



ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تراشه‌های نهمین مقام مهندسی

سال پنجم، شماره ۴ (پیاپی ۳۲)، زمستان ۱۳۹۹

ارزیابی اثر شالوده شیبدار و پل‌های برپایداری و ظرفیت فروریزش
سازه‌های احداث‌شده بر روی شیروانی
ابوالفضل فرامرزی، ساناز درزیپور، علی بیگلری

تأثیر ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بر مایند
(CTAB) همراه با آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن با هدف
بهبود باز یافت نفت
رامینا کارگری، علی جلوه گر فیلبند

ساخت و مشخصه‌یابی غشاهای پلیمری برای حذف فلز سنگین کبالت از
آب
حمیده برسان

بررسی انواع روشهای برداشت حرارت در راکتورهای آب جوشان و تاثیر
مواد پر تو زای هسته‌های بر محیط زیست
علی اشرف باقری، سیدمصطفی محمودی باغسیاه، حدیث سلطانی نژاد، ندا زارعی،
سجاد باقری

نشریه

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

چاپ

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۳۹۳
نشانی: 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 دهقانپان، 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 شبک 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 پندل 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	ارزیابی اثر شالوده شیب‌دار و پله‌ای بر پایداری و ظرفیت فروریزش سازه‌های احداث‌شده بر روی شیروانی ابوالفضل فرامرزی، ساناز درزی‌پور، علی بیگلری
۹	تأثیر ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) همراه با آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن با هدف بهبود بازیافت نفت رامینا کارگری، علی جلوه گر فیلبند
۱۹	ساخت و مشخصه‌یابی غشاهای پلیمری برای حذف فلز سنگین کبالت از آب حمیده برسان
۲۷	بررسی انواع روش‌های برداشت حرارت در راکتورهای آب جوشان و تاثیر مواد پرتو زای هسته‌ای بر محیط زیست علی اشرف باقری، سیدمصطفی محمودی باغسیاه، حدیث سلطانی‌نژاد، ندا زارعی، سجاد باقری

ارزیابی اثر شالوده شیب‌دار و پله‌ای بر پایداری و ظرفیت فروریزش سازه‌های احداث‌شده بر روی شیروانی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۷

کد مقاله: ۱۱۵۹۶

ابوالفضل فرامرزی^۱، ساناز درزی‌پور^۲، علی بیگلری^{۳*}

چکیده

طراحی ساختمان‌های احداث‌شده بر روی شیروانی نسبت به طراحی ساختمان‌ها با بستری مسطح متفاوت است. در این مطالعه ابتدا مختصری در خصوص الزامات کد مدرن در ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب بحث می‌شود. سپس با بیان روش‌های مختلف، روش دینامیکی بار افزایشده برای ارزیابی ظرفیت فروریزش انتخاب می‌شود. همچنین به دلیل تغییر رفتار قابل‌توجه در ساختمان‌های احداث‌شده بر روی سطوح شیروانی و مسطح، تحلیل‌های ظرفیت فروریزش برای ساختمان‌ها تحت شالوده مسطح، شیب‌دار و پله‌ای در نظر گرفته می‌شود. در گام بعدی نتایج ظرفیت فروریزش توسط منحنی $S_{a,avg}$ (0.2T-3T, 5%) برای زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک و دور بررسی می‌شود. در نهایت حساسیت سنجی پارامتر ارتفاع ساختمان بر روی ظرفیت فروریزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، در ساختمان‌های احداث‌شده بر روی شیب، شکاف‌های نامنظم نمایان شده است و همچنین در ساختمان تحت شالوده شیب‌دار اثرات چرخشی قابل‌توجهی در طبقات بالا نمایان است. فروریزش در ساختمان تحت شالوده مسطح به دلیل نارسایی خمشی در تیرها و ستون‌ها و در ساختمان تحت شالوده شیب‌دار و پله‌ای بر اثر ترکیبی از شکست برشی ستون‌های کوتاه و نارسایی خمشی تیرها و ستون‌های در طبقه بالاتر از سطح پایه بیشینه بوده است. به‌طور کلی ساختمان تحت شالوده شیب‌دار متحمل بیشترین آسیب و ساختمان تحت شالوده مسطح متحمل کمترین آسیب شده‌اند. در نهایت با حساسیت سنجی ارتفاع مشخص شد که در ساختمان‌های بلند تحت شالوده شیب‌دار و پله‌ای، ظرفیت فروریزش به مقدار حداقل می‌رسد و احداث این نوع سیستم سازه-شالوده در حوزه نزدیک غیرقابل قبول است.

واژگان کلیدی: ظرفیت فروریزش، ظرفیت باربری، شالوده مسطح، شالوده شیب‌دار، شالوده پله‌ای.

۱- دانشجوی کارشناسی عمران، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-ژئوتکنیک، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان.

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، (نویسنده مسئول) Biglari.a@gmail.com

۱- مقدمه

طی دهه‌های گذشته، گسترش شهرها با روندی بسیار سریع مواجه بوده است. به‌طوری که افزایش رشد، نه‌تنها در کلان‌شهرها بلکه در نواحی شیب‌دار نیز مشاهده شد. یکی از عوامل مهم در خصوص افزایش ساخت‌وساز در نواحی شیب‌دار، منظره زیبا و شرایط آب و هوایی مطلوب بوده است. این عامل منجر به ساخت انبوهی از ساختمان‌های بتن مسلح در نواحی شیب‌دار شده است. با این وجود، در این نواحی ساختمان‌ها در سطوحی با شیبی ملایم نیز احداث می‌شوند. در این موارد، عملکرد ساختمان‌ها به عملکرد ساختمان‌های نواحی مسطح نزدیک است. اما زمانی که ساخت‌وساز در نواحی کوهستانی در نظر گرفته شود، در محاسبات سازه می‌بایست شیب طبیعی زمین در نظر گرفته شود. از این رو در این ساختمان‌ها شالوده به‌صورت پله‌ای طراحی می‌شود. در صورت وجود شیب‌های بسیار تند، در اغلب ساختمان‌ها شالوده به‌صورت شیب‌دار در نظر گرفته می‌شود [۱].

مسئله‌ای که در شبیه‌سازی ساختمان تحت شالوده مسطح و ساختمان تحت شالوده شیب‌دار و پله‌ای تفاوت ایجاد می‌کند، نامنظمی ساختاری سازی است. باید توجه کرد هندسه سازه ساختمان‌های نواحی شیب‌دار نسبت به هندسه سازه ساختمان‌های مسطح تفاوت قابل‌توجهی دارد [۲]. در این ساختمان‌ها بی‌نظمی ساختاری قابل‌توجهی در نقشه و در ارتفاع مشاهده می‌شود. به‌طوری که به دلیل وجود افزایش تعداد ستون‌های کوتاه‌تر در جهت بخش شیب‌دار، تغییرات در جرم، پایداری و سختی طبقات در امتداد ارتفاع ایجاد می‌شود [۳]. قابل‌ذکر است نه‌تنها توپوگرافی زمین شیب‌دار بر ساختار سازه‌ها تأثیرگذار است، بلکه رعایت الزامات طراحی سازه، شیوه‌های صحیح ساخت‌وساز و مقاوم‌سازی ناپایداری شیب زمین نیز در کاهش خسارات ناشی از زمین‌لرزه از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است [۴]. اما در هر صورت با افزایش حساسیت ساختار ساختمان، رفتار دینامیکی پیچیده‌تری در هنگام زمین‌لرزه مشاهده می‌شود [۳].

اخیراً، در کدهای طراحی لرزه‌ای، تغییرات مهمی در الزامات طراحی ساختمان‌های متشکل از قاب در نظر گرفته شده است. از آنجایی که در سازه‌های بتن مسلح قاب اثر تردشکنی قابل‌توجهی شناسایی شده است، مقدماتی در خصوص تقویت تیرستون‌های ضعیف در نظر گرفته شده است این الزامات اضافه‌شده در طراحی لرزه‌ای منجر به توسعه کدهای طراحی لرزه‌ای تحت عنوان کد لرزه‌ای مدرن^۱ شده است [۵]. تحقیقات بسیاری در خصوص ارزیابی کد طراحی لرزه‌ای مدرن برای سازه‌های بتنی مسلح قاب با ساختاری منظم و نامنظم تحت شالوده مسطح انجام شد [۶]. اما مطالعات در خصوص ویژگی‌های سازه تحت شالوده پله‌ای و شالوده مسطح بسیار محدود است [۱]. علاوه بر این، در مطالعات قبلی کدهای طراحی لرزه‌ای فعلی و مدرن در خصوص ساختمان‌های حوزه دور بررسی شد. درحالی که، بسیاری از ساختمان‌ها در نواحی کوهپایه‌ای فروریختند. علاوه بر این، هیچ‌یک از کدهای طراحی لرزه‌ای فعلی، دستورالعمل خاصی برای ساختمان‌های نواحی شیب‌دار ارائه نمی‌دهد. بنابراین، ارزیابی خسارات ناشی از زمین‌لرزه در ساختمان‌های مرتفع که توسط کد طراحی لرزه‌ای مدرن طراحی شده‌اند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲. ارزیابی فروریزش ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب

شبیه‌سازی فروریزش در اثر ارتعاشات زمین‌لرزه کاملاً به مدل‌های آزمایشگاهی وابسته است. با این حال روش‌های تحلیلی محاسبه فروریزش در شبیه‌سازی پاسخ لرزه‌ای غیرخطی با تعیین متغیرهای مرتبط انجام شد. این شبیه‌سازی‌های عددی درنهایت به تخمینی از ظرفیت سازه منجر می‌شود. تلاش‌های اولیه برای تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری مبتنی بر ظرفیت با استفاده از تجزیه و تحلیل استاتیک غیرخطی انجام شد [۹]. سپس با تحقیقات بیشتر [۸-۶]، از روش بار افزایشنده دینامیکی [۱۰] و سایر روش‌های تحلیل در خصوص محاسبه ظرفیت فروریزش لرزه‌ای استفاده شد. باید توجه کرد تمامی این روش‌ها به تخمینی قابل‌اعتماد از استحکام، سختی و ظرفیت تغییر شکل در اثر وارونگی بستگی دارد.

از آنجایی که ارزیابی فروریزش نیاز به مقایسه با نتایج آزمایشگاهی دارد، در شبیه‌سازی‌های عددی فروریزش از مدل انعطاف‌پذیر توده‌ای^۲ به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. این مدل به‌راحتی با نتایج آزمایشگاهی قابل‌بررسی است [۱۱، ۱۰]. در مدل انعطاف‌پذیر توده‌ای تغییر شکل نیروی یک عنصر توسط منحنی ستون فقرات^۳ تعیین می‌شود. این منحنی از طریق مطالعات تجربی محاسبه می‌شود. بر اساس چگونگی محاسبه دو تعریف مختلف از منحنی ستون فقرات به‌صورت (الف) منحنی ستون فقرات یکنواخت و (ب) منحنی ستون فقرات چرخه‌ای تعیین می‌شود [۱۲]. توسعه پارامترهای منحنی ستون فقرات یکنواخت بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده بر روی ۲۲۵ ستون مستطیلی صورت می‌گیرد. بنابراین، شبیه‌سازی فروریزش با استفاده از این پارامترها نیاز به شبیه‌سازی تغییر شکل‌های بزرگ در مدل تحلیلی دارد. از طرفی دیگر، منحنی ستون فقرات قابل‌قبول در ASCE 41 مبتنی بر آزمایش‌های چرخه‌ای هستند [۱۴]. بنابراین می‌توان از پارامترهای منحنی ستون فقرات ASCE 41 در رابطه با مدل‌سازی

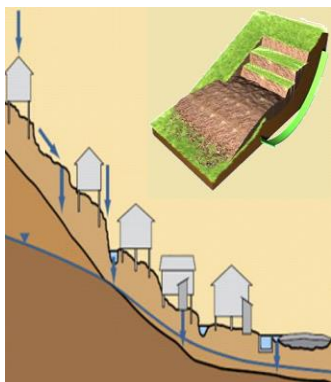
1 Modern seismic code

2 lumped- plasticity model

3 backbone curve

هیسترتیک استهلاک انرژی تغییر شکل‌های بزرگ در اثر تخریب سختی و استفاده کرد. علاوه بر مدل‌سازی منحنی هیسترتیک، شبیه‌سازی صحیح از رفتار کرنش نرم شدگی در حالت غیرخطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. [۷ و ۱۴]. با این حال مدل انعطاف‌پذیر توده‌ای تنها برای بخش‌های جداگانه یا مقادیر عمومی از پیش تعیین‌شده ارزیابی می‌شوند که این روش ممکن است منجر به خطا شود [۱۰، ۱۱].

زمانی که فروریزش در ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب در نظر گرفته می‌شود، شکست برشی ناشی تعیین‌کننده ظرفیت فروریزش تعیین می‌شود. شکست برشی در عضو بتن مسلح، شکستی بالقوه در ساختمان‌های RC، مخصوصاً در ساختمان‌های احداث‌شده بر روی شیب تحت شالوده مسطح و پله‌ای متشکل از ستون‌های کوتاه است. طبق روش طراحی بر اساس عملکرد، شکست برشی منجر به از دست دادن ظرفیت باربری محوری در ستون‌ها می‌شود [۱۶، ۱۵]. در پژوهش‌های ابتدایی، شکست برشی در ساختمان‌های بتن مسلح منجر به فروریزش به‌طور غیرمستقیم می‌شد. به‌طوری‌که بر اساس مشاهده تجربی تغییرات در ستون‌ها تشخیص شکست برشی در مدل تحلیلی استفاده می‌شد [۸]. بعدها، بر اساس همین شواهد تجربی اثر افزایش بارمحوری بر روی شکست برشی بهتر آشکار شد. به‌گونه‌ای که با افزایش بارمحوری ظرفیت چرخش پلاستیک شکست برشی از بین می‌رود [۱۴]. بر اساس این پژوهش‌ها، دستورالعملی در خصوص ارتباط شکست برشی و ظرفیت فروریزش ارائه می‌شود. این رابطه بر اساس آزمایش ۲۷۴ ستون مستطیلی در نظر گرفته شد. در این آزمایش تنها ۲ ستون کوتاه مستعد شکست برشی بودند. در نهایت زمانی که ظرفیت باربری عمودی به صفر برسد، فروریزش اتفاق می‌افتد [۱۳ و ۱۴]. در مطالعات بعدی، آزمایش برای ۳۳ ستون کوتاه در نظر گرفته شد. این آزمایش منجر به ارائه مدل شکست برشی متفاوت از مدل ASCE 41 شد. در این مدل ترک‌خوردگی بتن قبل و پس از رسیدن به نقطه استحکام در نظر گرفته می‌شود. این موضوع سبب می‌شود مقاومت برشی به‌تدریج کاهش یابد و در نقطه شکست محوری (ناشی از بین رفتن ظرفیت باربری عمودی) به صفر برسد.



شکل ۱. نمونه‌هایی از فروریزش سازه‌های احداث‌شده بر روی شیروانی.

