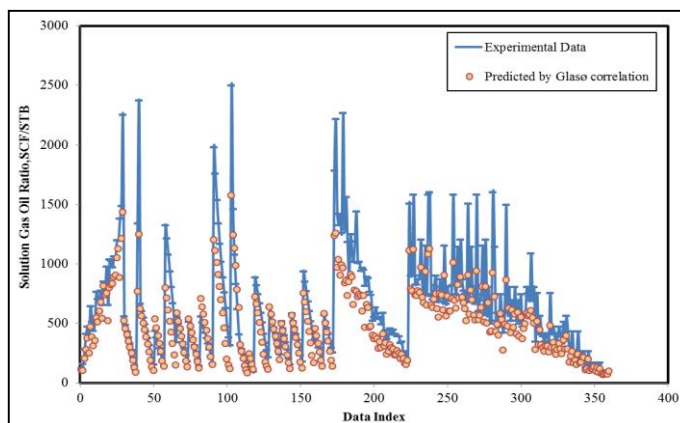
- نمودار توزیع پراکندگی مربوط به رابطه glaso

در نمودار زیر ستون افقی مربوط به داده های آزمایشگاهی بدست آمده از ۳۸۰ داده pvt مورد مطالعه تحقیق و ستون عمودی آن نسبت گاز به نفت بدست آمده از رابطه glaso می باشد. تطابق دو نتیجه بدست آمده بر روی خط با زاویه تقریبی ۴۳/۵ درجه بیانگر تساوی نتایج می باشد و انحراف نقاط از روی این خط نشان دهنده عدم تساوی نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه glaso می باشد. که در شکل زیر برای نسبت گاز محلول به نفت بالاتر از ۱۵۰۰ (SCF/STB) نتایج خوبی از رابطه مذکور حاصل نمی شود.



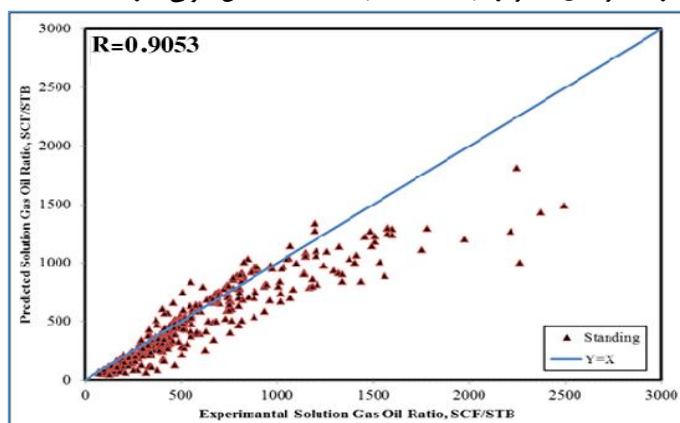
شکل (۲): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه گلاسو

نمودار مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی داده های مورد مطالعه تحقیق با نتایج بدست آمده از رابطه glaso را نشان می دهد که در مقادیر بالای gor بین دو مقدار مورد مقایسه اصلا تطابق وجود ندارد.



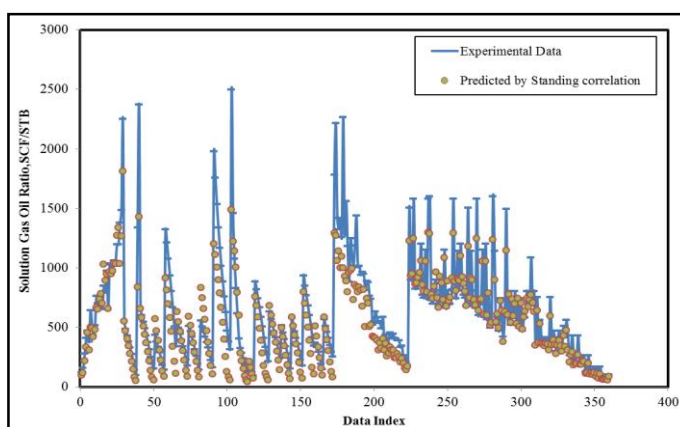
شکل (۳): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله رابطه گلاسو در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

یکی دیگر از روابط معروف جهت محاسبه gor رابطه standing است که در نمودار توزیع پراکندگی حاصل از مقایسه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر خروجی از رابطه standing مشاهده می شود نقاط بیان گر تساوی دو مقدار مذکور روی خط نمیساز نمودار قرار نگرفته اند و در مقادیر gor بالاتر از ۱۵۰۰ (SCF/STB) نتیجه قابل قبولی ندارد.



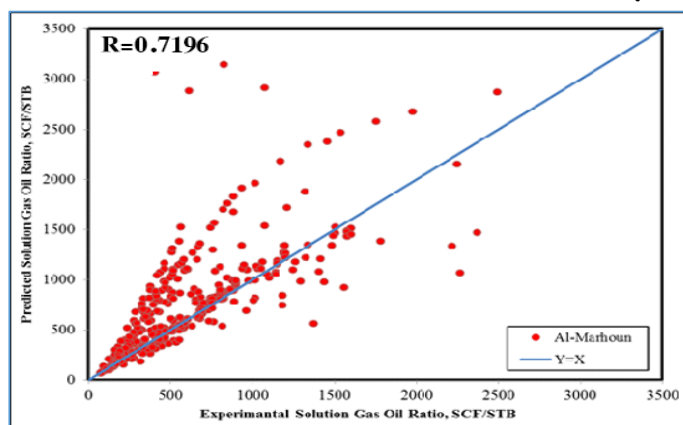
شکل (۴): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه [۲۷]

در شکل (۵) مقایسه نقطه به نقطه بین ۳۸۰ داده آزمایشگاهی مورد مطالعه تحقیق با مقادیر بدست آمده از رابطه standing که در نرم افزار متلب کد نویسی و ترسیم شده است، نمایش داده می شود.



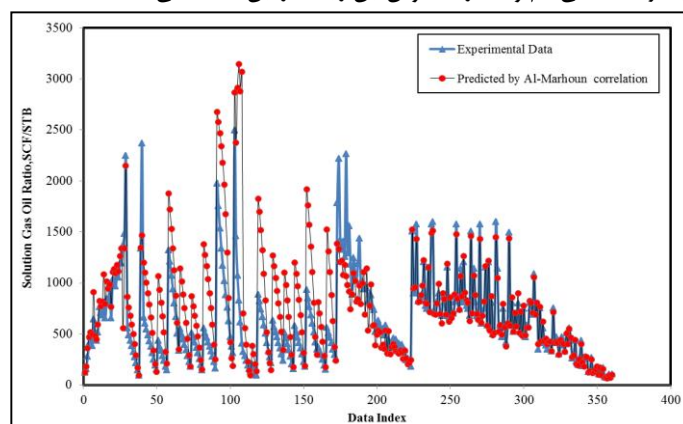
شکل (۵): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله رابطه [۲۷] در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

رابطه بعدی مربوط به (ال- مرهون) است که برای محاسبه GOR مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به نمودار توزیع پراکندگی زیر نتایج آزمایشگاهی را در مقابل مقادیر پیش بینی شده از فرمول قرار دادیم و قابل مشاهده است که مقادیر زیادی از داده ها از خط با زاویه حدود $43/5$ درجه فاصله زیادی دارند و این خود توجهی برای پایین بودن ضریب همبستگی و عدم توانایی مناسب در محاسبه نسبت گاز به نفت دارد.



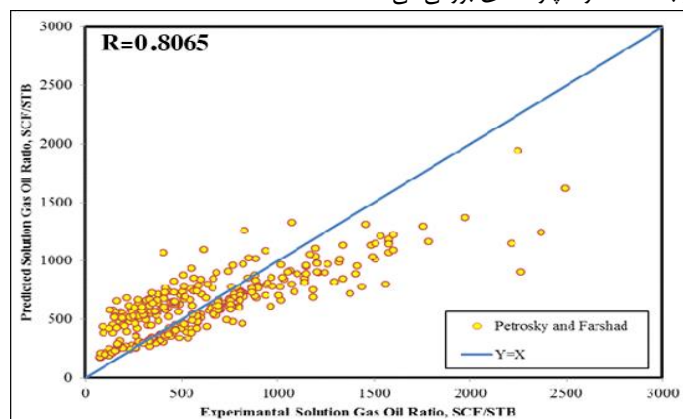
شکل (۶): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه [۲]

در مقایسه نظیر به نظیر مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه ال - مرهون تقریباً هیچ دو نقطه داده ای بر روی هم منطبق نگردیده و بیانگر همبستگی کم و نا کار آمد بودن این رابطه در این مطالعه می باشد.



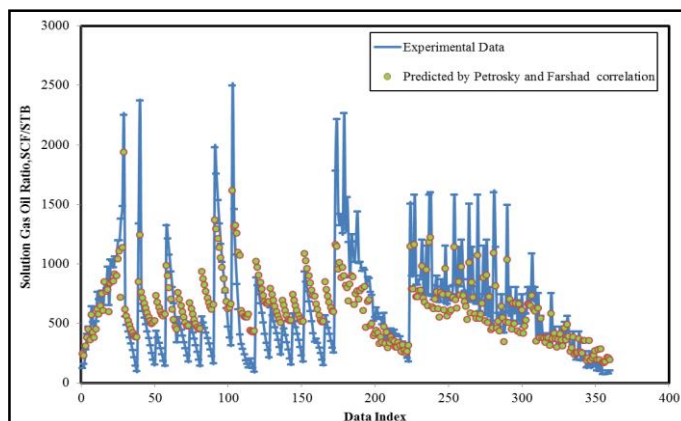
شکل (۷): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

از دیگر روابط موجود جهت محاسبه گاز محلول در نفت رابطه پتروسکی و فرشاد است که بعد از پیاده سازی این رابطه به صورت کد در نرم افزار متلب و مقایسه آن در مقابل مقادیر آزمایشگاهی مشاهده می شود که این رابطه نتیجه قابل قبولی نداشته و در پیش بینی نسبت گاز به نفت ما را دچار خطای بزرگی می کند.