در روش دینامیکی بار افزایشنده، ارتعاش زمین‌لرزه به‌صورت تدریجی تا زمان فروریختن ساختمان اعمال می‌شود. اما انتخاب مناسب ارتعاش زمین موضوعی مهم در ارزیابی ریزش ساختمان‌ها است [۶]. به‌طوری‌که ارتعاش بیشینه زمین‌لرزه با دوره بازگشت بالا می‌تواند طیف متفاوتی را نسبت به ارتعاش بیشینه زمین‌لرزه با دوره بازگشت کوتاه ایجاد کند. شکل این طیف به‌تنهایی تأثیر مستقیمی بر ظرفیت فروریزش ساختمان دارد. ایدنال‌ترین روش برای در نظر گرفتن تأثیرات شکل طیفی، انتخاب سوابق ارتعاشات زمین است. اما انتخاب این سوابق بر اساس conditional mean spectrum^۱ دشوار است. زیرا در ساختمان‌ها با پرپود طبیعی متفاوت، نیازمند سوابق ارتعاشات متفاوت زمین است. به همین دلیل تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که IM^۲ می‌تواند در خصوص ارزیابی ظرفیت فروریزش سازه مفید باشد. IM متشکل از شتاب طیفی متوسط $S_{a,avg}(0.2T-3T, 5\%)$ که نشان‌دهنده میرایی ۵٪ در طی بازه زمانی ۰.۲T تا ۳T است. دلیل انتخاب پرپودهای بالاتر از T و پایین‌تر از T در $S_{a,avg}(0.2T-3T, 5\%)$ در نظر گرفتن نرم شدگی ساختمان در نزدیکی نقطه فروریزش است. این موضوع منجر به افزایش دقت در شبیه‌سازی شتاب طیفی $S_{a,avg}(0.2T-3T, 5\%)$ نسبت به $S_a(T, 5\%)$ می‌شود [۱].

در تمامی مطالعات قبلی، ظرفیت فروریزش تنها به ساختمان‌هایی با ساختار منظم تحت شالوده مسطح محدود شده بود. همچنین این پژوهش‌ها اغلب مبتنی بر مدل‌های دوبعدی تحت ارتعاش یک‌طرفه بوده‌اند. اما در این پژوهش الزامات کد مدرن تحت روش دینامیکی بار افزایشنده در تحلیل ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب به کار گرفته شد. هدف اصلی ارزیابی ظرفیت

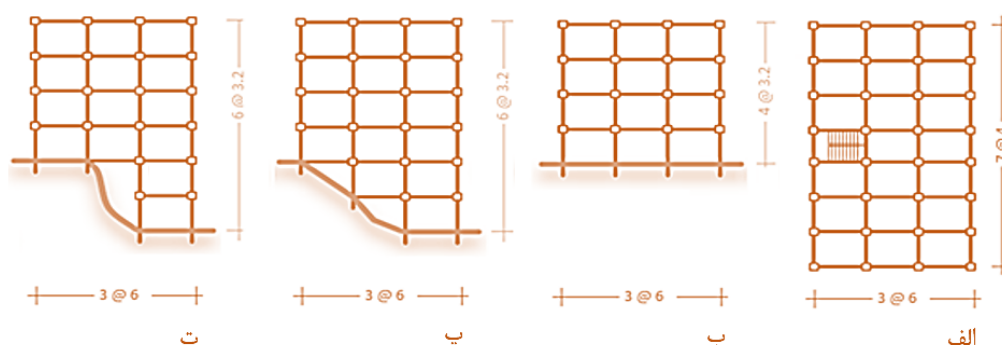
¹ conditional mean spectrum

² Intensity measure

فروریزش ساختمان‌های بتن مسلح بر روی شیب است. از آنجایی که رفتار ساختمان‌های احداث شده بر روی شیب تحت شالوده مسطح با رفتار ساختمان تحت شالوده پله‌ای و شیب‌دار تفاوت قابل توجهی دارند [۱]، ظرفیت فروریزش ساختمان‌ها ابتدا تحت شالوده مسطح، سپس تحت شالوده شیب‌دار و در نهایت تحت شالوده پله‌ای بررسی می‌شوند. همچنین به دلیل تفاوت در هندسه سازه در اثر شالوده‌های متفاوت، اثر نامنظمی نقشه نیز در شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مطالعه بیشتر، حساسیت سنجی تعداد طبقات ساختمان بر روی ظرفیت فروریزش بررسی می‌شود. همچنین قابل ذکر است شبیه‌سازی ظرفیت فروریزش هم در حوزه نزدیک و هم در حوزه دور تحت ارتعاش دومحوری زمین‌لرزه ارزیابی می‌شود.

۳. مبانی شبیه‌سازی عددی

به منظور ارزیابی شبیه‌سازی عددی، طرحی کلی برای ساختمان‌های مورد مطالعه در شکل ۲، الف نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ نمایان است، سه نوع ساختمان با شالوده مسطح، شالوده شیب‌دار و شالوده پله‌ای (شکل ۲)، در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. الف. طرح کلی پلان مدل‌های ساختمان. ب. ساختمان تحت شالوده مسطح، پ. ساختمان تحت شالوده شیب‌دار، ت. ساختمان تحت شالوده پله‌ای.

از آنجایی که در پژوهش [۱] ویژگی‌های دینامیکی ساختمان‌ها در تعداد طبقاتی بالاتر از سطح پایه بیشینه $4m$ ، در نظر گرفته شده است، بنابراین، همان طبقه‌بندی ارتفاع در پژوهش [۱]، در این مطالعه تعیین شده است. این شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار عددی ETABS 2018 [۱۷] طبق ضوابط آیین‌نامه لرزه‌ای طراحی و تحلیل می‌شود. به طوری که در تمامی مدل‌های ساختمانی اثر ترکیبی از بارهای ثقیل و لرزه‌ای ارزیابی می‌شود. در طراحی لرزه‌ای تمامی ساختمان‌های تحت شالوده مسطح، شیب‌دار و پله‌ای طراحی با محدودیت مبتنی بر ارتفاع ساختمان بالاتر از سطح پایه بیشینه در نظر گرفته شده است. در این شبیه‌سازی ارتفاع طبقات در تمامی مدل‌ها $3.2m$ تعیین شده است. همچنین در خصوص ساختمان‌های تحت شالوده پله‌ای، گرادیان شیب $1/4$ فرض شده است. در نرم‌افزار عددی ETABS، تیرها و ستون‌ها توسط قاب سه‌بعدی با دیافراگم صلب مدل‌سازی شده‌اند. از این رو اثر رفتار غیر خطی هندسی در تحلیل و طراحی در نظر گرفته می‌شود. در نهایت نتایج در قالب زمان تناوب ارتعاش سازه در دو محور اصلی ساختمان، نیروهای طراحی و مقدار تغییر شکل اعضای محاسبه شده است.

بر اساس نتایج تحلیل مودال سازه‌ها، میانگین زمان تناوب ساختمان‌هایی تحت شالوده شیب‌دار و شالوده پله‌ای با ارتفاع بالاتر از سطح پایه بیشینه تقریباً به زمان تناوب ساختمان‌هایی متناظر تحت شالوده مسطح نزدیک است. نتایج پژوهش با اختلاف کمتر از 1.5% با نتایج مطالعات [۱] مطابقت دارد. بر این اساس، ضریب برشی پایه طراحی برای تمامی ساختمان‌ها تقریباً یکسان است. به منظور شبیه‌سازی رفتار غیرخطی در اعضای تحت خمش، مفصل پلاستیک خمشی در هر دو انتهای تیرها در نظر گرفته شده است. همچنین اثر برهم کنش خمش دومحوره و نیروی محوری در هر دو انتهای ستون‌ها اعمال شده است. این پارامترهای موثر در منحنی رفتار تیرها و ستون‌ها مطابق دستورالعمل ASCE 41 [۱۳] تعیین می‌شود. در نهایت برای اعمال اثر میرایی در شبیه‌سازی عددی، میرایی رایلی به مقدار 5% تعریف می‌شود.

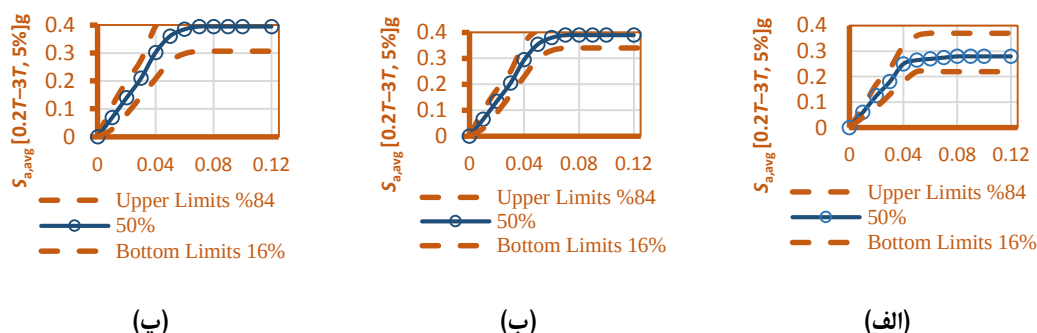
توجه به این نکته ضروری است که در مطالعه ساختمان تحت شالوده مسطح و پله‌ای، اثر پیچش در جهت عمود بر شیب به دلیل بی‌نظمی مشاهده می‌شود. بنابراین، از اثر افزایش استفاده هم‌زمان از دو مؤلفه افقی در بار افزایش دینامیکی استفاده می‌شود. به طوری که برای هر شتاب‌نگاشت، دو تحلیل که با تعویض دو مؤلفه افقی ارتعاش زمین در امتداد محورهای اصلی متعامد همراه است، در نظر گرفته می‌شود. در این تحلیل‌ها، ریزش سازه با وقوع هر یک از حالت‌های حدی زیر تعریف می‌شود: (الف) افزایش جزئی در $S_{a,avg}$ (0.2T–3T, 5%) دیده شود؛ (ب) حداکثر تغییر شکل نسبی طبقات بیش از 10% باشد؛ و (ج) خرابی محوری

ستون‌ها، که منجر به از بین رفتن ظرفیت باربری گرانشی می‌شود. در نهایت، شدت حرکت زمین برای هر یک از دو تحلیل دو مولفه افقی ثبت می‌شود.

۴. شبیه‌سازی عددی ظرفیت فروریزش لرزه‌ای

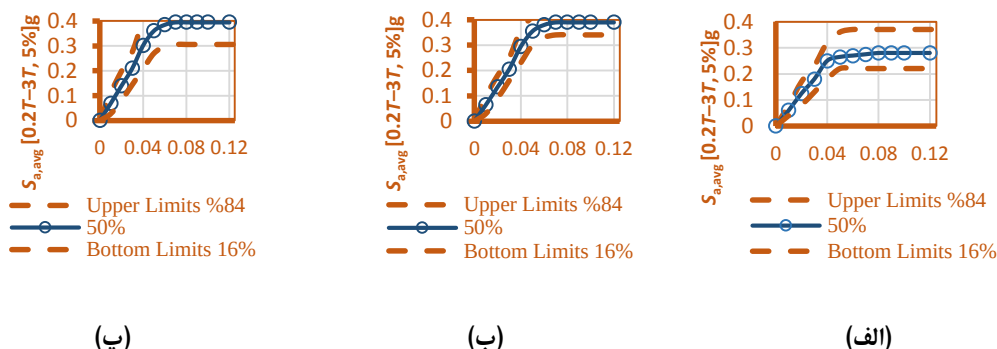
در این بخش، تحت سه گام پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها تحت شالوده مسطح، شیب دار و پله‌ای بررسی می‌شود. در گام اول نتایج ظرفیت باربری دینامیکی برای ساختمان‌های طراحی شده در اثر اعمال شتاب‌نگاشت حوزه دور بررسی می‌شود. سپس همین ارزیابی بر طبق اعمال شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک انجام می‌شود. در نهایت حساسیت سنجی بر روی اثر تعداد طبقات در پاسخ لرزه‌ای ساختمان تحت شتاب‌نگاشت حوزه دور و نزدیک بررسی می‌شود.

در گام اول، بررسی نتایج ظرفیت باربری دینامیکی برای ساختمان‌های طراحی شده در نواحی لرزه‌خیزی زیاد در اثر اعمال شتاب‌نگاشت حوزه دور (با بیش از ۵۰ کیلومتر فاصله از مرکز زمین‌لرزه) محاسبه شده و در شکل ۳ نشان داده شده است.



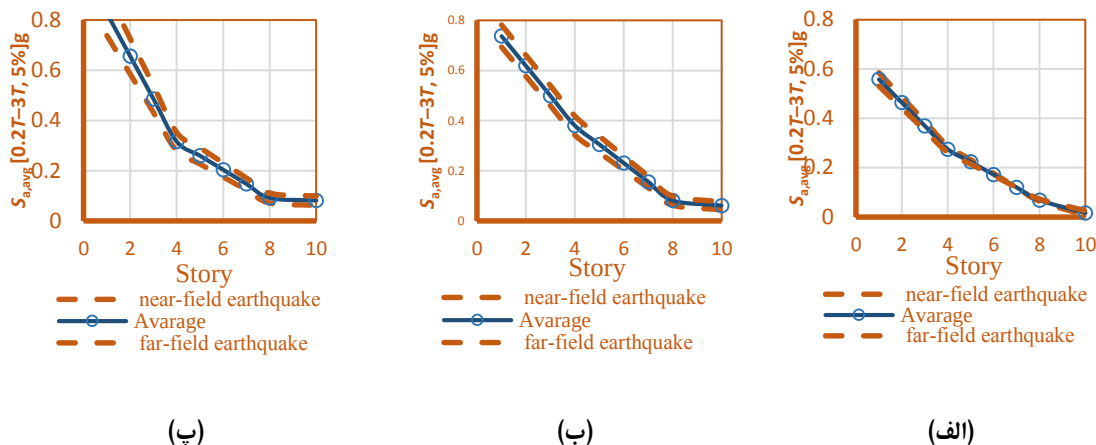
شکل ۳. منحنی ظرفیت دینامیکی ساختمان در اثر شتاب‌نگاشت حوزه دور الف. تحت شالوده مسطح، ب. تحت شالوده شیب‌دار، پ. تحت شالوده پله‌ای.

در گام دوم، نتایج بررسی ظرفیت باربری دینامیکی سازه‌ها برای ساختمان‌های طراحی شده در نواحی لرزه‌خیزی زیاد در اثر اعمال شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک (با کمتر از ۵۰ کیلومتر فاصله از مرکز زمین‌لرزه) در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. منحنی ظرفیت دینامیکی ساختمان در اثر شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک الف. تحت شالوده مسطح، ب. تحت شالوده شیب‌دار، پ. تحت شالوده پله‌ای.

در گام سوم، اثر تغییر تعداد طبقات در ظرفیت فروریزش ساختمان‌های احداث‌شده، در دو حوزه نزدیک و دور در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای ساختمان‌های احداث‌شده در شیب، همراه با افزایش زاویه شیب زمین، ظرفیت دینامیکی سازه تا ۴۰٪ کاهش می‌یابد.



شکل ۵. منحنی ظرفیت دینامیکی ساختمان در قالب حساسیت ینجی تعداد طبقات در زمین لرزه حوزه نزدیک و دور
الف. تحت شالوده مسطح، ب. تحت شالوده شیب‌دار، پ. تحت شالوده پله‌ای.

در نمودارهای نشان داده‌شده، تمامی ساختمان‌ها با ارتفاعی یکسان، یعنی بالاتر از سطح پایه بیشینه، در یک ناحیه لرزه‌ای مشخص، برای ضرایب برشی پایه یکسان طراحی شده‌اند. اما ظرفیت فروریزش لرزه‌ای در ساختمان تحت شالوده پله‌ای حداقل ظرفیت فروریزش لرزه‌ای متوسط را به نمایش می‌گذارد. درحالی‌که در ساختمان‌های تحت شالوده مسطح بیشترین ظرفیت باربری لرزه‌ای متوسط را نشان می‌دهند. بنا بر نتایج فوق، از آنجایی‌که، در فرایند طراحی لرزه‌ای فعلی، ساختمان‌ها به‌صورت الاستیک طراحی می‌شوند، طراحی ساختمان تحت شالوده پله‌ای برای افزایش ظرفیت باربری لرزه‌ای ضروری است.

همچنین با بررسی الگوی شکل‌گیری مفصل پلاستیک در ساختمان تحت شالوده مسطح، شالوده شیب‌دار و شالوده پله‌ای، در ساختمان تحت شالوده شیب‌دار و پله‌ای بیشترین مفصل پلاستیک در ستون‌های سازه شکل می‌گیرد. این اثر در ستون‌های نزدیک به شیب بیشتر مشاهده می‌شود. اما مکانیسم شکست در ساختمان تحت شالوده پله‌ای کاملاً متفاوت مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که با مقایسه ساختمان تحت شالوده مسطح و ساختمان تحت شالوده پله‌ای، ستون‌های احداث‌شده بر روی شیب در ساختمان تحت شالوده پله‌ای مستعد شکست برشی بیشتری هستند.

دلیل این مشاهدات مربوط به احداث ساختمان‌ها بالاتر از سطح پایه بیشینه است. به‌گونه‌ای که برش طبقات در تعداد ستون نسبتاً بیشتری در ساختمان تحت شالوده مسطح توزیع می‌شود. همچنین الگوی شکل‌گیری مفصل پلاستیک در هنگام فروریزش نشان‌دهنده آسیب‌پذیری طبقه فوقانی در ساختمان تحت شالوده پله‌ای و شالوده مسطح است.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش ظرفیت فروریزش لرزه‌ای ساختمان‌های احداث‌شده بر روی شیروانی در نواحی با خطر لرزه‌ای زیاد مورد ارزیابی قرار گرفت. این ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب تحت شالوده مسطح، شیب‌دار و پله‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. از یافته‌های مطالعه حاضر مشهود است که شیب زمین، نوع ساختار سازه و ارتفاع ساختمان بر روی پاسخ لرزه‌ای تأثیر زیادی دارد. به‌طوری‌که ظرفیت فروریزش متوسط ساختمان تحت شالوده شیب‌دار و پله‌ای کمتر از نمونه‌های مشابه بر روی بستر مسطح است. تأثیرات ارتفاع ساختمان، اثر زمین‌لرزه حوزه نزدیک و دور نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. به‌طورکلی، ساختمان تحت شالوده مسطح کمترین ظرفیت فروریزش متوسط را دارند، درحالی‌که ساختمان تحت شالوده پله‌ای بالاترین ظرفیت فروریزش را دارند. حتی زمانی که تمامی ساختمان‌ها با شالوده‌های متفاوت به‌طور یکسان با ارتفاع بالاتر از سطح پایه بیشینه طراحی شوند. استفاده از $S_{a,avg} [0.2T-3T, 5\%]$ به‌عنوان معیار ارزیابی رفتار سازه تقریباً مستقل از شتاب‌نگاشت کاهش قابل‌توجهی در ظرفیت باربری سازه‌های احداث‌شده بر روی شیب‌ها را نشان داد. همچنین مقایسه احتمال ریزش ساختمان‌ها با ساختاری متفاوت نشان داد که مقررات فعلی برای ساختمان‌های احداث‌شده بر روی شیروانی با شالوده شیب‌دار و شالوده پله‌ای کافی نیست.

الزامات طراحی ساختمان به‌غیر از مواردی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است (به‌عنوان مثال، ساختمان‌های با شالوده شیب‌دار و معکوس؛ ساختمان‌های روی پایه) می‌تواند در مناطق کوهستانی مشاهده شود. کفایت مقررات کد طراحی لرزه‌ای برای این موارد باید ارزیابی شود. همچنین به‌عنوان ویژگی افزوده بر روی سازه مطالعه ساختمان‌های بتن مسلح متشکل از قاب بدون دیواره‌های تزریق پیشنهاد می‌شود. وجود دیواره‌های فرورفته می‌تواند به‌طور حاد باعث تغییر شکنندگی ساختمان‌های دامنه کوه می‌شود. علاوه بر این، ثبات شیب و اثرات تقویت توپوگرافی نیز مهم هستند، که باید در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد.

1. [1] M. Surana, Y. Singh, D. H. Lang, Nat Haz Rev 2017, 19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000275](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000275) 04017024
2. [2] Surana M, Singh Y, Lang D. H. Proc. of SECED—An International Conference on Earthquake Risk and Engineering Towards Resilient World, July 2015, Homerton College, Cambridge, United Kingdom.
3. Not 5 [3] Welsh- Huggins SJ, Rodgers JE, Holmes WT, Liel A. B. Proc. of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Santiago, Chile.
4. Not 9 [4] EERI (Special Earthquake Report). EERI Report, Earthquake Engineering Research Report, 2012, Oakland, United States.
5. Not 12 [5] Haselton CB, Deierlein GG (2007). PEER Report 2007/08, PEER Center, 2007, University of California, Berkeley, CA.
6. [6] C. B. Haselton, A. B. Liel, G. G. Deierlein, B. S. Dean, J. H. Chou, J Struct Eng 2011, 137(4), 481.
7. [7] Ibarra LF, Krawinkler H. Global Collapse of Frame Structures Under Seismic Excitations. John A. Blume Earthquake Engineering Center, PEER Report 2005/06, PEER Center, 2005, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, United States.
8. [8] A. B. Liel, C. B. Haselton, G. G. Deierlein, J Struct Eng 2011, 137(4), 492.
9. [9] A. J. Kappos, G. Panagopoulos, C. Panagiotopoulos, G. Penelis, Bull Earthq Eng 2006, 4(4), 391.
10. [10] D. Vamvatsikos, C. A. Cornell, Earthq Eng and Struct Dyn 2002, 31, 491.
11. [11] D. Feng, C. Kolay, J. M. Ricles, J. Li, The Structural Design of Tall and Special Buildings 2016, 25(12), 578.
12. [12] Haselton CB, Liel AB, Lange ST, Deierlein G. G. PEER Report 2007/03, PEER Center, 2007, University of California, Berkeley, CA.
13. [13] American Society of Civil Engineers (ASCE). ASCE Standard, ASCE/SEI 41-13, Reston, Virginia, United States, 2013.
14. [14] K. J. Elwood, A. B. Matamoros, J. W. Wallace, D. E. Lehman, J. A. Heintz, A. D. Mitchell, M. A. Moore, M. T. Valley, L. N. Lowes, C. D. Comartin, J. P. Moehle, Earthq Spec 2007, 23(3), 493.
15. [15] Federal Emergency Management Agency (FEMA). FEMA 356, Washington, D.C., United States, 2000.
16. [16] American Society of Civil Engineers (ASCE). ASCE Standard, ASCE/SEI 41-06, Reston, Virginia, United States, 2007.
17. [17] CSI. ETABS 2016 Integrated Building Design Software, Version 16.0.2, Computers and Structures, Inc., Berkeley, U.S.A, 2016.

تأثیر ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بر مایند (CTAB) همراه با آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن با هدف بهبود بازیافت نفت

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۴

کد مقاله: ۱۴۳۳۵

رامینا کارگری^{۱*}، علی جلوه گر فیلبند^۲

چکیده

هدف از انجام این پژوهش تأثیر آب هوشمند و ماده فعال سطحی کاتیونی بر ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی می‌باشد که بصورت آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش اثر غلظت یون‌های $Mg+2$ ، $Ca+2$ و $SO4-2$ موجود در آب هوشمند و همچنین اثر غلظت ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بر مایند (CTAB) بر میزان تغییر ترشوندگی سنگ مخزن از طریق آزمایش‌های زاویه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج زاویه تماس نشان می‌دهد که با افزایش غلظت یون $Mg+2$ در آب هوشمند از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ۸۶ درجه کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت یون $Ca+2$ نیز از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ به ۹۴ درجه کاهش می‌دهد. افزایش غلظت یون $SO4-2$ از ۰/۰۰۷ مولار تا ۱ مولار در آب هوشمند مقدار زاویه تماس را به ترتیب از ۱۲۹ به ۸۱ درجه کاهش می‌دهد. با افزودن ۰/۰۵٪ تا ۰/۵٪ وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بر مایند به آب هوشمند زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ترتیب به ۷۹ و ۴۲ درجه کاهش می‌دهد. با افزودن ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بر مایند به آب هوشمند و افزایش غلظت محلول ماده فعال سطحی از ۰/۰۵ تا ۰/۵ درصد وزنی درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی در آب هوشمند حاصل شد. در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی درصد بازیافت نفت ۸۱ درصد بدست آمد که نسبت به آب هوشمند با حضور $Mg+2$ با غلظت ۱ مولار ۵۱ درصد، نسبت به آب هوشمند با حضور $Ca+2$ با غلظت ۱ مولار ۴۵ درصد و نسبت به آب هوشمند با حضور $SO4-2$ با غلظت ۱ مولار ۳۴ درصد درصد افزایش درصد بازیافت نفت با انجام فرآیند سیلاب‌زنی حاصل شد.

واژگان کلیدی: مواد فعال سطحی کاتیونی، آب هوشمند، ترشوندگی، سنگ مخزن، بازیافت نفت

۱- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران (نویسنده مسئول)

۲- گروه مهندسی نفت، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

در طول عمر یک مخزن نفتی می توان در طی سه دوره نفت خام را استخراج نمود. در مرحله اول نیروهای طبیعی درون خود مخزن باعث استخراج نفت از درون چاه می شود. عوامل مختلفی در طی این دوره در تولید نفت خام و سرازیر شدن نفت به سمت چاه تولیدی نقش دارند. با گذشت زمان و با تولید نفت، افت فشار در یک مخزن نفتی ایجاد می شود که به منظور تثبیت فشار و ادامه تولید نفت، سیالاتی به درون مخزن تزریق می شود. در این مرحله که به مرحله ثانویه شهرت دارد، تزریق به دو صورت تزریق آب و یا تزریق گاز انجام می شود [۱]. پس از این مرحله و برداشت بیشتر نفت از مخزن، فشار درون مخزن دچار افت بیشتر شده بطوری که دیگر با روش های معمول ذکر شده نمی توان نفت را برداشت کرد. به همین دلیل در مرحله سوم روش های مختلفی به منظور افزایش تولید نفت مورد استفاده قرار می گیرد که به روش های ازدیاد برداشت نفت خام گفته می شود، معروف هستند [۲]. در این مرحله از روش های مختلفی از جمله تزریق امتزاجی / غیرامتزاجی گاز، روش های حرارتی، روش های شیمیایی و یا روش های نوین (مانند روش های میکروبی و غیره) برای ازدیاد برداشت نفت استفاده می شود. انتخاب روش مناسب ازدیاد برداشت نفت خام به متغیرهای زیادی از جمله شرایط دوره ی عمر مخزن، نوع نفت خام درون مخزن، نوع سنگ مخزن، در دسترس بودن سیال تزریقی و غیره بستگی دارد [۳]. با توجه به اینکه بیشتر مخازن کشور نیمه دوم عمر خود را پشت سر می گذارند و هر چه از عمر مخزن می گذرد برداشت از آن دشوارتر می شود، باید با روش های خاصی با توجه به شرایط مخزن برداشت از آن را بیشتر کرد، همچنین در میان روش های ازدیاد برداشت باید بهترین روش را که مقرون به صرفه تر است انتخاب کرد [۴]. روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن برای تغییر تولید چاه ها پس از تزریق آب یا گاز و ترمیم فشار مخزن می باشد. هدف استفاده از این روش ها، به حداقل رساندن نفت باقیمانده در چاه می باشد که با افزایش اختلاف فشار بین مخازن و چاه های تولید یا افزایش تحرک نفت به وسیله کاهش ویسکوزیته آن یا کاهش کشش سطحی بین سیالات و نفت انجام می گیرد [۵]. با پژوهش های انجام گرفته در ۱۰ سال اخیر بر روی خواص ترشوندگی نمونه های سنگ / آب / نفت مختلف ثابت شد که آب تزریقی اگر ترکیب درصد متفاوتی با آب سازند داشته باشد، می تواند تعادل شیمیایی میان سیستم آب / سنگ / نفت را بر هم بزند که ممکن است موجب ازدیاد برداشت نفت شود. حتی اگر ترکیب آب تزریقی مشابه آب سازند باشد، تعادل شیمیایی مقدار کمی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و فقط مقادیر اشباع نسبی تغییر خواهند کرد. اما تزریق آب با ترکیب درصد متفاوت با آب سازند، ممکن است خاصیت ترشوندگی سنگ را تغییر دهد و بنابراین جزو روش های ثالثیه ازدیاد برداشت محسوب می شود. در مقاله ای [۶] تأثیر ترکیب آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی و سرعت تغییر آن در سنگ های کربناته بررسی شد. پارامتر مهم دیگر در فرآیند تزریق آب با شوری پایین، علاوه بر تغییر ترشوندگی و میزان تغییر آن، سرعت تغییر ترشوندگی می باشد. در کار پیش رو تغییرات ترشوندگی و میزان آن به وسیله اندازه گیری زاویه تماس بررسی شده است. همچنین سرعت این تغییر زاویه تماس یا به عبارتی سرعت تغییر ترشوندگی نیز از همین روش اندازه گیری شده است. با بررسی دو گروه مختلف از محلول ها مشاهده شد که غلظت و ترکیب مختلف یون های محلول در آب تأثیر متفاوتی بر سرعت تغییر ترشوندگی دارند و افزایش یون های غیر فعال باعث کاهش سرعت عملکرد یون های فعال سطحی و در نتیجه کاهش سرعت تغییر ترشوندگی می شود. در تحقیقی [۷] مکانیسم تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن کربناته نفت خام با استفاده از مواد فعال سطحی کاتیونی نوع آلکیل تری متیل آمونیوم در رابطه با شوری و ترکیب آب شور مورد بررسی قرار گرفت. بازیافت نفت در دمای پایین (۴۰ درجه سانتی گراد) در غلظت بحرانی میسل بهبود می یابد. که اثر شوری در دماهای بالاتر (۷۰ درجه سانتی گراد) از بین می رود. همچنین هنگامی که سولفات توسط مایع جذب می شود، به خصوص در دماهای پایین (۴۰ درجه سانتی گراد)، بازیافت نفت بهبود می یابد ولی در دماهای بالاتر (۷۰ درجه سانتی گراد)، اثرات سولفات نیز از بین می رود. در پژوهشی [۸] آشام خود بخودی محلول های تزریقی شامل سدیم کربنات و سورفکتانت آنیونی TDA- و CS-330 4PO را برای مخازن کربناته ی نوع نفت دوست مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات خیس شونده ی سنگ مخزن تابعی از سه پارامتر زمان دهی در نفت، دما و نوع محلول سورفکتانت تزریقی به مخزن می باشد. نتایج نشان داد که محلول های تزریقی سدیم کربنات و سورفکتانت نوع آنیونی باعث تغییر ترشوندگی و کاهش کشش بین سطحی نفت و سنگ مخزن می شود. تغییر ترشوندگی و کاهش کشش بین سطحی نفت روش هایی می باشند که نفت به جا مانده در مخازن را به حداقل مقدار خود می رسانند. معمولاً به دلیل وجود نیروهای موئینگی، نفت در حفره های نفت دوست سنگ مخزن باقی می ماند که با توجه به استفاده از محلول تزریقی سدیم کربنات و سورفکتانت آنیونی، کشش بین سطحی کم می شود و خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن به حالت آب دوست تغییر می کند و لذا نیروهای شناوری باعث جابجایی نفت خواهند شد. در پژوهشی [۹] بررسی مکانیسم های تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن با کمک سورفکتانت ها بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در مخازن نوع شکاف دار و نفت دوست با توجه به اینکه رسوب و جذب مواد از گروه آسفالتین و رزین ها بر روی سطح سنگ مخزن را داریم، آب تزریقی تمایلی به نفوذ از میان شکاف به داخل ماتریس را ندارد و رسوب این مواد ایجاد حالت سطح سنگ مخزن از آب دوست به حالت نفت دوست می گردد. همچنین سورفکتانت های نوع آنیونی قادر هستند که با جدا نمودن این مواد از سطح سنگ مخزن شکافدار آن را از حالت نفت دوست به

حالت آب دوست تبدیل نمایند و به این ترتیب باعث افزایش درصد بازیافت نفت در فرآیند سیلابزنی آبی می گردند. در این پژوهش سعی بر آن است که تأثیر مواد فعال سطحی کاتیونی همراه با آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن با هدف بهبود بازیافت نفت مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش از نفت خام میدان نفتی بی بی حکیمه گچساران برای استفاده در این آزمایش ها، نمونه گیری به عمل آمد. اطلاعات فیزیکی و شیمیایی آن از شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب بدست آمد. در جدول های (۱) و (۲) به ترتیب ویژگی های نفت مصرفی و درصد اجزاء نفت خام ذکر شده است.