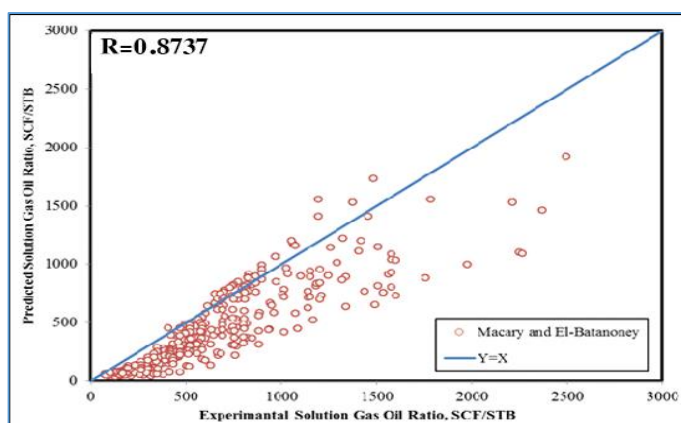
شکل (۸): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

در مقایسه نقطه به نقطه رابطه پتروسکی و فرشاد نیز عدم تطابق مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه کاملاً مشهود است که مسلماً در پیش بینی نسبت گاز به نفت درصد خطای بالایی دارد.



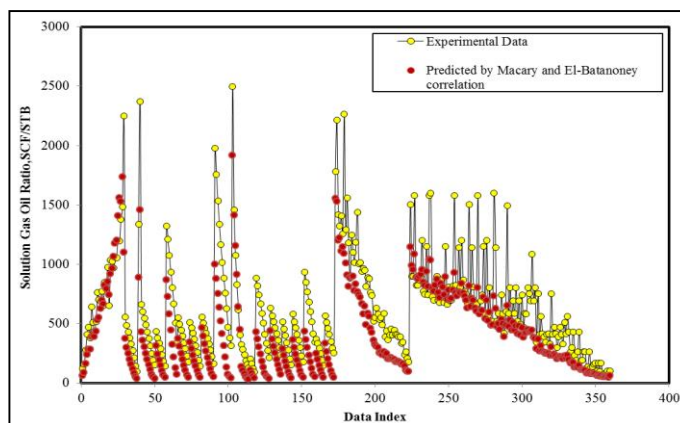
شکل (۹): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده

این بار یکی دیگر از روابط موجود، رابطه ماکاری و آل باتانونی را برای پیش بینی نسبت گاز به نفت انتخاب کرده و مقادیر خروجی این رابطه که برگرفته از نرم افزار متلب می باشد را در مقابل مقادیر pvt بدست آمده در آزمایشگاه قرار دادیم تا میزان اعتبار این رابطه مشخص شود. با توجه قرار نگرفتن نقاط مشترک حاصل از برابری دو نتیجه بدست آمده بر روی خط با زاویه حدود ۴۳/۵ درجه حاکی از قدرت پایین پیش بینی نسبت گاز به نفت در رابطه مذکور می باشد.



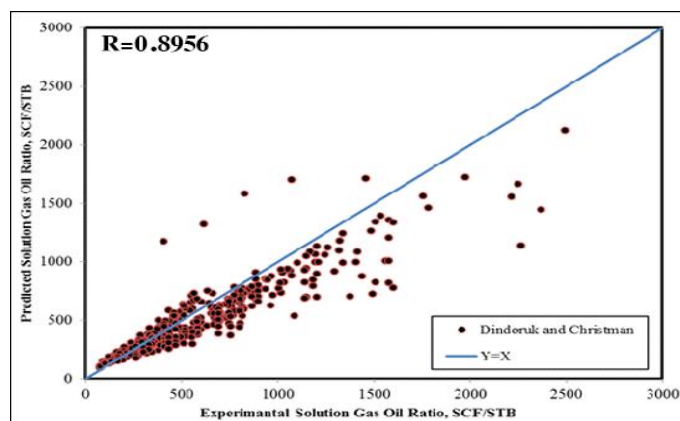
شکل (۱۰): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

در این شکل از نمودار گرافیکی دیگری برای تشخیص و نمایش توانایی پیش بینی رابطه ماری استفاده کردیم، نمودار زیر که مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه مذکور را نشان می دهد بیانگر عدم تطابق و همبستگی پایین نتایج است.



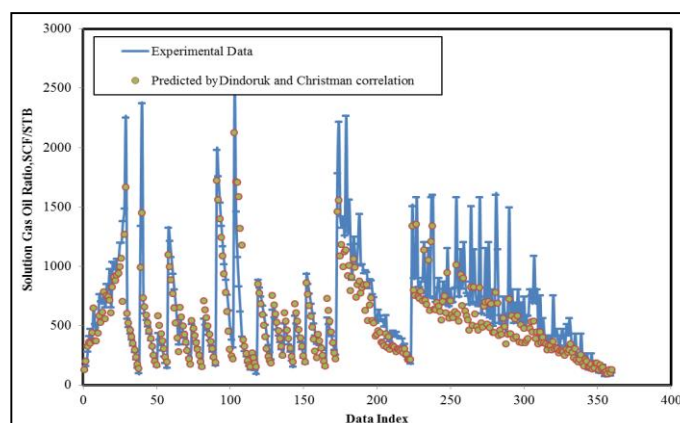
شکل (۱۱): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده

آخرین رابطه تجربی مورد استفاده در تحقیق که باز هم نتیجه ضعیفی در پیش بینی و محاسبه نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی خاورمیانه داشت رابطه دیندورک و کریستمن است. هر چند که این رابطه در مقابل روابط پتروسکی، ماکاری، ال مرهون نتیجه بهتری دارد اما همانطور که از نمودار زیر مشخص است همانند سایر روابط در محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز به نفت (SCF/STB) ۱۵۰۰ پاسخ خوبی ندارد.



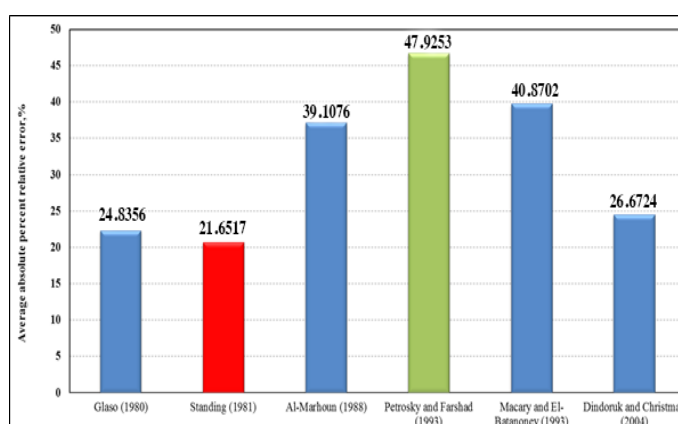
شکل (۱۲): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

نمودار مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر پیش بینی شده از رابطه دیندورک و کریستمن نیز نشان دهنده عدم توانایی مناسب این رابطه برای پیش بینی نسبت گاز به نفت می باشد و در تعداد داده های زیادی شاهد عدم برابری نتایج بدست آمده هستیم.



شکل (۱۳): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله

AAPRE یکی از پارامترهای مهم جهت تعیین دقت و قدرت یک رابطه یا مدل می‌باشد که هر چه مقدار این پارامتر کمتر باشد، دقت و قدرت مدل پیش‌بینی کننده بالاتر می‌باشد. مقایسه مقادیر AAPRE برای روابط تجربی موجود نشان می‌دهد که با داشتن AAPRE بالای ۳۷٪ عملکرد ضعیفی جهت پیش‌بینی نسبت گاز محلول به نفت دارد. روابط تجربی مختلف نشان می‌دهند که این روابط برای محاسبه مقادیر بالای Rs مناسب نیستند، به عنوان مثال مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله روابط تجربی در مقادیر بالای SCF/STB ۱۵۰۰ انحراف بیشتری از خط ۴۳/۵ درجه دارند که می‌توان نتیجه گرفت این روابط جهت پیش‌بینی دقیق و صحیح در مقادیر بالای Rs مناسب نیستند. رابطه تجربی پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین رابطه جهت تخمین زدن نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد، به طوریکه دارای بیشترین AAPRE می‌باشد، همچنین شکل (۹) نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله این رابطه و مقادیر آزمایشگاهی بسیار زیاد می‌باشد. با دست یافتن به پارامترهای آماری مناسب بهترین عملکرد را برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت ارایه می‌دهند، به دلیل دست یافتن به کمترین AAPRE و بالاترین ضریب همبستگی مناسب ($R=0.9142$) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت بین روابط تجربی موجود دارد.



شکل (۱۴): AAPRE روابط تجربی برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت

نمودار فوق توصیف کلی گرافیکی آماری درصد خطای نسبی میانگین از روابط معروف موجود جهت درک بهتر توانایی محاسبه نسبت گاز به نفت را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برتری روابط glaso و standing با کمترین خطا نسبت به بقیه روابط قابل اثبات است و رابطه پتروسکی و فرشاد هم با بالاترین درصد خطا ضعیف‌ترین پیش‌بینی را دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در بین روابط تجربی موجود روابط گلاسو (۱۹۸۰) و استاندینگ (۱۹۸۱) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت و رابطه پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین عملکرد را دارد.

مقایسه مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده برای محاسبه نسبت گاز به نفت نشان می‌دهد، اگرچه مدل LSSVM تطبیقی قوی بین مقادیر پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی فراهم می‌کند اما مدل ANN با رسیدن به کمترین AAPRE برابر با ۹٫۳۴۵۶ و RMSE با مقدار ۵۴٫۰۶۷۵ و بالاترین ضریب همبستگی ($R=0.9837$) که نزدیک‌ترین مقدار به یک می‌باشد، بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز به نفت دارد.

آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نشان می‌دهند که مدل‌های ANN و LSSVM توسعه داده شده نسبت به روابط تجربی موجود معتبرتر می‌باشد و قادر است بر تمام روابط تجربی غلبه کند.

عملکرد و و کارایی مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده به ویژه مدل ANN تأیید می‌کند که این مدل‌ها می‌توانند به عنوان روشی سریع، کم هزینه با قابلیت پیش‌بینی قوی و به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های آزمایشگاهی جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت به کار روند.

روابط تجربی برای محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز محلول به نفت مناسب نیستند.

- [1] Kriesel, D., A Brief Introduction to Neural Networks. www. Dkriesel . com. Bonn, Germany, 2005.
- [2] Dutta ,S.,Gupta,J.P.,PVT Correlation for Indian Crude using Artificial Neural Networks,Journal of Petroleum Science and Engineering , 2010,V.72,P93-109.
- [3] Elsharkawy, A.M., ,(1998), Modeling the properties of crude oil and gas systems using RBF network. In SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers, 12-14 October, Perth, Australia
- [4] Ahmed, T., (2006). Reservoir engineering handbook. Gulf Professional Publishing.
- [5] Al-Marhoun, M.A., (1988). PVT correlations for Middle East crude oils. Journal of Petroleum Technology, 40(05), pp.650-666.
- [6] Asadisaghandi, J. and Tahmasebi, P., (2011). Comparative evaluation of back-propagation neural network learning algorithms and empirical correlations for prediction of oil PVT properties in Iran oilfields. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78(2), pp.464-475.
- [7] Dokla, M. and Osman, M., (1992). Correlation of PVT Properties for UAE Crudes (includes associated papers 26135 and 26316). SPE Formation Evaluation, 7(01), pp.41-46.
- [8] Elsharkawy, A.M., (1998), Modeling the properties of crude oil and gas systems using RBF network. In SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers, 12-14 October, Perth, Australia
- [9] Farshad, F., LeBlanc, J.L., Garber, J.D. and Osorio, J.G., (1996), January. Empirical PVT correlations for Colombian crude oils. In SPE Latin America/Caribbean petroleum engineering conference. Society of Petroleum Engineers.
- [10] Fath, A.H., Pouranfard, A. and Foroughizadeh, P., (2018). Development of an artificial neural network model for prediction of bubble point pressure of crude oils. Petroleum.

نقش رنگ بر یادگیری کارآموزان در فضاهای آموزشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

کد مقاله: ۹۱۹۸۷

مریم داور^{۱*}، هایده هواسی^۲، سمیه هواسی^۳، ندا مرادی^۴

چکیده

رنگ در محیط زندگی انسان از اهمیت بسزایی برخوردار است و یکی از مؤثرترین عوامل بر کیفیت زندگی مان است. رنگ ها خواه به طور جداگانه و خواه در ترکیب با یکدیگر، تأثیرات متفاوتی بر روح و روان آدمی باقی می‌گذارد. در واقع تأثیرات رنگ‌ها و احساساتی که در اثر مشاهده آن‌ها در انسان ظاهر می‌شود، آن‌چنان است که امروزه رنگ در واکاوی اشخاص به ویژه کارآموزان در حکم یکی از عوامل اساسی تلقی می‌شود. رنگ و تصویر بیش از هر عامل دیگری ذهن کارآموز را به خود جلب می‌کند. با رنگ تکنیک یادگیری به مراتب افزایش می‌یابد رنگ از عوامل محیطی مهمی است که در بروز خلاقیت، رشد و تکوین شخصیت کارآموز نقش بسیار بسزایی دارد؛ مطالعه آنچه که تأثیر رنگ‌ها را بر رشد و یادگیری کارآموزان افزایش می‌دهد بسیار مهم است. در این پژوهش تلاش می‌شود که علی‌رغم خصوصیات گوناگون رنگ به شناخت رنگ‌ها و بهره‌گیری مناسب از قواعد آن برای طراحی محیط آموزشی اطراف کارآموز به گونه‌ای که رنگ در فضای آن به ارتقاء خلاقیت و سطح آموزش کمک کند. در این پژوهش که به روش توصیفی و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شکل گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که کارآموز برای رشد قبل از هر چیزی به ارضاء عاطفی و احساس پیوندها با محیط فیزیکی و آموزشی خود نیازمند است؛ بنابراین یک مشخصه محیط مناسب، وجود محرک‌ها و انگیزه‌های لازم و منطبق با توانایی شناختی و ادراکی کارآموزان است. با رعایت اصول و عوامل محیطی رنگی در طراحی فضاهای مورد استفاده کارآموز می‌توان کاری کرد که بین کارآموز با دنیای رنگارنگ پیرامون او نوعی تعامل ایجاد شود و در سایه این دوستی و شیفتگی امر یادگیری و بروز خلاقیت به سهولت و با لذت انجام گیرد.

واژگان کلیدی: رنگ، فضای آموزشی، خلاقیت، کارآموز

۱- کارشناس ارشد معماری (نویسنده مسئول) Davar5832@gmail.com

۲- کارشناس معماری

۳- کارشناس گرافیک

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد برق

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین دوران زندگی انسان‌ها دوران آموختن (دانش‌آموزی، دانشجویی، کارآموزی) آن‌ها است؛ این دوران، دورانی است که اگر با آگاهی به همه ابعاد وجودی، شخصیتی، اجتماعی و عاطفی آن توجه شود تأثیر بسزایی در شکوفایی استعداد و خلاقیت کارآموزان در آینده خواهد داشت. ظرفیت‌های وجودی در هر کارآموزی برای به فعالیت درآمدن، نیازمند عوامل محیطی مناسب، آموزش و تجربه است که رنگ از آن جمله عوامل محیطی مهم و مؤثری است که بر شکوفایی، خلاقیت کارآموزان و همچنین درصد یادگیری آنان تأثیر مستقیم دارد؛ در حقیقت عامل رنگ می‌تواند بخشی از رفتار روزمره کارآموزان را نسبت به محیط اطرافشان تعیین کند. شکوفایی و خلاقیت و نوآوری سه عامل ارزشمند و قابل توجه در آموزش امروز به شمار می‌رود. رشد و ظهور و ظهور خلاقیت بستگی به عواملی جز هوش و استعداد دارد. در دهه‌های اخیر به دلیل اهمیت رنگ برای کارآموزان و تأثیر آن بر تربیت، رشد و تکوین شخصیت آن‌ها ترجیح رنگ و نوع به کارگیری آن در روانشناسی محیط مورد توجه بسیار قرار گرفته و کاربردهای زیادی پیدا کرده است.

شاید بتوان گفت که انسان در محیط به دنبال یافتن پاسخ برای نیازهای خود می‌باشد، در صورت تأمین این نیازها از مکان، احساس عاطفی مثبتی بین فرد و مکان به وجود خواهد آمد. پیوند و تعامل بین انسان و مکان و یا «دلبستگی به مکان» از مهم‌ترین ابعاد نیاز انسان برای ارضای نیازهای روحی-روانی و مادی او محسوب می‌شود. کیفیت فضا و توجه به نیازهای انسان در طراحی در ایجاد حس دلبستگی به مکان موثر است. هرچه سطوح تأمین این نیازها به سطح فوقانی نیازهای مازلو نزدیک‌تر باشد، مقدار حس رضایتمندی در انسان بیشتر و به همان نسبت ارتباط عمیقی میان فرد با مکان شکل می‌گیرد.

۲- پیشینه پژوهش

درباره مفاهیم نمادین رنگ‌ها تحقیقات متعددی صورت گرفته است، از جمله محمودی و بخشی‌زاده (۱۳۹۲)، در مقاله مزرع سبز فلک؛ نگاهی انتقادی به شعر حافظ به این موضوع پرداخته‌اند. تاج‌واردی و مختارنامه (۱۳۸۶) در پژوهشی به نام بررسی رنگ در حکایت‌های هفت پیکر نظامی و مونس سرخه و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به نام نوع لباس و نمادهای رنگ در عرفان اسلامی، نیکوبخت و قاسم‌زاده (۱۳۸۷) در پژوهشی به نام سمبولیسم نور و رنگ در عرفان اسلامی و قاضی‌زاده و خزایی (۱۳۸۴) در پژوهشی به نام مقامات رنگ در هفت پیکر نظامی و تجلی آن در نمونه‌ای از آثار نگارگری پرداخته است. سیدتقی حسینی (۱۳۸۵)، در مقاله‌ای به روان‌شناسی رنگ‌ها در فضاسازی آموزشگاه‌ها و سلطان‌زاده (۱۳۸۸) در مقاله نور و معماری و عیدی (۱۳۹۰) به تأثیرات روانشناسی نور و رنگ در معماری پرداخته‌اند.

۳- ساختار رنگ

رنگ یک انعکاس مرئی است که در اثر عبور یا انتشار یا بازتاب ترکیب رنگ‌ها توسط اشیاء به وجود می‌آید. از دیدگاه علمی ثابت شده که همه رنگ‌ها از تشعشع‌های نور خورشید است و هر شیء به میزان شفافیت و خاصیت جذب پرتوها، بعضی پرتوها را جذب می‌کند و برخی را بازتاب می‌دهد، در نتیجه آن شکل را به رنگ پرتوهای بازتاب شده می‌بینیم. رنگ با تجزیه نور شکل گرفته و نمادین‌ترین تمثیل تجلی کثرت در وحدت را نمودار می‌سازد. از یک سو رنگ همان نور است همان وحدت و از سویی دیگر نور با تجزیه، تجلیات مختلف می‌یابد یا همان کثرت و حال نور که خود نماد کاملی از وحدت است با رنگ تجلی می‌یابد (بمانیان و عظیمی، ۱۳۸۹، ۴۴).

۴- ماهیت رنگ

زندگی سرشار از رنگ و جلوه‌های آن است. وقتی از رنگ سخن به میان می‌آید همه ما تصوراتی از آن خواهیم داشت و بلافاصله رنگ‌هایی در نظرمان جلوه‌گر می‌شود. اهمیت و نقش رنگ در زندگی، مفاهیم مختلفی از آن را در ذهن ما زنده می‌کند (Ethan, 1986, 49) نقش رنگ در زندگی انسان‌ها از گذشته تاکنون آن‌قدر زیاد بوده که هیچ‌گاه هم‌چون واژه‌ای ناشناخته و غریب تلقی نشده است. در برخی از فرهنگ‌های قدیمی از جمله مصری‌ها، چینی‌ها و یونانی‌ها از رنگ برای درمان استفاده می‌شده است. اریستول اولین کسی بود که نظریه در تأثیر عملکرد رنگ روی سیستم عملکرد بدن را مطرح کرد (رحمانیان و محمودی، ۱۳۹۹، ۶۸).

رنگ شناسان معتقدند که عدم تعادل در بدن نشان دهنده فقدان یک یا چند رنگ است که می‌توان استفاده از رنگ‌های مورد نظر آن را برطرف کرد. گلدشتاین محقق برجسته‌ای است که تحقیقات زیادی روی رنگ و آزمایش‌های بیولوژیکی آن انجام داده و بر این عقیده است که رنگ تأثیر مستقیمی بر رفتار و کلیه ارگانیسم‌های بدن انسان دارد. رنگ می‌تواند روح و روان فرد را تحت تأثیر قرار دهد. به نظر روانشناسان چنانچه انسان‌ها حس رنگ‌شناسی خویش را تقویت کنند کنترل بهتری بر هیجانات خود خواهند داشت و در نتیجه هماهنگی بهتری بین تن و جان خویش برقرار می‌سازند (Malkin, 1992, 20).