جدول (۱): ویژگی های نفت مورد استفاده در آزمایش ها

دانسیته نفت (API)	گرانروی نفت (cp)	دمای مخزن (°F)	فشار مخزن (psi)
۲۶/۶	۲۲/۴	۲۳۷	۶۳۳۶

جدول (۲): درصد اجزاء نفت خام

ترکیبات	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇₊	H ₂ S	CO
درصد مولی	۱۸/۷	۴/۱۳	۴/۳۷	۱/۰۶	۲/۴۵	۲/۶۹۸	۳/۵۳	۵/۱۹	۴۹/۵۱	۴/۰۱۸	۴/۳۴۴

آب هوشمند: در انجام آزمایش ها از آب یک بار تقطیر برای ساخت محلول های مورد استفاده در تغییر ترشوندگی و شستشوی نمونه ها استفاده شده است. از نمک های سدیم سولفات (Na₂SO₄)، منیزیم کلراید شش آبه (Cl₂Mg.6 H₂O) و کلسیم کلراید (CaCl₂) در محلول های اصلاح گر ترشوندگی استفاده شده است، که همگی از شرکت آلمانی مرک و با خلوص بالای ۹۹٪ تهیه شده اند.

ماده فعل سطحی کاتیونی: در این پژوهش از ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) شرکت مرک آلمان در غلظت های ۰/۰۵، ۰/۲ و ۰/۵ درصد وزنی استفاده شده است.

دستگاه اندازه گیری زاویه تماس: برای اندازه گیری زاویه تماس از این دستگاه (شکل (۱)) استفاده می شود. ساخت شرکت KRUSS آلمان و مدل آن DSA 100 می باشد. این دستگاه توانایی اندازه گیری زاویه تماس بین یک سیال و نمونه جامد (سنگ) را در شرایط مخزن امکان پذیر می سازد. محفظه ی ساخته شده از استینلس استیل ۳۱۶ این دستگاه اجازه ی کار با سیالات هیدروکربنی، حلال و آب را فراهم می سازد. در این پژوهش جهت اندازه گیری زاویه تماس قرص هایی به ضخامت ۲ mm از دانه های سیلیس تهیه و سطح آن ها کاملاً صیقلی و همگن می شود. سپس نمونه ها با آب مقطر شسته شده و در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک می گردند. نمونه ها در محلول تولوئن به مدت ۲ روز برای حذف ناخالصی ها و اسیدهای چرب حاصل از تماس دست قرار داده شدند. پس از آن نمونه ها با آب مقطر شسته شده و خشک می گردند. پس از خیساندن در آب مقطر به مدت ۵ دقیقه در نفت مدل در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ هفته قرار داده شدند. در این مرحله ترشوندگی آن با نفت با آزمایش زاویه تماس با قرار دادن قطره هپتان بررسی شده است.



شکل (۱): نمای از دستگاه اندازه گیری زاویه تماس بکار رفته در آزمایش

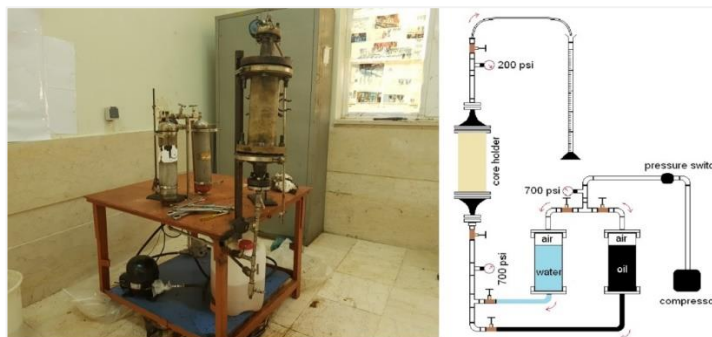
۱-۲- شرایط انجام آزمایش‌ها

از ترکیب نزدیک به غلظت یون‌های آب خلیج فارس به عنوان مقادیر پایه در آب هوشمند (محلول ۱) در جدول (۲) در این پژوهش استفاده شد. سپس اثر غلظت یون‌های دوزفیتی و مقدار غلظت ماده فعال سطحی کاتیونی نیز با آزمایش‌های مختلف بررسی شد. جدول (۳) شرایط مختلف و تعداد آزمایش‌های لازم با فرآیند سیلابزنی را نشان می‌دهد.

جدول (۳): شرایط مختلف و تعداد آزمایش‌های لازم با فرآیند سیلابزنی

ماده فعال سطحی (درصد وزنی)	Ca ⁺² (molar)	Mg ⁺² (molar)	SO ₄ ⁻² (molar)	محلول آب هوشمند
۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۱
۰	۰/۰۱	۰/۵	۰/۰۰۷	۲
۰	۰/۰۱	۱	۰/۰۰۷	۳
۰	۰/۵	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۴
۰	۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۵
۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵	۶
۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۱	۷
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۸
۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۹
۰/۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۱۰

بررسی فرآیند تزریق ماده فعال سطحی با آب هوشمند بر فرآیند سیلابزنی آبی: برای انجام آزمایش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی، دستگاهی طراحی و ساخته شد که شماتیک آن در شکل (۲) نشان داده شده است. تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش شامل استوانه پلیمری جهت شبیه‌سازی بستر متخلخل (core-holder)، مخزن محلول آب هوشمند، ماده فعال سطحی کاتیونی، کمپرسور و وسایل جانبی مثل سوئیچ فشار، فشار سنج، شیر آلات و ... بوده است که در بخش بعد هر کدام یک از آن‌ها توضیح داده خواهند شد.



شکل (۲): شماتیک دستگاه آزمایشگاهی

تزریق ماده فعال سطحی همراه با آب هوشمند به محیط متخلخل: پس از نصب تمام اتصالات و تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش و آماده شدن محیط متخلخل و اشباع آن با نفت و رساندن فشار core-holder به ۱۵bar، آزمایش‌های ازدیاد برداشت نفت آغاز شد. البته قبل از اجرای این عمل بایستی ماده فعال سطحی در آب هوشمند معلق شده و سپس، عملیات تزریق محلول آب هوشمند به محیط متخلخل انجام گیرد. سپس مخزن آب هوشمند مربوط به تزریق آب را پر می‌نماییم. سپس تمام شیرهای مربوط به ورودی نفت به core-holder می‌بندیم و تمام شیرهای مربوط به تزریق آب را باز می‌کنیم. مجرای ورودی بالای مخزن آب به کمپرسور وصل شده و خروجی پایین آن که مجهز به شیر کنترل جریان سیال است، به ورودی پایین بستر متخلخل متصل شده و با اعمال فشار توسط کمپرسور، سیال از درون مخزن به بستر متخلخل تزریق گردید. کلیه آزمایش‌های تزریق در فشار ۱۵bar انجام شد. با وارد شدن فشار به مخزن آب، مخلوط آب هوشمند و ماده فعال سطحی از پایین مخزن حرکت کرده و با عبور از مسیر بین core-holder و مخزن آب، از پایین وارد core-holder شده و با عبور از فضای بین ذرات

سیلیس، نفت موجود در فضای بین ذرات را شسته و همراه خود به سمت بالا جابجا می‌کند. نفتی که از بالای مخزن خارج می‌شود با استفاده از بورت اندازه‌گیری شده و درصد بازیافت نفت را در شرایط مختلف بدست می‌آوریم.

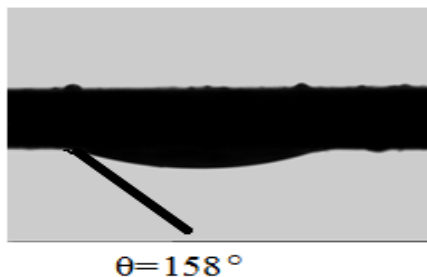


شکل (۳): تصویر قسمتی از محیط متخلخل پس از انجام آزمایش

با خارج شدن اولین قطرات آب از بالای core-holder و ایجاد پدیده رسوخ، آزمایش پایان یافته و شیر خروجی core-holder بسته شد و بدین ترتیب میزان بازیافت نفت از درون محیط متخلخل تعیین شد. پس از اتمام آزمایش شیر خروجی core-holder باز شده تا فشار داخل core-holder کاهش یابد.

بررسی زاویه تماس: مطالعات پیشین محققان نشان می‌دهد که آب هوشمند به تنهایی بر روی ترشوندگی سنگ مخزن تأثیرگذار است. بنابراین به منظور بررسی مقدار تأثیر یون‌های موجود در آب هوشمند همراه با ماده فعال سطحی مقادیر زاویه تماس بر روی سطح سنگ برای محلول‌های ۱ تا ۱۰ اندازه‌گیری شد در این پژوهش اندازه‌گیری زاویه تماس با قرار دادن یک قطره هپتان از پایین بر سطح دانه‌های سیلیس در محیط آبی در دمای اتاق و فشار اتمسفری انجام شده است.

شکل (۴) قطره هپتان قرار داده شده بر سطح سنگ مخزن در محیط آبی بعد از قرار دادن دانه‌های سیلیس در نفت مدل به مدت دو هفته را نشان می‌دهد که مقدار زاویه تماس آن ۱۵۸ درجه بوده و نشان دهنده نفت‌دوست بودن مخزن پس از قرار دادن در نفت مدل می‌باشد.



شکل (۴): قطره هپتان قرار داده شده بر سطح سنگ مخزن در محیط آبی بعد از قرار دادن دانه‌های سیلیس در نفت مدل به مدت دو هفته

در ادامه تأثیر غلظت یون‌های موجود در آب هوشمند و غلظت ماده فعال سطحی بر روی زاویه تماس سطح سنگ مخزن بررسی شد. به این صورت که ابتدا سنگ‌های نفت‌دوست شده در داخل محلول‌های ۱ تا ۱۰ که حاوی غلظت‌های متفاوتی از یون‌ها و ماده فعال سطحی می‌باشند قرار دادند. سپس سطح سنگ‌ها با روشی که قبلاً شرح داده شد جهت اندازه‌گیری زاویه تماس آماده سازی شدند.

روش اندازه‌گیری و محاسبه میزان بازیافت نفت: همانطور که قبلاً اشاره گردید، در هنگام انجام آزمایش‌ها مقدار حجم نفت برداشت شده از آزمایش‌ها در زمان‌های متفاوت در شرایط آورده شده در جدول (۳) ثبت گردید و شکل‌های درصد بازیافت نفت برای تزریق ماده فعال سطحی همراه با محلول‌های آب هوشمند در ادامه آورده شده است. در این پژوهش برای بدست آوردن درصد بازیافت نفت از رابطه (۱) استفاده می‌کنیم.

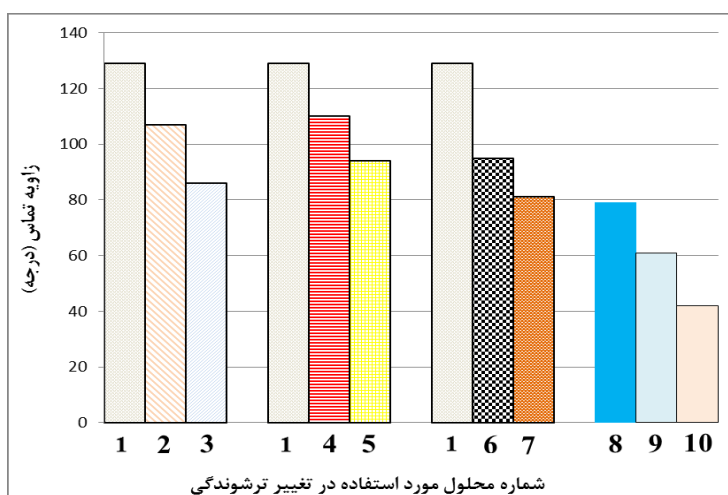
$$\% \text{Oil Recovery} = \frac{\text{حجم نفت برداشت شده (cc)}}{\% \varepsilon \times \text{حجم کل مخزن}} \times 100 \quad (1)$$

که در این پژوهش حجم کل مخزن ۱۲۹۹/۰۵۶ سی سی و تخلخل ۳۰ درصد می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از زاویه تماس

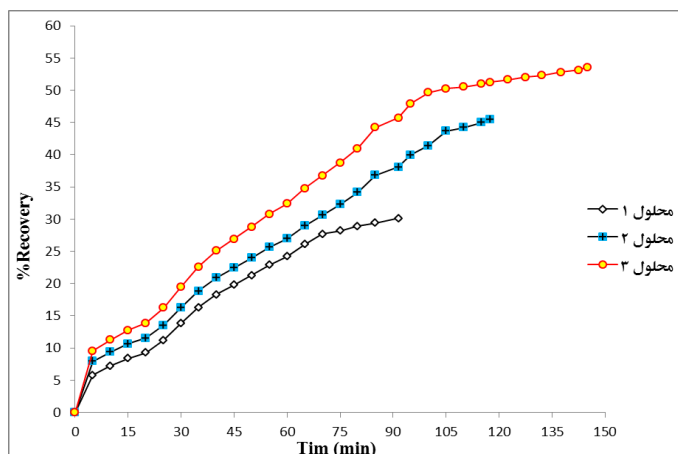
شکل (۵) نتایج زاویه تماس را پس از قرار دادن سنگ نفت‌دوست شده در محلول‌های آب هوشمند و سورفکتانت‌ها نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت یون Mg^{+2} در آب هوشمند از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ۸۶ درجه کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت یون Ca^{+2} نیز از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ به ۹۴ درجه کاهش می‌دهد که نشان دهنده تغییر حالت ترشوندگی سطح سنگ است. مشاهده می‌شود که یون Mg^{+2} تأثیر بیشتری بر مقدار زاویه تماس به نسبت یون Ca^{+2} دارد. یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} با جذب اسیدهای چرب جذب شده بر روی سنگ می‌توانند حالت ترشوندگی سنگ را تغییر داده و سبب دفع اسیدهای چرب جذب شده از روی سنگ شوند. تراکم بار یون Mg^{+2} از یون Ca^{+2} بیشتر است، در نتیجه راحت‌تر می‌تواند به سطح سنگ مخزن که بار مثبت دارد نزدیک شده و با جذب اسید چرب موجود که بار منفی دارد، حالت ترشوندگی سنگ را به آب‌دوست‌تر بیشتر تغییر دهد. همچنین افزایش غلظت یون SO_4^{-2} از ۰/۰۰۷ مولار تا ۱ مولار در آب هوشمند مقدار زاویه تماس را به ترتیب از ۱۲۹ به ۸۱ درجه کاهش می‌دهد. تأثیر بیشتر یون SO_4^{-2} نسبت به دو یون Mg^{+2} و Ca^{+2} به این دلیل است یون SO_4^{-2} با بار منفی به سطح سنگ با بار مثبت، نزدیک شده و از بار مثبت سطح سنگ می‌کاهد در نتیجه یون‌های Mg^{+2} و Ca^{+2} موجود به دلیل دافعه الکترواستاتیکی کمتر با سطح سنگ، به آسانی به اسید چرب جذب شده بر روی سنگ نزدیک شده و با کندن آن از روی سطح سنگ، حالت ترشوندگی سنگ را تغییر می‌دهند. نتایج شکل (۴-۲) نشان می‌دهد که افزودن ۰/۰۵٪ تا ۰/۵٪ وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) به آب هوشمند زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ترتیب به ۷۹ و ۴۹ درجه کاهش می‌دهد و کمترین مقدار زاویه تماس مربوط به این حالت است که نشان‌دهنده دفع مقدار زیادی اسید چرب جذب شده از روی سنگ می‌باشد.