تأثیر رنگ بر روان انسان ثابت شده است. رنگ می‌تواند روح و روان فرد را تحت تأثیر قرار دهد، شفا بخش و نشاط‌آور باشد. چنانچه انسان بتواند حس رنگ‌شناسی خود را تقویت کند کنترل بهتری بر هیجانات خود دارد و می‌تواند بین جسم و روح خود هماهنگی ایجاد نماید. وجود رنگ‌های مختلف در طبیعت و محیط زندگی انسان دارای تأثیرات زیادی در فرد و زندگی فردی و حتی اجتماعی می‌باشد و در قرآن کریم و روایات اهل بیت نیز به این قضیه توجه شده است. طبق تحقیقات جامعه‌شناسی، رنگ‌ها، نه تنها افراد را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند بلکه منجر به پیشرفت و یا رکود یک جامعه نیز می‌شوند. با عدم جایگزینی تصحیح رنگ در مکان خاص خود و به کارگیری نادرست آن در محیط‌های انسانی، صدمات روحی شدیدی بر انسان وارد خواهد.

۵- ویژگی‌های رنگ

رنگ‌ها در شخصیت انسان‌ها، به خصوص کارآموزان تأثیر بسزایی داشته، باعث ایجاد تجربه‌های هیجانی از قبیل شادی، خنده، غم، اندوه، آرامش، تحریک پذیری، سکون و هیجان می‌شود در کارآموزان این خصیصه شدت می‌یابد، آنان به سبب روح پاک و بی‌آلایش و شاد و پرتراوت خویش رنگ‌های زنده و مرکب که در ترکیبی مناسب با هم قرار گرفته باشند را ترجیح می‌دهند این موضوعی است که در طراحی و تزئین و رنگ‌آمیزی فضاهای داخلی و ترکیبات مناسب رنگی باید مورد توجه قرار گیرد با رنگ‌های مختلف می‌توان اندازه و وزن یک شیء معین را کوچک یا بزرگ، سبک یا سنگین جلوه داد. اصولاً رنگ‌های گرم و روشن باعث توسعه اشیا شده و به آنها وسعت می‌دهند و بالعکس رنگ‌های سرد و تیره باعث می‌شوند اشیا کوچک‌تر از اندازه خود به نظر آیند (دیواندری و بزرگی قمی، ۱۳۹۷، ۳). رنگ‌ها سه دسته‌اند:

الف). رنگ‌های اصلی که شامل سه رنگ قرمز، آبی و زرد می‌شوند.

ب). رنگ‌های فرعی که از ترکی سه رنگ اصلی به درس می‌آیند مثل سبز، نارنجی، بنفش.

ج). رنگ‌های میانه که از ترکیب رنگ اصلی به علاوه رنگ فرعی به دست می‌آید که ۶ عدد هستند. زرد مایل به سبز و غیره، آبی مایل به سبز و...

از رنگ به دو طریق استفاده می‌کنند:

الف) نمونه‌سازی طبیعی و عینی مثلاً دریا به رنگ آبی و چمن به رنگ سبز رسم می‌شود.

ب) استفاده از رنگ‌هایی که به طور ناخودآگاه به ذهن می‌رسند و قانون خاصی ندارند.

در مبحث هنر، رنگ به خودی خود وسیله پرقدرتی برای بیان و نشان دادن حالت‌های عمیق درونی است. نقاشی کارآموزان نمونه روشنی از ارائه رنگ‌های متنوع در سطح وسیع می‌باشد. فقدان رنگ در تمام یا قسمتی از موضوع نقاشی کارآموزان نشان‌گر خلا عاطفی و یا گاهی دلیل بر گرایش‌های ضد اجتماعی اوست.

رنگ‌های گرم تحریک کننده، سبب فعالیت، جنب و جوش، الهام دهنده روشنی، شادی زندگی و مولد حرکت‌ند، در حالی که رنگ‌های سرد برعکس موجب حالت‌های انفعالی، سکون، بی‌حرکتی و تلقین کننده غم و اندوه هستند. تماشای رنگ‌های گرم میزان ضربان قلب را تشدید می‌کند و برای فضای پرهیجان کاربرد دارند (دیواندری و بزرگ قمی، ۱۳۹۷، ۳).

۶- هماهنگی (هارمونی) رنگ

هماهنگی یا هارمونی به معنای «چیدمان مطبوع اجزاء یک کل» است و وجود آن در تمام مظاهر زندگی از موسیقی، شعر، رنگ یا حتی یک کیک زیبا، جلوه می‌کند. مغز انسان هر چیزی نامتعادلی را که قابلیت سازماندهی نداشته و نامفهوم باشد، پس می‌زند. برای اینکه تصاویر رنگ‌ها در شخصیت انسان‌ها به خصوص کارآموزان تأثیر بسزایی داشته، باعث ایجاد تجربه‌های هیجانی از قبیل شادی، خنده، غم، اندوه، آرامش، تحریک پذیری، سکون و هیجان می‌شود. در کارآموزان نوجوان این خصیصه شدت می‌یابد آنان به سبب روح پاک و بی‌آلایش و شاد و پرتراوت خویش رنگ‌های زنده و مرکب که در ترکیبی مناسب با هم قرار گرفته باشند را ترجیح می‌دهند. این موضوعی است که در طراحی و تزئین و رنگ‌آمیزی فضاهای داخلی و ترکیبات مناسب رنگی فضاهای طبیعی باید مورد توجه قرار گیرد با رنگ‌های مختلف می‌توان اندازه و وزن یک شیء معین را کوچک یا بزرگ، سبک یا سنگین جلوه داد.

۷- مفاهیم پایه رنگ - تئوری رنگ

صفات رنگ - رنگ‌ها را می‌توان توسط سه بعد رنگی مشخص نمود. شامل رنگمایه یا لون (Hue) به معنای خصوصیت تمایز رنگ‌ها از یکدیگر، و لویو (value) به معنای حالت روشنایی یا تاریکی نسبی رنگ که دارای ۱۱ درجه از سیاه مطلق تا سفید مطلق می‌شود و کروما (Chroma) یا اشتباعیت رنگ که به مقدار لوین یک رنگ است و از خاکستری خنثی با شماره صفر تا بالاترین درجه اشباع در هر سطح رنگی ادامه می‌یابد (شکیبامنش، ۱۳۸۴، ۷).

کمپوزیسیون- تنظیم رنگ‌ها در فضا- عمل کمپوزیسیون در رنگ به معنای کنار هم قراردادن دو یا چند رنگ است به نحوی که حالت و مفهوم معین و مشخصی را بیان می‌کند. انتخاب این رنگ‌ها، موقعیت نسبی آن‌ها، مکان و جهات آنها در کمپوزیسیون، طرح کلی آنها، اندازه و وسعت و تناسب‌ها، همگی عوامل قاطع و تعیین کننده‌ای در بیان مفهوم رنگ است (سید صدر، ۱۳۸۰، ۲۴۵).

کنتراست‌های رنگ- منظور از کنتراست رنگ تفاوت‌های آشکاری است که بین دو فضای رنگ آمیزی شده می‌تواند دیده شود. وقتی که چنین تفاوت‌هایی به بالاترین درجه خود می‌رسد، کنتراست‌ها قطری یا قطبی هستند. سیاه- سفید، سرد - گرم در منتهای درجه کنتراست‌های قطبی جای می‌گیرند. با بررسی مشخصات اثر رنگ هفت نوع کنتراست رنگی مشخص شده است، که هر کدام به لحاظ خصوصیت و ارزش هنری، اثر بصری، مفهومی و سمبولیک بی همتا هستند (سیدصدر، ۱۳۸۰، ۲۵۰).

رنگ و نور- بدیهی‌ترین ارتباط رنگ، با زمان و تغییر نور، در ساعات مختلف روز، در فصول مختلف و در آب و هواهای متفاوت است. یعنی تغییر شدت نور، زاویه تابش، وجود سایه و آفتاب و مانند آن بر کیفیت رنگ‌ها تاثیر می‌گذارند و به صورت ناخودآگاه به فرد در تشخیص زمان کمک می‌کنند و در واقع شخص با رنگ‌های مختلف جهت‌یابی زمانی خود را انجام می‌دهد. ناآگاهی طراح شهری در این مسئله سردرگمی و حس ناراحتی را در افراد به وجود می‌آورد. طبیعت در بسیاری موارد بهترین الگو در ترکیب زمان و رنگ‌ها است (مرادی پور، ۱۳۸۶، ۴۰).

معنای نمادین رنگ‌ها- رنگ‌ها و رنگ آمیزی محیط ساخته شده در مقیاس‌های گوناگون معنای مختلفی دارند. این معانی اغلب تابعی از عرف رایج جوامع هستند. در چین باستان رنگ زرد، رنگ پادشاهان و نشان قدرت بوده است. قرمز و سیاه نیز همواره به عنوان رنگ‌های نمادین حیات و مرگ به شمار می‌آمدند و نخستین بار انسان‌های غارنشین از این دو رنگ به تزئین گورمردگان خود استفاده کردند (شکیبامنش، ۱۳۸۴، ۲). آبی فیروزه‌ای نیز رنگ ملی ایرانیان بوده است ایرانیان باستان معتقد بودند که سنگ آبی فیروزه‌ای قدرت حفاظت کننده قوی ایجاد می‌کند و برای دفع شیطان به کار می‌رود و واژه فارسی معادل آن به معنای سرور و شادی است (پاکزاد، ۱۳۷۵، ۴۹۶).

۸- تأثیرات رنگ‌ها از نظر روانشناسی

تأثیر رنگ بر روان انسان ثابت شده است. رنگ‌ها در طی قرن‌ها به نمادهایی از احساسات درونی و حالات شخصیتی و اجتماعی تبدیل شده‌اند (شامقلی، ۱۳۹۰، ۲۱۱). تاکنون صحبت‌های بسیاری درباره‌ی تأثیرات رنگ‌ها بر انسان شده است. البته باید در نظر گرفت که خصلت بیانی رنگ‌ها را نمی‌توان تحت قاندهای ساده و مشخص درآورد. به طور مثال رنگ قرمز دارای شخصیتی متکی به خود، مسلط به امور، نیرومند، فعال، پر تحرک، سرشار از حس زندگی، سرکش و پر هیجان است. درعین حال این رنگ می‌تواند آزاردهنده، محرک عصبانیت و آشفته‌گی باشد. در مقابل رنگ آبی دارای شخصیتی آرام، تفکر برانگیز، منطقی، خون سرد، لطیف، قابل اعتماد و پر رمز و راز است و تأثیری آرامش بخش روی سیستم عصبی دارد.

رنگ زرد شخصیتی دوگانه دارد. از یک طرف جذاب و محرک است و از طرف دیگر شکننده و بی‌دوام است. در حالت خلوص نمادی از ذکاوت و دانایی است اما به محض رقیق و تاریک شدن نشانه بی اعتمادی و تردید است. زرد رنگی مهاجم و انعطاف پذیر است که به سرعت خاموش می‌شود و از انرژی می‌افتد (حسینی‌راد، ۱۳۸۴، ۳۳). بخش دیگر تأثیرات رنگ به وضعیت ذهنی و روانی افراد بر می‌گردد. خاطرات، تجربه‌ها، وضعیت روحی و بسیاری از عوامل دیگر از جمله عوامل جغرافیایی، آب و هوایی، اجتماعی، فرهنگی و حتی جنسیت و سن افراد در شدت و نوع این تأثیرات دخالت دارند (همان). ساطعی در مقاله‌ای تحت عنوان "آثار روانی رنگ‌ها ویژگی‌های روانی هر یکی از رنگ‌های اصلی را مطابق با جدول شماره ۲ بیان می‌دارد: (ساطعی، ۱۳۷۲، ۱۷۲).

جدول ۲- ویژگی اصلی رنگ‌ها (ساطعی، ۱۳۷۲، ۱۷۲).

رنگ‌ها	ویژگی‌ها و خصوصیات روانی رنگ‌ها
زرد	-حالت گرم کنندگی دارد و روشن‌ترین رنگ در میان کلیه رنگ‌هاست. -رنگ خوشحالی، شادابی، نشاط و آرامش است. -متوای عاطفی آن امیدواری و آزادی است برخلاف نظر عامیانه که آن را رنگ تنفر می‌دانند. -صاحب‌نظران و روانشناسانی رنگ معتقدند که اگر زرد به مقداری آبی داشته باشد (مایل به سبز)، آن قسمت از مغز را که حالت جهش فکری دارد، تحریک کرده و افزایش میزان حضور ذهن در افراد را سبب می‌شود و عامل تقویت حافظه است.
قرمز	-رنگ مثبت، متجاوز و مهیج است. -فشار خون را بالا برده و تنفس را کاهش می‌دهد. -هنگام تغذیه فوق‌العاده اشتهاآور است. -نشانه‌گر فعالیت و تحرک، موفقیت و پیروزی است.

رنگ‌ها	ویژگی‌ها و خصوصیات روانی رنگ‌ها
نارنجی	- در گوارش غذا فوق‌العاده موثر و مفید است. - در عین مهیج بودن، مسکن و آرامش بخش است. - وجود این رنگ در محیط به صورت غالب، موجب تحریک چشم، نگر و اشتها است. - رنگی است که پیامبر (ص) بر آن تأکید کرده زیرا بیانگر آمادگی و فعالیت است.
آبی	- رنگ آبی تقدس و احترام خاص دارد. گنبدهای مساجد و مناره‌های آبی که به مانند پلی میان آسمان و زمین محسوب می‌شوند، بیانگر این موضوع است. - افراد را به بی‌تحریکی، آرامش و حوصله دعوت می‌کند. - آرامبخش نبض، تنفس و فشار خون بالا است. - آرامش درونی به ضمیر باطن می‌آورد. - رنگ آبی ترشح غدد لنفاوی را افزایش داده و تهوع و سرگیجه را زیاد می‌کند.
سبز	- بیانگر طراوت و تازگی، رافع خستگی و نشاط‌آور است. - تقویت کننده روحیه و غرور و اعتماد به نفس است. - موجب افزایش آرامش، تمرکز و کاهش استرس می‌شود؛ از همین رو برای بیماران روانی و عصبی مفید است. - در تقویت احساسات دوستی، امیدواری، ایمان و صلح بسیار موثر می‌باشد.
بنفش	- از ترکیب دو رنگ قرمز و آبی حاصل می‌شود و به دلیل خاصیت دوطرف آبی و قرمز، خواب‌آور است و در افراد کم خواب، درجات را بالا می‌برد. - دارای اشعه الکتروشمیایی قوی است؛ به همین روی قلب و ریه و رگ‌های خونی موثر است. - برای افراد مالیخولیایی و افسرده مضر است، زیرا حالشان را وخیم‌تر می‌کند. - از نظر روحی، در کاهش خشم و نفرت موثر است.

۹- اثرات رنگ بر فضا

اثر فضایی رنگ‌ها دارای عوامل گوناگونی است. نیرو و قدرت رنگ‌ها در مورد عمق آن‌ها در خود رنگ نهفته است. این خصوصیات در تاریکی و روشنی، سردی و گرمی، درجه اشباع و یا میزان وسعت سطوح رنگ‌ها موجود است. بین رنگ‌های سرد و گرم اگر دو رنگ را با درخششی یکنواخت در نظر بگیریم اغلب رنگ‌های گرم به طرف جلو و رنگ‌های سرد به طرف عقب حرکت می‌کنند و هنگامی که کنتراست به آن‌ها اضافه شود، شدت عمق افزون می‌گردد و از بین می‌رود. اثرات فضایی رنگ‌ها در تضاد کیفیت مؤثر است مثلاً یک رنگ خالص نسبت به رنگ دیگری با همان درجه روشنی بیشتر به جلو می‌آید و به محض آن که کنتراست و یا تضاد سرد و گرم به میان آید همه چیز تغییر می‌کند. تصور دنیای بدون رنگ، تصور زیبایی نیست. نکته جالب در مورد رنگ‌ها این است که در واقع رنگ وجود ندارد. از نظر علم فیزیکی چیزی وجود دارد که دارای جسم و یا ماده باشد و بتوان به آن شکل داد و آن را لمس کرد. شی رنگی را می‌توان لمس کرد و یا به آن شکل داد، اما این خود آن شی است که موجودیت خارجی دارد نه رنگ آن. رنگ تنها ظاهر دارد چیزی که به صورت لحظه‌ای دیده می‌شود (شاهچراغی و بندر آباد، ۱۳۹۵، ۳۰۸). آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تشخیص موقعیت در فضا و بارشناسی اجسام، فرم نقش مهم‌تری از رنگ دارد، اگرچه این قاعده نیز تعمیم‌پذیر نیست. مثلاً برای بچه‌ها در سنین معینی رنگ مهم‌تر از فرم است. همچنین شخصیت فردی و وضع روانی افراد مورد آزمایش نیز در این امر مؤثر است: کسانی که سرحال بودند بیشتر توجه به رنگ داشتند و کسانی که دچار افسردگی بودند به فرم توجه داشتند. توجه افرادی با شخصیت برون‌گرا بیشتر به رنگ بوده است و کسانی که درون‌گرا بوده‌اند بیشتر به فرم اهمیت داده‌اند (گروتر، ۱۳۹۳، ۹۱).

۱۰- رنگ و آموزش

به گفته یوهانس ایتن رنگ زندگی است، زیرا زندگی بدون رنگ همچون مرده است. رنگ در فرآیند یادگیری بسیار تأثیرگذار می‌باشد، به این دلیل که یادگیری دارای سبک‌های گوناگونی چون شناختی، عاطفی و فیزیولوژیکی است یک معلم توانا می‌تواند با بهره‌گیری از این سبک‌ها و پیوند آن‌ها با یادگیری، این فرآیند را کارآمدتر سازد تا حافظه بلندمدت فعال گردد. پس این امکان برای معلم و در کل کادر اجرایی فضای آموزشی وجود دارد که با استفاده درست از رنگ‌ها و مدیریت حساب شده، حالت‌ها و شرایط مناسبی برای یادگیری فراهم شود. طی مطالعاتی که در مرکز روانشناسی آلسن آلمان به عمل آمده نشان می‌دهد که شاخص‌ترین رنگ‌های مورد علاقه کارآموزان چهار رنگ: قرمز، نارنجی، زرد و آبی است به همین دلیل کارخانجات اسباب بازی بر اساس سفارش روانشناسان وسایل بازی کارآموزان را اغلب در چهار رنگ مذکور تهیه و تولید می‌کنند. از طرفی رنگ‌های خاکستری، سیاه، قهوه‌ای و سفید مورد علاقه کارآموزان نمی‌باشد و اغلب آن‌ها را می‌انجانند. مسئولان و مربیان باید به مبانی اولیه علم روانشناسی رنگ‌ها آشنا شوند تا در انتخاب رنگ محیط آموزشی و نیز در لباس‌های خود و کارآموزان، آگاهانه دقت بیشتری به کار

برند؛ بنابراین با توجه به اینکه رنگ‌ها اثرات عمیقی بر سلسله اعصاب و روان کارآموزان به جا می‌گذارد نباید از رنگ‌هایی مانند سیاه و قهوه‌ای و یا سفید یک دست در محیط آموزشی استفاده کرد، زیرا نوعی اختلالات عصبی، خستگی روحی و بی‌قراری در کارآموزان ایجاد می‌کند و به بی‌علاقگی و گاهی احساس نفرت به مربیان و معلمانی که از این رنگ‌ها به صورت یک دست استفاده کنند می‌انجامد (شاهچراغی و بندرآبادی، ۱۳۹۵، ۳۱۱). هنر اتل تأثیرهای رنگ محیطی مدرسه‌ای را مطالعه نمود. رنگ‌های اصلی، با تأثیرهای مثبت‌تر ذهنی همراه بود. در مطالعه هنر اتل رنگ‌های زرد، سبز، پرتقالی و آبی روشن بیشتر مورد علاقه دانش‌آموزان بود. وقتی این رنگ‌ها در رنگ‌آمیزی کلاس‌ها مورد استفاده قرار گرفت، نمره بهره هوشی کارآموزان تا ۱۲ نمره افزایش یافت. درحالی که محیط‌های سفید، قهوه‌ای و سیاه نمره‌های کارآموزان کاهش پیدا کرد (قربانی، ۱۳۸۳، -). در محیط آموزشی رنگ تأثیر روانی زیادی بر کارآموزان دارد. نحوه رنگ‌آمیزی محیط آموزشی در تحقیقات زیادی بررسی شده است. استفاده از رنگ‌های مناسب در محیط آموزشی باعث کاهش غیبت‌های مکرر کارآموزان افزایش دلبستگی و دلگرمی آنان به محیط و کاهش خستگی چشم و بدن شده و ناخودآگاه در آنان شوق و علاقه بیشتری به وجود می‌آورد (رحمتی، ۱۳۹۱، ۲). از طرفی نیز برای طراحی محیطی امن و آرام برای کارآموز به وسیله رنگ‌ها باید به همه عناصر موجود در اتاق توجه کرد. رنگ‌های متشابه یعنی رنگ‌هایی که در چرخه رنگ در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند ایجاد آرامش می‌کنند (کاسایان، ۱۳۸۶، ۵).