شکل (۵): مقادیر زاویه تماس قطره هپتان بر روی سنگ مخزن پس از تغییر ترشوندگی با محلول‌های آب هوشمند و ماده فعال سطحی کاتیونی (محلول‌های ۱ تا ۱۰ هر گروه از ۳ گروه بالا مربوط به تغییر غلظت یک یون در محلول‌های ۱ تا ۱۰ است)

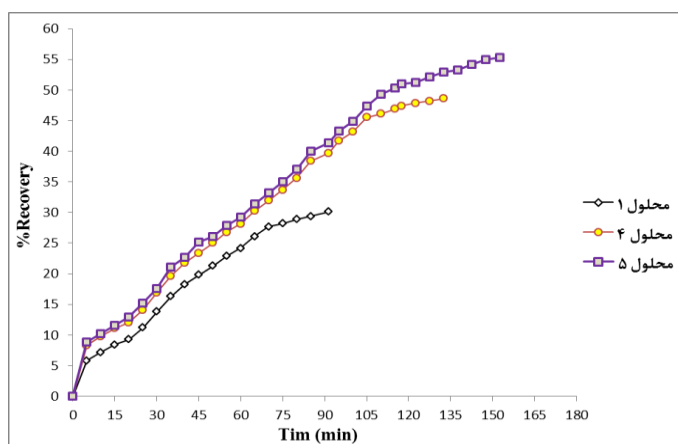
۳-۲- اثر تزریق ماده فعال سطحی کاتیونی همراه با محلول آب هوشمند بر میزان بازیافت نفت

به منظور ارزیابی محلول‌های آب هوشمند و ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) مورد استفاده از آزمایش‌های سیلاب‌زنی استفاده شد. شکل (۶) درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های Mg^{+2} با استفاده از فرآیند سیلاب‌زنی (محلول‌های ۱ تا ۳) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر در غلظت ثابت یون SO_4^{-2} و Ca^{+2} با افزایش غلظت Mg^{+2} از ۰/۰۱ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۱ مولار Mg^{+2} حاصل گردید. زمان پایان فرآیند سیلاب‌زنی برای محلول ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۹۲، ۱۱۶ و ۱۴۶ دقیقه بدست آمد. بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت ۵۴ درصد برای غلظت ۱ مولار Mg^{+2} حاصل شد که نسبت به غلظت ۰/۰۱ و ۰/۵ مولار به ترتیب ۷۸ و ۱۸ درصد افزایش درصد بازیافت نفت را داریم. لذا می‌توان این توجیه را ارائه داد که در غلظت ثابت SO_4^{-2} و Ca^{+2} با افزایش غلظت Mg^{+2} در آب هوشمند ترشوندگی و آب دوست شدن سنگ مخزن بیشتر شده است.



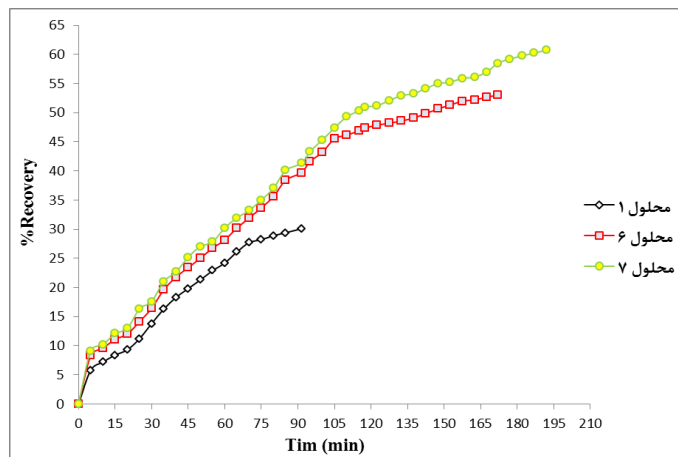
شکل (۶): درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های Mg^{+2} با فرآیند سیلاب‌زنی (محل‌های ۱ تا ۳)

شکل (۷) درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های Ca^{+2} با استفاده از فرآیند سیلاب‌زنی (محل‌های ۱، ۴ و ۵) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر در غلظت ثابت یون SO_4^{-2} و Mg^{+2} با افزایش غلظت Ca^{+2} از ۰/۰۱ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۱ مولار Ca^{+2} حاصل گردید. زمان پایان فرآیند سیلاب‌زنی برای محل‌های ۱، ۴ و ۵ به ترتیب ۹۲، ۱۳۵ و ۱۵۴ دقیقه بدست آمد. بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت ۵۶ درصد برای غلظت ۱ مولار Ca^{+2} حاصل شد که نسبت به غلظت ۰/۰۱ و ۰/۵ مولار به ترتیب ۸۶ و ۱۵ درصد افزایش درصد بازیافت نفت را داریم. با توجه به آزمایش‌های قبل (شماره ۱ تا ۳) افزایش غلظت Ca^{+2} در آب هوشمند بیشتر از یون Mg^{+2} بر روی ازدیاد برداشت نفت تأثیرگذار بوده است.



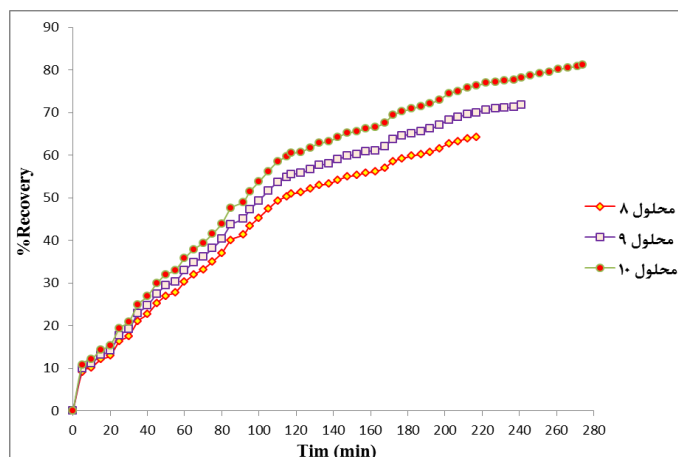
شکل (۷): درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های Ca^{+2} با فرآیند سیلاب‌زنی (محل‌های ۱، ۴ و ۵)

شکل (۸) درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های SO_4^{-2} با استفاده از فرآیند سیلاب‌زنی (محل‌های ۱، ۶ و ۷) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر و بررسی منحن‌های حاصل از این مرحله آزمایش برای آب هوشمند در غلظت ثابت یون Mg^{+2} و Ca^{+2} با افزایش غلظت SO_4^{-2} از ۰/۰۰۷ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت با تزریق آب هوشمند با حضور یون SO_4^{-2} در غلظت ۱ مولار حاصل گردید. که آب هوشمند بکار رفته در آزمایش ۶ و ۷ نسبت به سایر مراحل بالا تأثیری بیشتری بر روی درصد بازیافت نفت داشته است و سبب افزایش درصد بازیافت نفت در سطح بالاتری نسبت به مراحل قبلی آزمایش‌ها داشته است. زمان پایان فرآیند سیلاب‌زنی برای محل‌های ۱، ۶ و ۷ به ترتیب ۹۲، ۱۶۴ و ۱۹۵ دقیقه بدست آمد. بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت ۶۰ درصد برای غلظت ۱ مولار SO_4^{-2} حاصل شد.



شکل (۸): درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از یون‌های SO_4^{2-} با فرآیند سیلاب‌زنی (محلول‌های ۱، ۶ و ۷)

شکل (۹) درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف از ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) با فرآیند سیلاب‌زنی (محلول‌های ۸ تا ۱۰) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر در با افزودن ماده فعال سطحی کاتیونی به آب هوشمند و افزایش غلظت محلول ماده فعال سطحی از ۰/۵ تا ۰/۵ درصد وزنی درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی در آب هوشمند حاصل شد. در شرایط آزمایش ۸ تا ۱۰ بیشترین درصد بازیافت نفت نسبت به سایر آزمایش‌ها (۷ تا ۱) بدست آمد. زمان پایان فرآیند سیلاب‌زنی برای محلول ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب ۲۱۷، ۲۴۱ و ۲۷۴ دقیقه بدست آمد. بیشترین و کمترین درصد بازیافت نفت ۶۴ و ۸۱ درصد برای ماده فعال سطحی کاتیونی با غلظت ۰/۵ و ۰/۰۵ درصد وزنی بدست آمد.



شکل (۹): درصد بازیافت نفت بر حسب زمان برای تزریق آب هوشمند با غلظت‌های مختلف ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید با فرآیند سیلاب‌زنی (محلول‌های ۸ تا ۱۰)

همانطوری که در شکل‌های بالا مشاهده می‌گردد با افزایش غلظت ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) به همراه آب هوشمند میزان بازیابی نفت را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد که این افزایش میزان بازیابی نفت می‌تواند به دلیل تغییر خاصیت ترشوندگی سنگ و یا کاهش کشش سطحی میان آب و نفت توسط ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برماید باشد. به عنوان مثال در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی درصد بازیافت نفت ۸۱/۲۱ درصد بدست آمد که نسبت به آب هوشمند با حضور Mg^{+2} با غلظت ۱ مولار ۵۱/۶۰ درصد، نسبت به آب هوشمند با حضور Ca^{+2} با غلظت ۱ مولار ۴۵/۷۴ درصد و نسبت به آب هوشمند با حضور SO_4^{2-} با غلظت ۱ مولار ۳۵ درصد افزایش درصد بازیافت نفت با انجام فرآیند سیلاب‌زنی را داریم.

۴- نتیجه گیری

استفاده‌ی درست از منابع نفتی جهان، با هدف افزایش طول عمر آن‌ها و برخورداری نسل‌های آینده از این ذخایر، ایجاب می‌کند تا با مدیریت صحیح این منابع آشنا شویم. از نکات قابل توجه در مدیریت مخازن، اتخاذ روش‌هایی برای حفظ و صیانت مخزن، بالا بردن راندمان تولید و سعی بر نگاه‌داشتن آن در حد مطلوب در طول زمان است. معمولاً ۳۰ درصد از نفت موجود در مخازن به‌طور طبیعی از مخزن برداشت می‌شود و ۷۰ درصد باقیمانده در مخازن نیازمند به‌کارگیری روش‌هایی موسوم به روش‌های ازدیاد برداشت است. در این پژوهش تأثیر مواد فعال سطحی کاتیونی همراه با آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن با هدف بهبود بازیافت نفت بطور آزمایشگاهی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

- نتایج زاویه تماس را پس از قرار دادن سنگ مخزن نفت‌دوست شده در محلول‌های آب هوشمند نشان می‌دهد که با افزایش غلظت یون Mg^{+2} در آب هوشمند از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ۸۶ درجه کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت یون Ca^{+2} نیز از ۰/۰۱ مولار تا ۱ مولار مقدار زاویه تماس را از ۱۲۹ به ۹۴ درجه کاهش می‌دهد. - افزایش غلظت یون SO_4^{-2} از ۰/۰۰۷ مولار تا ۱ مولار در آب هوشمند مقدار زاویه تماس را به ترتیب از ۱۲۹ به ۸۱ درجه کاهش می‌دهد.

- افزودن ۰/۰۵٪ تا ۰/۵٪ وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برآمید به آب به آب هوشمند زاویه تماس را از ۱۲۹ درجه به ترتیب به ۷۹ و ۴۲ درجه کاهش می‌دهد و کمترین مقدار زاویه تماس مربوط به این حالت است که نشان دهنده دفع مقدار زیادی اسید چرب جذب شده از روی سنگ می باشد.

- در غلظت ثابت یون SO_4^{-2} و Ca^{+2} با افزایش غلظت Mg^{+2} از ۰/۰۱ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۱ مولار Mg^{+2} حاصل گردید. - در غلظت ثابت یون SO_4^{-2} و Mg^{+2} با افزایش غلظت Ca^{+2} از ۰/۰۱ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۱ مولار Ca^{+2} حاصل گردید. - در غلظت ثابت یون Mg^{+2} و Ca^{+2} با افزایش غلظت SO_4^{-2} از ۰/۰۰۷ تا ۱ مولار در آب هوشمند درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت با تزریق آب هوشمند با حضور یون SO_4^{-2} در غلظت ۱ مولار حاصل گردید.

- آب هوشمند بکار رفته در آزمایش ۶ و ۷ نسبت به سایر مراحل بالا تأثیری بیشتری بر روی درصد بازیافت نفت داشته است و سبب افزایش درصد بازیافت نفت در سطح بالاتری نسبت به مراحل قبلی آزمایش‌ها داشته است. زمان پایان فرآیند سیلاب‌زنی برای محلول ۱، ۶ و ۷ به ترتیب ۹۲، ۱۶۵ و ۱۹۵ دقیقه بدست آمد. بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت ۶۰ درصد برای غلظت ۱ مولار SO_4^{-2} حاصل شد.

- با افزودن ماده فعال سطحی کاتیونی به آب هوشمند و افزایش غلظت محلول سورفکتانت از ۰/۰۵ تا ۰/۵ درصد وزنی درصد بازیافت نفت با فرآیند سیلاب‌زنی روند افزایشی دارد که بیشترین مقدار درصد بازیافت نفت در غلظت ۰/۵ درصد وزنی سورفکتانت کاتیونی در آب هوشمند حاصل شد.