۱۱- تأثیر رنگ‌ها در محیط‌های آموزشی

رنگ در ایجاد التهاب یا آرامش کارآموز تأثیرگذار است و طبعاً در شخصیت‌پردازی وی مؤثر است گاه تأثیرات به جا مانده از نحوه برخورد زندگی در زمان کارآموزی تا پایان عمر باقی می‌ماند رنگ‌های مورد علاقه کارآموزان شاد و روشن است که نشانه سرزندگی و سلامتی است.

- استفاده از رنگ قرمز در محیط آموزشی: رنگ قرمز در معماری کلاس‌های درس، کاربردی ندارد؛ زیرا دیوارهای قرمز کارآموزان را آشفته حال و بدخلق می‌کند. و به علت روح هیجانی که در این رنگ نهفته است، کارآموز را از حال آرام خارج کرده و به جنب و جوش و ناآرامی می‌کشانند و از تمرکز او جلوگیری می‌کند؛ لذا بهتر است رنگ قرمز در فضای آموزشی استفاده نشود اما می‌توان از این رنگ در محیط‌های بازی، نمایش و ورزش استفاده کرد.
- استفاده از رنگ زرد در محیط آموزشی: زرد یکی از رنگ‌های اصلی است که با فعالیت‌های ذهنی تداعی دارد و هوش و کنجکاوی فرد را تقویت می‌کند. بنابراین با نماد سرعت، به ویژه سرعت تفکر و تصمیم‌گیری در ارتباط است و تمرکز حواس را بالا می‌برد. امام صادق علیه السلام می‌فرماید: هر کس کفش زرد بپوشد تا زمانی که در پایش است در خوشحالی به سر می‌برد و نیز از امام علی علیه السلام نقل شده است: هر کس کفش زرد بپوشد کدورت و غصه‌اش کاهش می‌یابد.
- استفاده از رنگ نارنجی در محیط آموزشی: رنگ نارنجی، رنگی زنده و قوی است و بهتر است با رنگ‌هایی هم‌چون رسی یا زردآلویی مخلوط شود تا اتاق را از حالت پرتنش خارج کرده و به محیطی آرام و دوستانه‌تر تبدیل کند از آنجا که نارنجی رنگی است محرک، برای فضای آموزشی در مقطع دبستان بسیار ایده‌آل است؛ چرا که از یک طرف کارآموزان را سرزنده، نیروبخش، گرم و آرامش طلب می‌کند و از طرف دیگر از خواب آلودگی و بی‌علاقگی کارآموز مخصوصاً در ساعات اولیه صبح جلوگیری می‌کند.
- استفاده از رنگ آبی در فضای آموزشی: از آنجا که رنگ آبی، کیفیتی سرد و رسمی دارد، فضا را به آرامش می‌کشانند و البته از حالت دوستانه و گرمی‌بخش دور می‌کند لذا بهتر است در فضاهای آموزشی و کلاس، این رنگ را با تلفیق رنگ‌های دیگر استفاده کرد.
- استفاده از رنگ ارغوانی مایل به آبی در فضای آموزشی: این رنگ کمال‌گرایی، ایده‌آلیسم، انسان‌گرایی و تفکر فلسفی را تقوتی می‌کند. کارآموزانی که این ترکیب را دوست دارند افرادی پر احساس و خوش‌فکرند و دارای حس ششم قوی‌ای هستند ارغوانی روشن، رنگی است که در تصمیم‌گیری با تفکر و منطق در ارتباط است.
- رنگ بنفش در فضای آموزشی: عناصر تشکیل دهنده رنگ بنفش، قرمز و آبی هستند امتزاج این دو رنگ با بنفش، سردی و گرمی خاصی را در محیط ایجاد کرده که رنگ قرمز، گرمی فضا و رنگ آبی سردی آن را بیشتر می‌سازد؛ لذا طیف‌های کم رنگ بنفش به فضا و محیط آموزشی؛ آرامش، روحیه و شادابی را تلقین می‌کند، ولی لازم به ذکر است که قرار گرفتن به مدت طولانی در فضای صرف بنفش، سبب افسردگی می‌شود، زیرا انرژی‌ها آن به قدری قوی است که ذهن نمی‌تواند بار اضافی آنرا تحمل کرده و از خود واکنش نشان می‌دهد پس بهتر است در طراحی فضای آموزشی، رنگ بنفش را با رنگ‌های سفید، سبز و یاسی ممزوج کرد.
- استفاده از رنگ سبز در فضای آموزشی: سبز، یک رنگ ثانویه است که از ترکیب دو رنگ متضاد زرد و آبی به دست می‌آید این رنگ چون با طبیعت در ارتباط است، رنگی متعادل محسوب می‌شود و به آرامش روحی و اعصاب کمک کرده و محیطی آرامش‌بخش را ایجاد می‌کند رنگ سبز می‌تواند در درون ساختار روانشناختی کارآموزان تعادل کامل ایجاد کند و در بین همه رنگ‌ها از همه آنها خوشایندتر است، زیرا چشم برای تمرکز کردن روی آن هیچ نیازی به تنظیم شبکیه ندارد.

- رنگ خاکستری: این رنگ خنثی است نه روشن نه تاریک، حاکی از بی تفاوتی و دارای صفاتی است همچون غیرمتعهد بودن، عدم مشارکت و کاری به دیگری نداشتن، اگر لباس و یا کتاب بچه‌ها به این رنگ باشد سستی، تنبلی و افسردگی را به دنبال دارد بچه‌ها درمان‌های بحرانی و خستگی‌های روحی و جسمی و یا در اثر فشار و تنش‌هایی نظیر سخت‌گیری‌های قبل از امتحان معلمان و والدین به این رنگ گرایش پیدا می‌کنند که در صورت بروز این مسئله باید آن‌ها را با استفاده از رنگ‌های شاد تشویق کرد (دیواندی و بزرگ قمی، ۱۳۹۷، ۴).

۱۲- تأثیر رنگ‌ها بر روی خلاقیت در فضای آموزشی

رنگ‌ها الهام بخش خلاقیت و ابتکار هستند و باعث می‌شوند کارآموزان و دانشجوین ایده‌های نو و جدیدی به نظرشان برسد. استفاده از رنگ‌ها نه تنها به پروژه‌های هنری کمک می‌کند بلکه حس خلاقیت و نوآوری برای نوشتن داستان را نیز در آن‌ها تحریک می‌کند و به آن‌ها کمک می‌کند که راحت‌تر به سؤالات پاسخ دهند و مورد ارزیابی قرار گیرند. بر اساس مطالعات نظری پیرامون مناسب‌ترین رنگ برای فضاهای آموزشی به سه رنگ زرد، سبز و آبی رسیدیم که طبق مطالعات انجام صورت گرفته رنگ زرد مناسب‌ترین رنگ برای فضاهای آموزشی بوده که یادگیری و میل و رغبت در روند یادگیری را به سبب اثرات روانی به استفاده کننده از فضا انتقال می‌داد و همچنین تأثیر رنگ آبی به سبب آرامش بیشتر در روند یادگیری کارآموزان بسیار نزدیک به رنگ زرد بود (بهزادپور و همکاران، ۱۳۹۹، ۲۴).



شکل ۱- چرخه رنگ گوته، (مآخذ گوته، ۱۸۱۰).

یک دایره رنگ ابتدایی که در آن رنگ‌های قرمز و زرد و آبی وجود دارند، در واقع دایره رنگ سنتی در هنرهای سنتی به شمار می‌آید. سر آیزاک نیوتن در سال ۱۳۶۶ اولین نمودار رنگ را به وجود آورد.

در تئوری رنگ سنتی، قرمز، زرد و آبی رنگ‌های اصلی هستند زیرا دانه‌های رنگی تشکیل دهنده آن‌ها از ترکیب هیچ رنگ دیگری به وجود نیامده و تمام رنگ‌های دیگر از ترکیبات مختلف این سه رنگ با یکدیگر به دست می‌آیند، بنفش و زرد و فیروزه‌ای رنگ‌های هستند که از ترکیب رنگ‌های اصلی با یکدیگر حاصل می‌شوند (بهزادپور و همکاران، ۱۳۹۹، ۲۱).

۱۳- کارآموزان و پیامدهای مهم رنگ در فضاهای آموزشی

به عقیده روانشناسان، رنگ اشیاء، فضا و لباس تأثیر مستقیمی در برقراری ارتباط شخص با آن‌ها دارد از این‌رو، کارآموزان تا زمانی که نتوانند خود را با رنگ فضای کلاس، اشیاء داخل آن، میز و نیمکت، لباس معلم و مانند آن‌ها تطبیق دهد، نمی‌توان از حضور در کلاس لذت ببرد و در فضای آن احساس آرامش کند (حسینی، ۱۳۸۵، ۵۴). رنگ تأثیر فراوانی بر روحیه و رفتار کاربران فضاها دارد و حالات روانی و عاطفی آن‌ها را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (محمودی، ۱۳۹۰، ۱۵). چنان‌چه رنگ زمینه ساز شادابی و نشاط کارآموزان شود می‌تواند باعث ایجاد حس تعلق آن‌ها به محیط نیز شود (رحمتی‌زاد، ۱۳۹۱، ۲۴).

طبق نتایج تحقیقات صورت گرفته، تأثیرات فیزیولوژیک رنگ‌های نامناسب می‌تواند موجب گرفتگی عضلانی، تند شدن تنفس، افزایش ضربان قلب و فشار خون شود و بر فعالی مغزی تأثیر بگذارد و ترکیب رنگی نامتجانس محیط می‌تواند به کاهش واکنش و اختلال در انجام کار بی‌انجامد (حسینی، ۱۳۸۵، ۵۹). به عنوان مثال نارنجی یک رنگ گرم و صمیمی است که پرتوهای شادی آفرینی از خود ساطع می‌کند و موجب رفع خستگی است یا رنگ سبز که انرژی‌زا و آرامش بخش است. به طوری که اضطراب را از انسان دور می‌کند و موجب رفع تنش و کاهش گرفتگی‌های عضلانی می‌شود به خصوص این که سبز، رنگی ایده آل برای فضاهایی است که در آن‌ها تمرکز و آرامش، مورد نیاز است (برومند، ۱۳۸۶، ۱۰).

۱۴- اهمیت و ویژگی نیاز کارآموز در طراحی محیط آموزشی

در زمینه روانشناسی فضاهای آموزشی مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌های متفاوت و بعضاً با گرایش‌های خاص پژوهشگران به چشم می‌خورد که بیشتر به دنبال مشخص کردن بخشی از تأثیر یک عامل خاص در این گونه فضاهاست؛ بنابراین می‌توان گفت مدرسه علاوه بر ایجاد فضاهای فرهنگی باید با ایجاد جذابیت‌های متفاوت برای کارآموزان، مانع از خستگی و سرکوبی نیازهای کارآموزانه آنان باشد، آن‌ها را در جهت علاقه به یادگیری سوق دهد، استعدادهای آنان را شکوفا سازد، همچنین محیطی را سازماندهی کند که در آن کارآموزان نحوه شرکت در اجتماع برای زندگی آینده خود را بیاموزند و از این مجرا، اثرات فرهنگی اجتماعی بیشتری بر جامعه خود بگذارد (بهزادپور و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۹). طراحی فضای منطبق با شرایط کارآموزان به طور قطع

بستگی به شناخت کافی از ویژگی‌های رشد آنان دارد. خصوصیات جسمی و روانی کارآموزان در مراحل مختلف رشد اساس برنامه-ریزی فضا و طراحی برای آنها است. در طراحی فضاهای مهدکارآموز باید ملاحظات زیبایی‌شناسی و ساختاری در کنار خلق فضاهایی که کارآموز را قادر می‌سازد به توسعه توانایی‌های فکری، خلاقانه جسمی و روحی خود اقدام نماید توجه نمود. این امر به خصوص زمانی مهم می‌شود که محیط فیزیکی را یک فضای منفعل در نظر نگرفته بلکه آن را با قدرتهای ویژه برای مهار کردن رفتار و تحت تأثیر قرار دادن روابط و دوستی‌های کارآموز دانست. فضاها و مکان‌هایی که کارآموز در آن تجربه زندگی کردن دارد به آنها در ایجاد خاطرات ابدی کمک می‌کند (کامل‌نیا، ۱۳۸۸، ۵).

فضاهای آموزشی به دلیل محدودیت‌های خاص، استعدادهای فراوانی برای خشک شدن و بی‌روح شدن دارند اما باید تمام تلاش‌ها را به کار بست تا از وقوع این اتفاق جلوگیری کرد. مهم‌ترین نیازهای کارآموزان در فضاها را می‌توان به چند بخش مهم تقسیم نمود:

- نیاز به امنیت، اطمینان و برتری فضا
- نیاز به فعالیت‌های فیزیکی و ذهنی و محصور شدن در میان عوامل و محرک‌های مختلف محیطی
- نیاز به رابطه عاطفی با فضاهای محصور شده و محلی برای خلوت و تنهایی در پاره ای از مواقع (مرتضوی، ۱۳۷۶، ۵).

کیفیت محیط فیزیکی بر موفقیت کارآموز تأثیر فراوانی دارد و بهتر است در فضاهای خاص آنان به جای محیط‌های عملکرد-گرا به فضاهایی جذاب برای کارآموزان توجه نمود (لوشر، ۱۳۸۹). از عوامل لذت‌بخش برای هر کارآموز تأمین وضوح و خوانایی فضا (S, Scott, 2010). محیط‌های آموزشی به دلیل محدودیت‌های فضایی و جغرافیایی، استفاده فراوانی برای خشک و بی‌روح شدن دارند اما باید تلاش‌ها را در راستای جلوگیری از وقوع این اتفاق به کار گرفت. اهمیت دادن به فضاهای آموزشی و رعایت اصول و استانداردهای مربوط به آن در طراحی این مراکز منجر به خلق محیطی متناسب با خواسته‌های روانی کارآموزان می‌گردد. (حسین‌پوریان، ۱۳۹۰). عوامل متعددی مانند نور، تهویه، آلودگی‌های صوتی و ترکیب فضاهای باز و بسته و انعطاف‌پذیری فضا، مبلمان مهم‌تر از همه عنصر رنگ در آموزش و علاقه‌مندی‌های کارآموزان مؤثر است. به عقیده روانشناسان رنگ اشیاء فضا و لباس افراد تأثیر مستقیمی در برقراری ارتباط شخصی با آنها دارد. ازین‌رو کارآموز تا زمانی که نتواند خود را با رنگ فضای کلاس، اشیاء درون آن لباس مربی و مانند آن تطبیق دهند، نمی‌توانند از حضور در کلاس لذت ببرند و در فضاهای آن احساس آرامش کنند (بهزادپور و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۹).

۱۵- دلبستگی به مکان

بر اساس نظریه هشاس دلبستگی فرآیندی از رضایت‌مندی می‌باشد که با مرتفع شدن نیازها و توقعات، از تجارب کنونی افراد به وجود می‌آید و به بقا و پایداری و توسعه و علاقه (شامل مراقبت، توجه، حمایت) و احساس امنیت و راحتی می‌انجامد. نیازها و توقعات کنونی نیز از تجارب قبلی با ترکیب عوامل اجتماعی و حسی و شناختی و رفتاری به علاوه تفکر خود شخص حاصل می‌شود (Hashas, 2003, 5). دلبستگی به مکان رابطه عاطفی فرد با مکان است که ریشه در خصوصیات و تجارب گذشته فرد دارد که مکان باید بتواند پاسخگو نیازها و انتظارات انسان باشد و همین‌طور مکان باید ظرفیت‌های پاسخگویی به این نیازها و انتظارات داشته باشد و دلبستگی به مکان بر اساس تعامل شناختی، عاطفی و عملکردی بین افراد، گروه‌ها و مکان کالبدی- اجتماعی در طول زمان شکل می‌گیرد (دانشپور و همکاران، ۱۳۸۸، ۵۴).

به هر میزان که مکان بتواند پاسخگوی نیازها و انتظارات انسان باشد، دلبستگی او به آن مکان افزایش می‌یابد (دانشپور و همکاران، ۱۳۸۸، ۵۵). احساس دلبستگی به مکان، سطح بالاتری از حس مکان است که عامل مهمی در هماهنگی فرد و محیط، بهره‌برداری بهتر از محیط و رضایت استفاده‌کنندگان می‌باشد (فلاح، ۱۳۸۵، -). استدمن نیز معتقد است، دلبستگی به مکان بخشی از حس مکان است که به طور حسی فرد را به آن مکان گره می‌زند و یک تجربه مثبت از مکان را به وجود می‌آورد (Stegman, 2003, 11).

۱۶- رابطه عوامل کالبدی نور و رنگ با ایجاد رضایت‌مندی و دلبستگی به مکان

آنچه منجر به دلبستگی انسان‌ها به محیط زندگیشان می‌شود، توانایی پاسخگویی مکان به نیازها و توقعاتی که انسان از آن محیط در ذهن خود دارد. زمانی که مکان بتواند پاسخگوی این نیازها و توقعات باشد ایجاد رضایت در انسان به وجود می‌آید. از نظر فریتز استیل مهم‌ترین عوامل کالبدی مؤثر در ادراک و حس مکان، اندازه مکان، درجه محصوریت، تضاد، مقیاس، تناسب، مقیاس انسانی، فاصله، بافت، رایدن نیز به طبیعت فیزیکی مکان و جنبه‌هایی از محیط اشاره می‌کند که ما به واسطه حواس و حرکت آنها را درک می‌کنیم، مانند رنگ، بافت، شیب، کیفیت نور، احساس باد، صداها و رایحه‌های پخش شده توسط باد (Ryden, 1993, 38). در واقع ما گاهی به مکان‌ها به علت خصوصیات فیزیکی برجسته‌شان دلبسته می‌شویم (Shumaker and Taylor, 1983, -). مطالعات استدمن که پیرامون نقش بعد کالبدی مکان بر دلبستگی به مکان، صورت گرفته است اشاره به نقش مستقیم آن در

رضایت‌مندی و نقش غیرمستقیم در دل‌بستگی به مکان دارد که در عین حال متأثر از معانی نمادین مکان نیز می‌باشد (Stedman, 2003, 682). کیفیت و ویژگی‌های محیط کالبدی می‌تواند پاسخ‌گوی توقعات و نیازهای مردم نیز باشند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۱). یکی از عوامل انتقال پیام محیط، رنگ فضا است. رنگ عنصری تفکیک‌ناپذیر از طبیعت و معماری است که تأثیر فراوانی بر کاربران فضا دارد. نور یکی از اصول معماری در تأمین آسایش بصری فضا می‌باشد که تأثیرات روانی آن بر انسان‌ها متفاوت است. روشن است که هستی و بقاء بشریت و همچنین یادگیری، پیشرفت و ارتقاء مداوم کیفیت زندگی اکثر انسان‌ها در گرو نگاه کردن و دیدن است و لازمه دیدن، همانا نور می‌باشد (نایی و همکاران، ۱۳۸۶، ۵). از جانب دیگر این عامل کیفیت: بینایی نتیجه عملکرد چشم در پرتوی نور است و ادراک ما از فضا وابسته به میزان روشنایی آن است (پوردیهیمی، ۱۳۸۷، ۶۸).

۱۷- نتیجه گیری

رنگ به عنوان سمبلی مشخص همواره از دیر باز مورد توجه بوده است و به عنوان متغیری در خلاقیت و یادگیری کارآموزان نقش بسزایی دارد. با توجه به اینکه محیط اطراف کارآموز باید مطابق با فعل و انفعالات درون وی باشد و حواس و حس کنجکاوی او را برانگیزد. ازین رو بهترین فضاها برای کارآموزان باید مطابق با نیازهای او رنگارنگ و با نشاط باشد. کارآموزان با رنگ مکان را حس می‌کنند. در طراحی فضاهای آموزشی باید به ساختارهای زیبایی‌شناسی و عملکردی که انگیزه و میل رو در کارآموز برای پیشرفت و تکامل در توانایی‌های فکری، خلاقانه، جسمی و روحی بر می‌انگیزد توجه نمود. به کارگیری رنگ فقط یکی از عوامل تکاملی و پیشرفت تکاملی فکری کارآموز نیست بلکه به عوامل عاطفی نیز مربوط می‌شود. کارآموزان برای رشد و بروز خلاقیت نیاز به محیط آموزشی پویا و رنگارنگ همراه با ایجاد محیطی گرم و صمیمی دارند. بنابراین با استفاده از رنگ‌ها و المان‌های رنگی و عوامل محیطی مؤثر محیط آموزشی مناسبی را برای رشد و خلاقیت کارآموزان خلق می‌کنیم.