- در غلظت ۱ درصد وزنی ماده فعال سطحی کاتیونی هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برآمید درصد بازیافت نفت ۸۱ درصد بدست آمد که نسبت به آب هوشمند با حضور Mg^{+2} با غلظت ۱ مولار ۵۱ درصد، نسبت به آب هوشمند با حضور Ca^{+2} با غلظت ۱ مولار ۴۵ درصد و نسبت به آب هوشمند با حضور SO_4^{-2} با غلظت ۱ مولار ۳۴ درصد افزایش درصد بازیافت نفت با انجام فرآیند سیلاب‌زنی را داریم.

منابع

[۱] حیدری باغ عوضی، سمیرا، گل‌فنددشتی، حسن، عباسی، سعید، شهرآبادی، عباس. (۱۳۸۹). مطالعه سازگاری آب تزریقی و سازند در پروژه تزریق آب به یکی از مخازن نفتی ایران، *اولین همایش ملی توسعه تکنولوژی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی*، صفحه ۶-۱.

[۳] اسماعیلی، ع، (۱۳۸۶)، ازدیاد برداشت از مخازن نفت، *نشریه/کشف و تولید شماره ۱۰*، صفحه ۱۲-۲.

[۴] میر مقتدایی، مسیح. (۱۳۸۷). *شوینده‌ها و مواد فعال سطحی*، انتشارات هودین، ۲۸۱-۲۹۸.

[۵] چالکش امیری، محمد. (۱۳۸۷). *مواد فعال سطحی*، انتشارات ارکان دانش، ۶۰-۴۲.

[۶] شکوفه افضلی، علیرضا اقدام، مسعود ریاضی، سید شهاب الدین آیت الهی، رفعت پارسایی. (۱۳۹۳). تأثیر ترکیب آب هوشمند بر تغییر ترشوندگی و سرعت تغییر آن در سنگ‌های کربناته، *دومین همایش بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی*، تهران، صفحه ۱۰-۱.

- [7] S. Skule, C. Dag, Standnes and T. Austad. (2003). Spontaneous Imbibition of Aqueous Surfactant Solutions into Neutral to Oil-Wet Carbonate Cores: Effects of Brine Salinity and Composition, *Energy Fuels*, 17 (5), pp 1133–1144.
- [8] G Hirasaki, D.L Zhang. (2004). Surface Chemistry of Oil Recovery from Fractured, Oil-Wet, Carbonate Formations, *Journal of Society of Petroleum Engineers*, 9, pp. 151–162.
- [9] K Kumar, E.K Dao, K.K Mohanty. (2005). Atomic Force Microscopy Study of Wettability Alteration, *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*, The Woodlands, Texas, pp. 55.

ساخت و مشخصه‌یابی غشاهای پلیمری برای حذف فلز سنگین کبالت از آب

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۹

کد مقاله: ۶۹۱۳۵

حمیده برسان^۱

چکیده

در این پژوهش ساخت غشای نانوکامپوزیت پلی سولفون-نانوذرات سلولز جهت حذف کبالت از آب بصورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. غشا نانوکامپوزیت فیلم نازک نانوذرات سلولز بوسیله پلیمریزاسیون بین سطحی تهیه شود. مورفولوژی غشا توسط SEM مورد بررسی قرار گرفت. از ویژگیهای FTIR و XRD شکلگیری موفق لایه پلی آمید تایید شد. در حالی که طیفهای XRD اتصال نانوذرات سلولز را در لایه پلی آمید تایید کرد. فرآیند در شرایط عملیاتی غلظت نانوذرات سلولز ۰/۰۲، ۰/۰۶ و ۰/۱ درصد جرمی، فشار ۸ بار و دبی ۲/۵ لیتر بر دقیقه و دمای ۲۷ درجه سانتی گراد انجام شد. مقادیر زاویه تماس سطح فوقانی غشاها اندازه‌گیری شد که با افزودن نانوسلولز به محلول پلیمری، زاویه تماس سطح غشا با آب کاهش یافته است. کاهش زاویه تماس آب به معنی افزایش آب‌دوستی غشای نانوکامپوزیت می‌باشد. شار عبور آب خالص از غشاهای نانوکامپوزیت با افزودن درصدهای وزنی متفاوت نانوسلولز از غشای خالص (بدون افزودن نانوسلولز) بیشتر است. کمترین و بیشترین مقدار شار آب عبور به ترتیب مربوط به غشای خالص با مقدار $L/m^2.hr$ 69/8 و غشا با افزودن ۰/۰۵ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار $L/m^2.h$ 08/17 بدست آمد که میزان ۷۷/۳۹ درصد افزایش شار آب عبوری نسبت به غشا خالص را داریم. با افزودن نانوسلولز ۰/۰۱ درصد وزنی به غشای نانوکامپوزیت نسبت به درصدهای وزنی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد دفع کبالت در سطح بالاتری قرار دارد. بیشترین مقدار دفع کبالت از غشاهای نانوکامپوزیت مربوط به غشا با افزودن ۰/۰۱ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار ۹۸/۳۸ درصد بدست آمد که میزان ۸/۴۸ درصد افزایش درصد دفع کبالت نسبت به غشا خالص را داریم.

واژگان کلیدی: غشا، نانوکامپوزیت، پلی سولفون، نانوذرات سلولز، کبالت

با توجه به مشکلات حضور فلزات سنگین در محیط زیست گفته شد، همچنین گسترش صنعت و مصرف هر چه بیشتر فلزات به صورت محصول، تجهیزات تولید و ماده اولیه، ایجاد روش های مقرون به صرفه با بالاترین میزان جداسازی بسیار مورد توجه است [۱]. فرایندهای ترسیب شیمیایی، ته نشینی، جذب سطحی، شناورسازی، تبخیر حرارتی، تبادل یون و استخراج با حلال، روش های جذب زیستی و فرایندهای غشایی از مهم ترین فرایندهای متداول در تصفیه پساب های حاوی فلزات سنگین می باشد [۲]. فرایند تبادل یون یک روش شیمیایی مناسب برای حذف فلزات سمی و پرتوزا در فاضلاب ها است. این روش، زمانی که غلظت فلزات پرتوزا کم است، بسیار متداول می باشد و در مقایسه با سایر روش ها نسبتاً ارزان تر است [۳]. در فرایند تبادل یونی یک رزین جامد نامحلول که شامل یون های با بار یکسان در یون های فلزات سنگین می باشد، در محلول فاضلاب آبی قرار می گیرد، واکنش جایگزینی اتفاق می افتد به طوری که رزین یون های فلزات سنگین را جذب می کند و یون های با بار یکسان را جایگزین آن ها می کند [۴]. رزین ها اغلب از جنس پلیمر بوده و مشکل انسداد بستر رزین ها روی می دهد که هزینه احیا و تعویض رزین ها زیاد است. از طرفی این روش قادر به تصفیه محلول های فلزی خیلی غلیظ نبوده و عموماً به صورت گزینشی نمی باشد [۵]. در روش استخراج محدودیت در انحلال نمک های فلزی در حلال های آلی، گران بودن حلال ها و نیاز به تأسیسات جانبی نظیر بازیافت حلال از معایب این روش می باشد. فرایند ترسیب به عنوان یک روش تصفیه مزایای متعددی دارد. این روش نسبتاً ارزان بوده و احداث واحدهای جدید آن نیاز به سرمایه های بزرگی ندارد. ولی استفاده از ترسیب در حذف فلزات سنگین حجم بالایی از لجن آبدار می نماید که باید دفع گردد و بسیار پرهزینه است. از جمله روش های حذف فلزات سنگین می توان به روش جذب زیستی اشاره کرد [۶]. در این روش توانایی توده زیستی در جمع آوری فلزات سنگین از پساب ها از طریق فعالیت های متابولیکی غیرمستقیم یا راه های فیزیکی و شیمیایی جذب است. جلبک ها، کپک ها، مخمرها، باکتری ها و قارچ ها از جمله این جاذب ها هستند. ساختار پیچیده میکروارگانیزم ها، آن ها را توانمند کرده تا به طرق مختلف فلزات را جذب کنند. در عین حال برخی از این جذب کننده های زیستی قادرند طیف وسیعی از فلزات سنگین را حذف کنند، در حالی که برخی نیز تنها انواع خاصی از فلزات را جذب می کنند که این ویژگی فرایند تصفیه را محدود می کند [۶]. فرایندهای غشایی به دلیل داشتن مزایایی نظیر کاهش انرژی مورد نیاز جداسازی و امکان دستیابی به ضریب آلودگی زدایی بالا، انتخاب پذیری بیشتر در مقایسه با سایر روش های جداسازی عدم نیاز به افزودنی های خاص، هزینه پایین در فرایندهای تصفیه پساب های حاوی فلزات سنگین مطرح می شوند. یک غشا مانند یک سد فیزیکی گزینش می تواند تعریف شود به طوری که دو فاز را از یکدیگر جدا کرده و تحت تأثیر اختلاف پتانسیل شیمیایی عبور بعضی از ترکیبات موجود در محلول را از روی سطح غشا محدود می کند [۷]. فرایندهای غشایی به شیوه های جداسازی فیزیکی و شیمیایی املاح مختلف از حلال با استفاده از غشاهای نیمه تراوا اطلاق می شود. این بیانگر آن است که غشا با نفوذپذیری انتخابی می باشد و بیانگر آن است که پتانسیل شیمیایی بین دو فاز وجود دارد [۸]. اگرچه غشاها بر اساس ساختارشان مشخص می شوند اما عملکردشان برحسب شار و گزینش پذیری شان بر اساس موادی که در دو فاز وجود دارد و نیروی اعمال شده بستگی دارد [۹]. نیروی محرکه غشاهای مختلف بر اساس فشار، درجه حرارت، پتانسیل الکتریکی و اختلاف غلظت می باشد. نیروی محرکه فرایندهای میکرو فیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانو فیلتراسیون و اسمز معکوس اختلاف فشار می باشد. نانوفیلتراسیون عمدتاً برای حذف سختی سولفات و سختی کل ناشی از یون های کلسیم و منیزیم کاربرد دارد و باعث کاهش ۵۰ تا ۷۰ درصدی شوری و ۹۵ درصدی حذف عناصر دو ظرفیتی می گردد. نانوذرات اخیراً به خاطر خواص منحصر به فرد خود از جمله خواص مکانیکی، آب گریزی، انتخاب پذیری مورد توجه قرار گرفته اند. از جمله نانوذراتی که عمدتاً در ساخت غشاهای نانوفیلتراسیون مورد استفاده قرار گرفته است می توان تیتانیوم دی اکسید، سیلیکات نقره و نانو ذرات آهن را نام برد. یکی از راهکارهای بهبود عملکرد و ساختار غشاها و کاهش هزینه های نمک زدایی از آب، افزودن مواد عملکردی (معمولاً نانو ذرات) به یک بستر پلیمری است تا بدین وسیله میزان دفع مواد محلول و دبی جریان عبوری از غشا افزایش یافته و میزان گرفتگی غشا کاهش می یابد [۱۰].

۲- روش تحقیق

مواد بکار رفته: لایه نگهدارنده پلی سولفون ریزمتخلخل توسط مرکز توسعه فناوری تصفیه آب تهیه شد. ایمیدازول، متیل پیرولیدون (NMP)، پلی ونیل پیرولیدون (PVP)، تری مزوئیل کلرید (TMC، ۹۹ درصد)، پیرازین (PIP، ۹۹ درصد) و آن هگزان (۹۹ درصد) از شرکت مرک (Merk) خریداری شد. سلولزنانو کریستال (CNC) (خلوص بیش از ۹۵ درصد) با اندازه کمتر از ۲۰ نانومتر از شرکت سیگما آلد ریچ خریداری شد. برای تهیه محلول آرسنیک با غلظت های متفاوت از کلراید کبالت ۶ آبه ($\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ساخت شرکت مرک (Merk) استفاده شد.

ساخت غشای نانوکامپوزیت: ابتدا مقدار مشخص حلال NMP درون بشر می ریزیم و بعد مقدار مشخص PVP اضافه کرده و کمی با همزن مغناطیسی هم زده و سپس نانوسلولز (۰/۱، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ درصد جرمی) اضافه می کنیم. مدت ۱ ساعت در

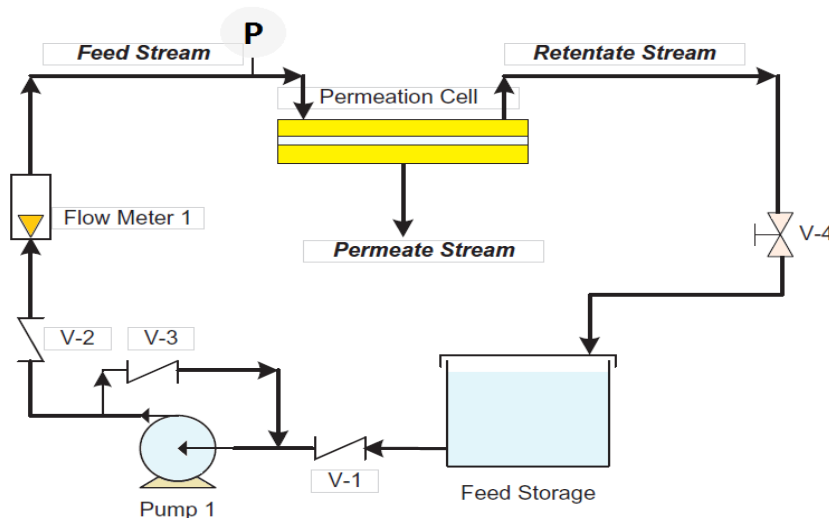
دستگاه التراسونیک قرار داده و بعد روی همزن مغناطیسی قرار داده و آرام آرام پلی سولفون را اضافه می‌کنیم (برای جلوگیری از چسبندگی آرام آرام اضافه می‌کنیم). به مدت ۲۴ ساعت روی همزن قرار می‌دهیم تا کامل حل شود و سپس در جایی ساکن قرار می‌دهیم تا حباب‌های آن خارج شود. سپس با دستگاه فیلم کش یا بصورت دستی صاف می‌کنیم و درون حمام آب غوطه‌ور می‌کنیم تا حلال آن کامل خارج شود. سپس چند ساعتی درون آب قرار داده و بعد لایه‌های پلی‌امیدی را روی آن می‌نشانیم. به این صورت که محلول آبی PIP با غلظت ۲ درصد جرمی در آب مقطر بعد از گذشت ۲۴ ساعت تحت همزدن مغناطیسی تهیه شد. زیرلایه (پلی اتر سولفون) را روی قاب قرار می‌دهیم و ۲۰ سی سی از محلول آبی PIP را به آن اضافه می‌کنیم تا کاملاً در محلول غوطه‌ور شود. زهکشی محلول اضافی بعد از مدت زمان ۲ دقیقه انجام شده و با غلطک صاف می‌کنیم. ۲۰ سی سی از محلول آلی TMC را به قاب اضافه می‌کنیم. بعد از مدت زمان یک دقیقه باقیمانده محلول را خالی کرده و غشا را درون آن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار می‌دهیم تا خشک شود. بعد از خشک شدن غشا را در اتانول خالص به مدت ۳ دقیقه قرار می‌دهیم. شرایط ساخت غشاها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): شرایط ساخت غشاها

نوع غشا	PIP (%W _t)	TMC/n-hexane (%W _t)	نانوسلولز (%W _t)
M0	۲	۰/۱۵	۰
M1	۲	۰/۱۵	۰/۰۱
M2	۲	۰/۱۵	۰/۰۵
M3	۲	۰/۱۵	۰/۱

تعیین ویژگی‌های غشای نانوکامپوزیت ساخته شده: طیف سنج ATR-FTIR مدل (UATR, Perkin-Elmer) به منظور نظارت بر تغییرات گروه‌های عاملی و عناصر در غشای تحت استفاده شد. از یک پراش سنج اشعه X (مدل ریچاک (Rigaku)، ژاپن؛ ۴۵ kV، ۴۰ mA) برای ثبت الگوهای پراش اشعه X در نانوذرات و غشاها استفاده شد. مورفولوژی غشاها و نوع اتم‌های روی سطوح زیرلایه و لایه‌ی پوسته‌ای با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی نشر میدانی مدل Shimadzu، هیتاچی، ژاپن ارزیابی شدند. در این آزمایش‌ها از زاویه‌یاب (دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس نوری OCA15plus, Germany, DATA Physics) استفاده شد و زاویه قطرات آب با سطح غشا اندازه‌گیری شد.