از سوی دیگر حس دل‌بستگی به مکان در انسان پس از دریافت پاسخ نیازها و توقعات خود از مکان و احساس رضایت از این دریافت پاسخ به وجود می‌آید که سپس باعث ایجاد حس توجه و مراقبت از آن مکان و تداوم در مکان می‌شود. کیفیت فضا نیز موجب رضایت‌مندی از مکان می‌شود. نتایج به دست آمده از بررسی و تحلیل پژوهش‌های انجام شده در حوزه‌ی حس مکان و حس دل‌بستگی به مکان یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های ایجاد دل‌بستگی به مکان، عناصر کالبدی آن فضا است. عناصر کالبدی به طور مستقیم باعث ایجاد رضایت‌مندی از مکان شده است.

کارآموز باید در برخورد با احجام و بناها و همین‌طور در ارتباط و زندگی در آنها احساس راحتی، عدم ترس و آرامش کند فضاهایی با رنگ شاد و روشن موضوعات رؤیایی و خیال انگیز را القا می‌کنند زندگی با قدرت تأثیرگذاری بر روحیات و تأثیر بر ضمیر ناخودآگاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش هوش، تمرکز و آرامش کارآموز داشته باشد؛ رنگ‌های گرم تحریک‌کننده، سبب فعالیت، جنب و جوش، الهام دهنده روشنی، شادی زندگی و مولد حرکت‌ند؛ در حالی که رنگ‌های سرد برعکس موجب حالت‌های انفعالی، سکون، بی‌حرکتی و تلقین‌کننده غم و اندوه هستند تماشای رنگ‌های گرم، میزان ضربان قلب را تشدید می‌کند و برای فضای پرهیجان کاربرد دارند تاریکی بیش از هر چیز دیگری کارآموز را می‌ترساند. این پژوهش نشان داد که از میان عناصر کالبدی، «رنگ» رابطه معناداری با ایجاد رضایت‌مندی از مکان آموزشی برای استفاده‌کنندگان دارد. انتخاب رنگ مکان آموزشی با توجه به تأثیرات مثبت و منفی هر یک از آنها بر افراد، اگر با توجه به نیازهای کارآموزان انتخاب شود می‌تواند باعث به وجود آمدن احساس دل‌بستگی به مکان شود. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که طراحان و معماران معاصر می‌توانند با شناخت نیازهای افراد ساکن مکان و همچنین شناخت تأثیرات روانشناختی و شاخصه‌های متفاوت بصری و روانی رنگ و نور، اقدام به طراحی فضایی پاسخگو برای مخاطبین نمایند، تا به این طریق افراد بتوانند در فضایی قرار گیرند که ایجاد‌کننده‌ی احساس تعلق کالبدی و دل‌بستگی نسبت به مکان معماری باشد.

منابع

۱. برومند، حسین، (۱۳۸۶)، عوامل مؤثر بر نشاط دانش‌آموزان در کلاس درس، روزنامه کیهان، شماره ۱۸۸۵۵، (صص ۴-۱۴).
۲. بمانیان، محمدرضا و عظیمی، فاطمه، (۱۳۹۳)، انعکاس معانی منبعث از جهان‌بینی در طراحی معماری، نشریه شهر ایرانی اسلامی، شماره ۲، (صص ۳۹-۴۸).
۳. بهزادپور، محمد، شعربافی، زهرا و سیدحسن حسینی، (۱۳۹۹)، بررسی تأثیر رنگ بر معماری مهدهای کودک در جهت ارتقا خلاقیت کودکان و افزایش کیفیت فضاهای آموزشی، فصلنامه پژوهش‌های مرمت و معماری ایرانی و اسلامی، سال سوم، شماره ۶۷ (صص ۱۷-۲۸).
۴. پاکزاد، جهان‌شاه، (۱۳۹۰)، راهنمای نورپردازی مکان‌های شهری، انتشارات آرمانشهر، (صص ۴-۸).
۵. پوردیهیمی، شهرام، (۱۳۸۷)، تأثیر نور روز بر انسان، نشریه صفا، شماره ۴۶، (صص ۶۱-۶۹).
۶. حسینی، سیدتقی، (۱۳۸۵)، روان‌شناسی رنگ‌ها در فضا سازی آموزشگاه‌ها، نشریه فرهنگ و هنر، رشد آموزش هنر، شماره ۸، (صص ۵۴-۵۹).

۷. حسینی‌راد، عبدالمجید، (۱۳۸۴)، مبانی هنرهای تجسمی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های داستانی ایران، تهران.
۸. دیواندی، جواد و بزرگ قمی، لیلان، (۱۳۹۷)، بهره‌گیری از قابلیت‌های نور و رنگ در فضاهای آموزشی در راستای افزایش خلاقیت کودکان، مجله معمارشناسی، سال اول، شماره ۶ (صص ۷-۱).
۹. رحمانیان، سپیده و مهنوش محمودی، (۱۳۹۹)، بررسی تأثیر نور و رنگ در طراحی فضاهای درمانی، مورد مطالعاتی: بیمارستان شهید رحیمی و شهدای عشایر خرم‌آباد، نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر، شماره ۳۱، (صص ۶۷-۷۸).
۱۰. رحمتی‌زاده، علی، موزه کودک گیلان با رویکرد روانشناسی کودک، رساله کارشناسی‌ارشد معماری، دانشگاه قزوین.
۱۱. ساطعی، عشرت، (۱۳۷۲)، آثار روانی رنگ‌ها، مجله پیوند، شماره ۱۱۱، (صص ۱۷۲-۱۷۷).
۱۲. سلطان‌زاده، حسین، (۱۳۸۸)، نور و معماری، فصلنامه معماری و فرهنگ، سال دهم، شماره ۳۵، (صص ۴-۵).
۱۳. شامقلی، غلامرضا، (۱۳۹۰)، مفاهیم پایه در طراحی بیمارستان، انتشارات سروش.
۱۴. صادقی، فرشته، دانشگرمقدم، گلرخ و امید دژدار، (۱۳۹۱)، بررسی رابطه طرح کالبدی در مجتمع‌های مسکونی و حس دلبستگی به مکان در بین ساکنین (مطالعه موردی: مجتمع مسکونی امام خمینی و امام رضا در همدان)، نشریه مدیریت شهری، شماره ۳۰، (صص ۲۵۳-۲۶۴).
۱۵. عبدی، مازیار، (۱۳۹۰)، تأثیرات روانشناسی نور و رنگ در معماری، نخستین همایش معماری و مصالح ساخت.
۱۶. فلاحت، محمدصادق، (۱۳۹۱)، مفهوم حس مکان و عوامل تشکیل دهنده آن، نشریه هنرهای زیبا معماری و شهرسازی، شماره ۲۶، (صص ۳۷-۶۶).
۱۷. قاضی‌زاده، خشایار و محمد خزایی، (۱۳۸۴)، مقالات رنگ در هفت پیکر نظامی و تجلی آن در نمونه‌ای از آثار نگارگری، مطالعات هنر اسلامی، شماره ۳ (صص ۷-۲۴).
۱۸. قربانی، بیژن، (۱۳۸۳)، تأثیر رنگ در فعالیت‌های آموزشی دانش‌آموزان، فصلنامه آموزه، (صص ۲۳-۳۳).
۱۹. کاساپان، آنا، گیل، مارتا، (۱۳۸۶)، رنگ‌های دکوراتیو، (پالت‌های رنگ در طراحی داخلی) آبتین گلکار، نشر هنر و معماری، قرن تهران.
۲۰. کامل‌نیا، حسن، (۱۳۸۸)، دستور زبان طراحی محیط‌های یادگیری، چاپ دوم، انتشارات نور، تهران.
۲۱. گروتز، یورگن، (۱۳۸۳)، زیبایی‌شناسی در معماری، ترجمه جهان‌شاه پاکزاد و عبدالرضا همایون، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۲۲. لوشر، ماکس، (۱۳۹۵)، روانشناسی رنگ‌ها، ترجمه ویدا ابی‌زاده، تهران، انتشارات درس.
۲۳. محمودی، محمدمهدی، (۱۳۹۰)، طراحی فضاهای آموزشی با رویکرد انعطاف‌پذیری، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۲۴. نایی، فرشته، کاتب، فاطمه، مظاهری، مهرانگیز و بهروز بیرشک، (۱۳۸۶)، تأثیر نور بر کیفیت زندگی و رفتارهای اخلاقی انسان، فصلنامه اخلاق در علوم و فناوری، سال دوم، شماره ۳.
25. Ethan, J. (1986). Color Book, (M.H, Halimi, Trans.). Printing House of the Ministry of Culture and Islamic Guidance, Tehran.
26. Malkin, J. (1992). Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Population, Van Nostrand Reinhold, and Michigan.
27. Scott.s(2010)Architecture for childdren peress.australian council for educational reseanl.t.l.australian.
28. Hashas, M. (2003), 'Residents' Attachment to New Urbanist versus Conventional Suburban Developments', PhD dissertation in
29. Community and Environmental design, North Carolina State University.
30. Stedman, R. C. (2003), 'Is it really a social construction? The contribution of physical environment to Sense of place', Society and
31. Natural Resources, 16, pp.671-685.
32. Ryden, K.C. (1993) Mapping the invisible landscape: Folklore, writing, and the sense of place, University of Iowa press, Ithaca.
33. Shumarker, S.A., and Taylor, R.B. (1983), Toward a clarification of people-place relationship: A model of attachment to place, In N.R. Feimer and E.S. Geller (Eds), Environmental Psychology: Directions and perspectives, New York, Praeger, pp.119-251.

پژوهش‌های نوین معلوم‌مهندسی

تهران، افسریه، ۱۵ متری چهارم،
کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج، آزادگان، ابتدای بلوار مطهری،
کوچه شهید سبحانی، پلاک ۲۸، واحد ۴
۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴۴۵ ۳۱ ۳۱
۰۹۹۰ ۵۹۸ ۰ ۲۰۶
www.NRES.ir