ارزیابی عملکرد غشاهای نانوکامپوزیت: شکل (۱) سیستم غشایی برای ارزیابی عملکرد غشاهای نانوکامپوزیت جریان متقابل را نشان می‌دهد. مساحت سطح غشا ۱۴/۶۲ سانتی‌متر مربع می‌باشد. فرآیند غشایی در شرایط عملیاتی غلظت نانوسلولز ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد جرمی، فشار ۸ بار و دبی ۲/۲۵ لیتر بر دقیقه و دمای محیط (۲۷) درجه سانتی‌گراد انجام شد.



شکل (۲): نمایی از سیستم غشایی برای ارزیابی عملکرد غشاهای نانوکامپوزیت

لذا برای بدست آوردن شار آب عبوری از غشاهای نانوکامپوزیت از معادله (۱) و (۲) استفاده شود.

$$J = \frac{\Delta V}{A_m \cdot \Delta t} \quad (1)$$

$$A = \frac{J}{\Delta P} \quad (2)$$

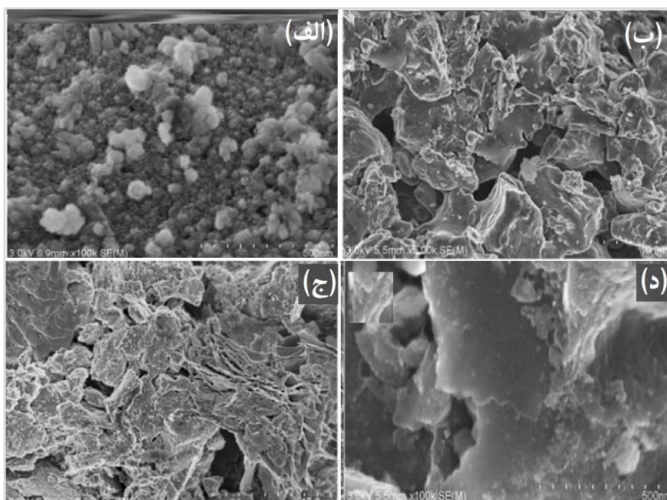
که در روابط بالا A_m مساحت مؤثر غشا، ΔV حجم آب نفوذ کرده در غشا، Δt زمان و ΔP اختلاف فشار می‌باشد. همچنین برای میزان دفع فلز سنگین (Rejection) از رابطه (۳) استفاده شود.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (3)$$

که در این رابطه C_p و C_f به ترتیب غلظت فلز سنگین نفوذ کرده و غلظت فلز سنگین در خوراک است.

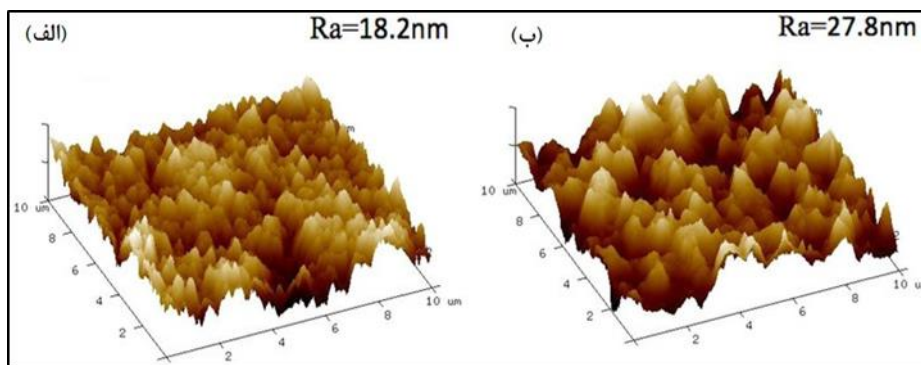
۳- نتایج و بحث

ساختار غشاهای ساخته شده توسط میکروسکوپی الکترونی روبشی مطالعه شد. تصاویر SEM ساختار مقطع سطح غشاهای ساخته شده در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که با اضافه کردن نانوسلولز با غلظت‌های مختلف به سطح غشا خالص یک حالت کلوخه‌ای به واسطه وجود نانوسلولز ایجاد می‌شود. بعلاوه، وجود لکه‌های سفید رنگ در سطح غشاهای نانوکامپوزیت وجود نانوسلولز با غلظت‌های متفاوت در سطح غشا را تایید می‌کند. تجمع این نانوسلولز در سطح غشا موجب مسدود شدن منافذ غشا و کاهش نرخ نفوذ در غشا می‌شود.



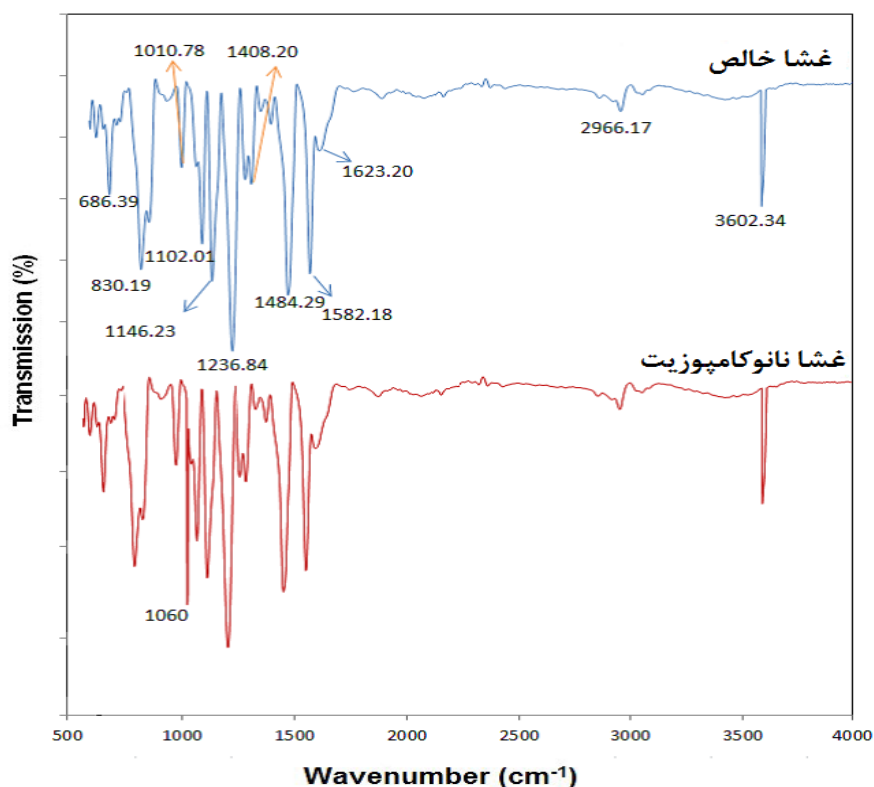
شکل (۲): تصاویر SEM سطح فوقانی غشاهای نانوکامپوزیت، (الف) غشاخالص، (ب) نانوکامپوزیت همراه با نانوسلولز با غلظت ۰/۰۱ درصد جرمی و (ج) نانوکامپوزیت همراه با نانوسلولز با غلظت ۰/۰۵ درصد جرمی و (د) نانوکامپوزیت همراه با نانوسلولز با غلظت ۰/۱ درصد جرمی.

جهت بررسی زبری سطح غشاها از آنالیز میکروسکوپی نیروی اتمی انجام شد. تصاویر مربوط به آنالیز AFM سطح غشاهای نانوکامپوزیت ساخته شده در شکل (۳) آورده شده است. همانگونه که تصاویر نشان می‌دهد با افزودن نانوسلولز به غشای خالص زبری سطح نسبت به غشای خالص (بدون حضور نانوسلولز) افزایش یافته است. این امر بدلیل تجمع ذرات نانوسلولز در سطح غشای نانوکامپوزیت می‌باشد. لذا افزایش زبری سطح غشای نانوکامپوزیت باعث افزایش سطح غشا می‌گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که میزان جذب فلز سنگین کبالت در غشاهای نانوکامپوزیت افزایش یابد.



شکل (۳): تصاویر AFM مربوط به غشاهای نانوکامپوزیت، (الف) بدون افزودن نانوسلولز، (ب) با افزودن ۱ درصد نانوسلولز

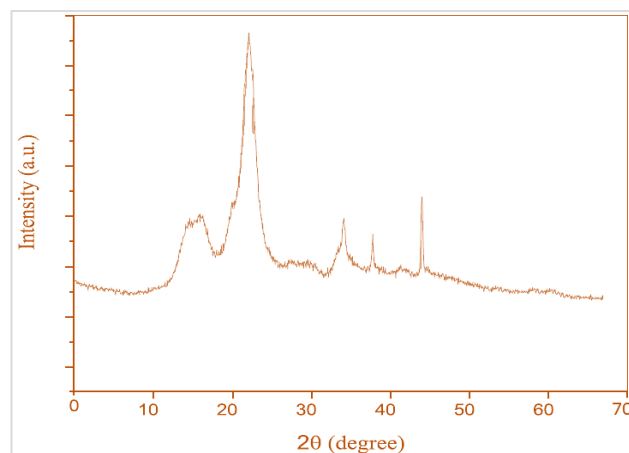
شکل (۴) طیف FT-IR غشای خالص و غشای نانوکامپوزیت در حضور نانوسلولز را نشان می‌دهد. پیک‌های 1150 cm^{-1} مربوط به کشش متقارن $\text{O}=\text{S}=\text{O}$ و 1300 cm^{-1} مربوط به کشش نامتقارن $\text{O}=\text{S}=\text{O}$ و پیک 1530 cm^{-1} مربوط به کشش حلقه آروماتیک $\text{C}=\text{C}$ که به واسطه گروه‌های پلیمر PSF می‌باشد. پیک بین 3200 و 3600 cm^{-1} به ارتعاشات کششی $\text{O}-\text{H}$ مربوط می‌شود که نشان دهنده حضور گروه‌های هیدروکسیل است. پیک 2902 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی متقارن $\text{C}-\text{H}$ است. حداکثر مشاهدات در پیک‌های 1643 و 1431 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کشش $\text{O}-\text{H}$ که مربوط به جذب آب و ارتعاش کشش $-\text{CH}_2-$ است. پیک 1960 cm^{-1} بر روی ارتعاشات $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ مربوط به باند سلولز است.



شکل (۴): طیف FT-IR غشاهای خالص و غشای نانوکامپوزیت همراه با نانوسلولز

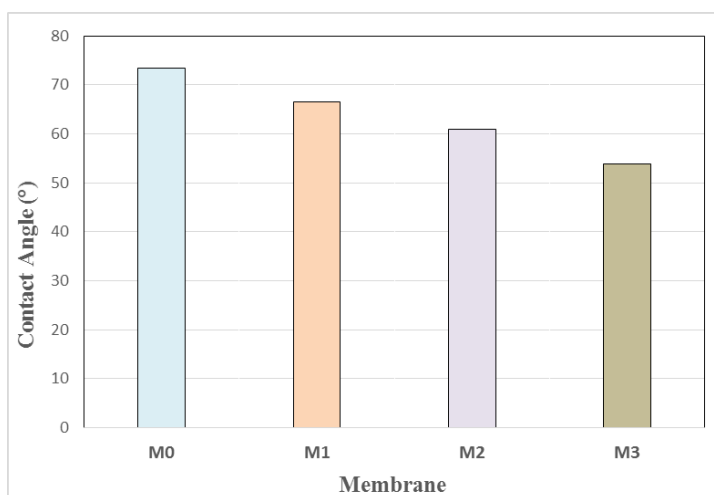
شکل (۵) طیف الگوی XRD غشای نانوکامپوزیت نانوسلولز را نشان می‌دهد. طبق مطالعات، سلولز نوع I پراش مشخصه را در 15° ، 21° ، 23° و 34° دارد، در حالی که در سلولز نوع II پیک‌های 12° ، 20° و 22° درجه ظاهر می‌شوند. طیف XRD ذرات نانوسلولز سه پیک را در زاویه پراش تقریباً 17° ، 21° و 33° درجه نشان می‌دهد. پیک‌های ظاهر شده در زاویه پراش 17° و 33° درجه

نشان دهنده حضور سلولز نوع I است. از طرف دیگر بلندترین پیک در زاویه پراش ۲۱ درجه اتفاق می‌افتد، نشان دهنده حضور سلولز نوع II است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نانوسلولز مورد استفاده در این مطالعه شامل انواع سلولز I و II می‌باشند.



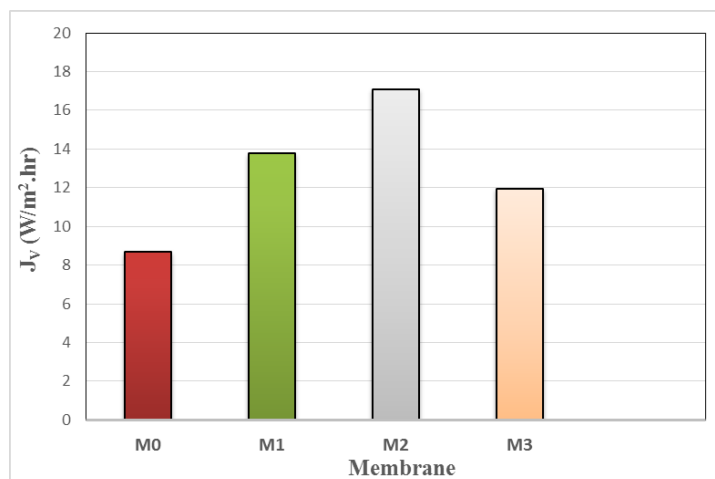
شکل (۵): الگوی XRD غشای نانوکامپوزیت.

مقادیر زاویه تماس سطح فوقانی غشاها اندازه‌گیری شد و نتایج در در شکل (۶) گزارش شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که با افزودن نانوذرات سلولز به محلول پلیمری، زاویه تماس سطح غشا با آب کاهش یافته است. کاهش زاویه تماس آب به معنی افزایش آب‌دوستی غشای نانوکامپوزیت می‌باشد. دلیل افزایش آب‌دوستی غشای نانوکامپوزیت وجود نانوذرات آب‌دوست نانوسلولز در سطح فوقانی و ساختار غشا می‌باشد.



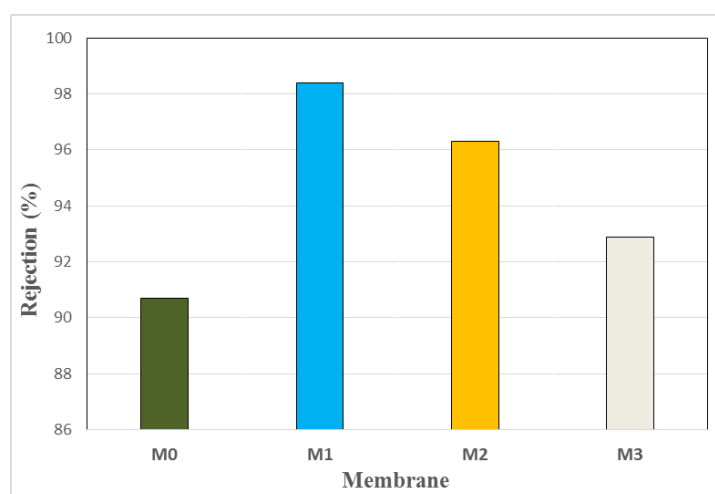
شکل (۶): زاویه تماس متوسط غشاها

شکل (۷) شار آب عبوری از غشاهای نانوکامپوزیت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که شار عبور آب خالص از غشاهای نانوکاپوت با افزودن درصد‌های وزنی متفاوت نانوسلولز از غشای خالص (بدون افزودن نانوسلولز) بیشتر است. که می‌توان این پدیده رو مرتبط با خاصیت آب‌دوستی غشاهای نانوکامپوزیت با حضور ذرات نانوسلولز در سطح غشا دانست. همانگونه که از شکل (۷) مشخص می‌باشد روند شار عبور آب خالص از غشاهای نانوکامپوزیت با افزودن نانوسلولز ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد وزنی بصورت افزایشی می‌باشد ولی با افزودن ۰/۱ درصد وزنی نانوسلولز به غشای نانوکامپوزیت، شار آب عبوری آب کاهش می‌یابد که می‌توان به دلیل این باشد که با افزایش درصد وزنی ذرات نانوسلولز بر روی سطح غشا یک حالت کلوخه‌ای نانوسلولز به وجود می‌آید که باعث گرفتگی منافذ غشا و کاهش شار آب عبوری از غشا می‌گردد. کمترین و بیشترین مقدار شار آب عبور به ترتیب مربوط به غشا خالص با مقدار ۸/۶۹ L/m².hr و غشا با افزودن ۰/۰۵ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار ۱۷/۰۸ L/m².hr بدست آمد که میزان ۷۷/۳۹ درصد افزایش شار آب عبوری نسبت به غشا خالص را داریم.



شکل (۷): شار آب عبوری از غشاهای نانوکامپوزیت

شکل (۸) درصد دفع فلز سنگین کبالت با غشاهای نانوکامپوزیت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که درصد دفع کبالت با غشاهای نانوکامپوزیت با افزودن درصدهای وزنی متفاوت نانوسلولز از غشای خالص (بدون افزودن نانوسلولز) بیشتر است. همانگونه که مشاهده می‌گردد با افزودن نانوسلولز ۰/۰۱ درصد وزنی به غشای نانوکامپوزیت نسبت به درصدهای وزنی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد دفع کبالت در سطح بالاتری قرار دارد. می‌توان دلیل افزایش دفع کبالت با غشاهای اصلاح شده با نانوسلولز را مرتبط با افزایش ذرات نانوسلولز در سطح غشاهای نانوکامپوزیت دانست که باعث کاهش حفرات غشا می‌شود و مانع عبور کبالت می‌گردد و لذا دفع کبالت نسبت به غشای خالص (بدون افزودن نانوسلولز) افزایش می‌یابد. کمترین و بیشترین مقدار دفع کبالت از غشاهای نانوکامپوزیت به ترتیب مربوط به غشا خالص با مقدار ۹۰/۶۹ درصد و غشا با افزودن ۰/۰۱ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار ۹۸/۳۸ درصد بدست آمد که میزان ۸/۴۷ درصد افزایش درصد دفع کبالت نسبت به غشا خالص را داریم.



شکل (۸): درصد دفع کبالت با غشاهای نانوکامپوزیت

۴- نتیجه گیری

- با اضافه کردن نانوسلولز به محلول آلی در زیر لایه غشای نانوکامپوزیت، حفرهای درشت به ساختار اسفنجی شکل تغییر می‌کنند. این پدیده موجب کاهش تعداد حفرات درشت در غشای نانوکامپوزیت می‌شود.
- با افزودن نانوسلولز به غشاهای نانوکامپوزیت، زاویه تماس سطح غشا با آب کاهش یافته است. کاهش زاویه تماس آب به معنی افزایش آبدوستی غشای نانوکامپوزیت می‌باشد. دلیل افزایش آبدوستی غشای نانوکامپوزیت وجود ذرات آبدوست نانوسلولز در سطح فوقانی و ساختار غشا می‌باشد.

- شار آب عبوری از غشاهای نانوکامپوزیت با افزودن درصدهای وزنی متفاوت نانوسلولز از غشای خالص (بدون افزودن نانوسلولز) بیشتر است. کمترین و بیشترین مقدار شار آب عبوری به ترتیب مربوط به غشا خالص با مقدار $8/69 \text{ L/m}^2.\text{hr}$ و غشا با افزودن $0/05$ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار $17/08 \text{ L/m}^2.\text{hr}$ بدست آمد که میزان $77/39$ درصد افزایش شار آب عبوری نسبت به غشا خالص را داریم.

- با افزودن نانوسلولز $0/05$ درصد وزنی به غشای نانوکامپوزیت نسبت به درصدهای وزنی $0/01$ و $0/1$ درصد دفع کبالت در سطح بالاتری قرار دارد. کمترین و بیشترین مقدار دفع کبالت از غشاهای نانوکامپوزیت به ترتیب مربوط به غشا خالص با مقدار $90/69$ درصد و غشا با افزودن $0/01$ درصد وزنی نانوسلولز با مقدار $98/38$ درصد بدست آمد که میزان $8/47$ درصد افزایش درصد دفع کبالت نسبت به غشا خالص را داریم.

منابع

- [1] Jain, C., Ali, I., (2000). Arsenic: Occurrence, Toxicity and Speciation Techniques, Water research, 34(17): 4304-4312.
- [2] Ahalya, N., (2003). Biosorption of Heavy Metals, Reserch Journal of Chemical Environmet, 7(4): 71-79.
- [3] Nthumbi, R., (2017). Electrospun and Functionalized PVDF/PAN Composite for the Removal of Trace Metals in Contaminated Water, Physics and Chemistry of the Earth, 100: 225-235.
- [4] Shafaei, A., (2007). Equilibrium Studies of the Sorption of Hg (II) Ions Onto Chitosan, Chemical Engineering Journal, 133(1-3): 311-316.
- [5] Seader, J., Henley, E., (2006). Enhanced Distillation and Supercritical Extraction, Separation Process Principles (2nd ed.), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- [6] Wang, J., Chen, C., (2009). Biosorbents for Heavy Metals Removal and their Future, Biotechnology advances, 27(2): 195-226.
- [7] Cardew, P.T., (2007). Membrane Processes: A Technology Guide, Royal society of chemistry.
- [8] Hilal, N., (2004). A Comprehensive Review of Nanofiltration Membranes: Treatment, Pretreatment, Modelling, and Atomic Force Microscopy, Desalination, 170(3): 281-308.
- [9] Van der Bruggen, B., (2008). Drawbacks of Applying Nanofiltration and How to Avoid them: A Review, Separation and Purification Technology, 63(2): 251-263.
- [10] Schäfer, A.I., (2005). Nanofiltration: principles and applications, Elsevier.

بررسی انواع روش‌های برداشت حرارت در راکتورهای آب جوشان و تأثیر مواد پرتو زای هسته‌ای بر محیط زیست

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۳۰

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

علی اشرف باقری^{۱*}، سید مصطفی محمودی باغسیاه^۲،
حدیث سلطانی نژاد^۳، ندا زارعی^۴، سجاد باقری^۵

چکیده

بررسی ایمنی راکتورهای هسته‌ای در طی حوادث یکی از مهم‌ترین شاخص‌های موجود در مهندسی هسته‌ای می‌باشد. در چند دهه اخیر مطالعات زیادی در این زمینه بر روی انواع مختلفی از راکتورها انجام شده است؛ اما بررسی راکتورهای آب جوشان در طی حوادث کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در این کار حادثه از دست رفتن آب خنک‌کننده و انواع روش‌های برداشت حرارت از قلب راکتورهای آب جوشان بررسی شد. به‌طورمعمول در تمامی راکتورهای آب جوشان چهار روش برداشت حرارت وجود دارد که در این مقاله هر یک از این روش‌ها موردبررسی قرار گرفته است و بعد از تحلیل نتایج بهترین روش برداشت حرارت در طی حادثه از دست دادن آب خنک‌کننده ارائه می‌گردد. همچنین سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای دارای ایزوتوپ اورانیوم یا پلوتونیوم می‌باشد و در صورت بروز حادثه، عناصر پرتوزا وارد محیط‌زیست می‌شوند که برای بدن انسان بسیار مضر هستند. لذا بررسی انواع روش‌های برداشت حرارت برای جلوگیری از وقوع حوادث هسته‌ای و عدم انتشار مواد پرتو زای هسته‌ای برای جلوگیری از آسیب به انسان بسیار حائز اهمیت است.

واژگان کلیدی: راکتورهای آب جوشان، آب خنک‌کننده، برداشت حرارت، مواد پرتوزا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان (نویسنده مسئول)

aliashrafbaghri1371@gmail.com

۲- دانشجوی دکترای مهندسی هسته ای دانشگاه امیرکبیر تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان

۵- دانشجوی دکترای عمومی، رشته پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایلام

۱- مقدمه

راکتورهای آب جوشان از نوع راکتورهای آب سبک می‌باشند. از آنجایی که سیال درون این راکتورها مستقیماً به بخار تبدیل می‌گردد، بنابراین نیازی به استفاده از مبدل بخار در این راکتورها نمی‌باشد که باعث کاهش هزینه‌ی اقتصادی در مقابل دیگر راکتورهای آب سبک می‌گردد. با توجه به تولید مستقیم بخار در قلب راکتور، از این‌رو در بالای قلب فیلترهایی برای جداسازی آب از بخار تعبیه شده است که پس از فرایند فیلتراسیون، بخار خشک به توربین می‌رود و تولید قدرت می‌کند. در راکتورهای آب جوشان سیال ورودی به قلب در حالت SUBCOOLED می‌باشد و پس از عبور از بین میله‌های سوخت، سیال شروع به جوشش کرده و به صورت دوفازی می‌گردد. با توجه به دانسیته بیشتر آب در پایین قلب، میله‌های کنترل بر خلاف راکتورهای آب تحت فشار از پایین وارد قلب شده و وظیفه کنترل راکتور را انجام می‌دهند. به راکتورهای آب جوشان راکتورهای کانالی نیز می‌گویند یعنی هر بسته سوخت توسط یک کانال احاطه شده است. این کانال‌ها باعث می‌شوند بسته‌های سوخت مجاور هیچ ارتباط هیدرولیکی با یکدیگر نداشته باشند و در نتیجه جریان‌های عرضی بین کانال‌ها از بین می‌رود. در حوادث راکتورهای هسته‌ای آزاد شدن مواد پرتوزای هسته‌ای ناشی از منابع سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای، ایزوتوپ‌های اورانیوم یا پلوتونیوم هستند که تحت شکافت هسته‌ای قرار گرفته و با تولید انرژی زیاد سبب گرم شدن آب و به راه افتادن توربین‌های مولد برق می‌گردند. علاوه بر تولید گرما، شکافت هسته‌ای، فرآورده‌های پرتوزای دیگری نیز تولید مینماید که برای سلامت انسان بسیار مضر هستند. از کار افتادن ناگهانی سیستم خنک‌کننده‌ی نیروگاه‌های هسته‌ای و ایجاد حرارت زیاد راکتور، سبب ذوب شدن قلب راکتور و میله‌های سوخت می‌شود که نتیجه‌ی آن پخش شدن مواد پرتوزا و به وجود آمدن فاجعه‌ی انسانی و خطرات انسانی و زیست محیطی می‌باشد.

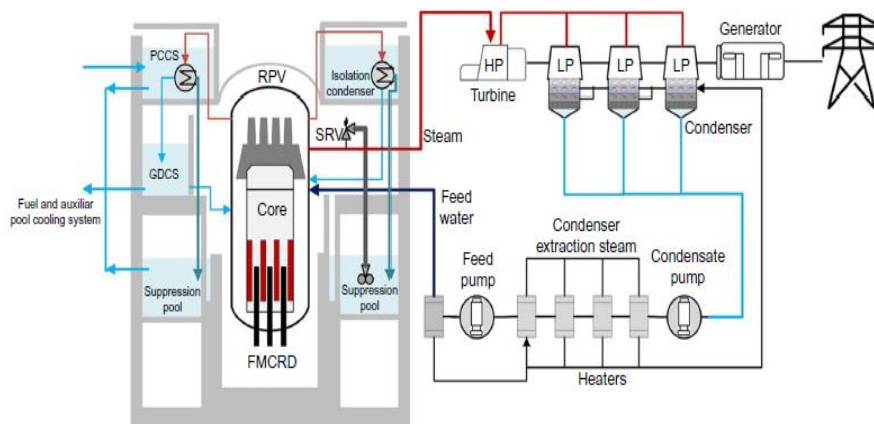
۲- تاریخچه

در طی پژوهشی تاکاشی به بررسی زمین لرزه و سونامی در طی حادثه فوکوشیما و در پی از دست رفتن برق نیروگاه هسته‌ای پرداخت که به این نتیجه رسید احتمال از دست دادن توان به دلیل احتمال خرابی همزمان دو دیزل ژنراتور بسیار کم است [1]. همچنین تاکاشی ساتو به بررسی ایمنی قسمت‌های مختلف راکتور آب جوشان پیشرفته پرداخت که به این نتیجه رسید این نوع راکتورها به دلیل خود ایمن بودن تا سه روز بعد از حادثه از دست دادن برق نیروگاه در شرایط ایمن کار می‌کنند [2]. سون و همکارانش در مقاله‌ای به بررسی شرایطی که هیچ روشی برای مقابله با حوادث جدید که از قبل تعریف نشده پرداختند، که آنها یک مدل MFM برای آنالیز حادثه طراحی کردند [3]. یانک و همکاران در تحقیقی به بررسی راکتور آب جوشان در شرایط از دست دادن آب خنک‌کننده پرداختند که آنها به این نتیجه رسیدند عملکرد سیستم‌های خنک‌کننده اضطراری در طی حادثه از دست دادن آب خنک‌کننده در راکتور آب جوشان زیر شرایط بحرانی و پایین‌تر از حد طراحی است و در نتیجه این راکتور قابلیت اطمینان خوبی دارد [4]. لیم و همکاران به بررسی جریان گردش طبیعی در راکتورهای آب جوشان نسل ۳ در طی حادثه از دست دادن آب خنک‌کننده پرداختند که آنها به این نتیجه رسیدند فشار در محفظه تحت فشار راکتور ۳۵ درصد پایین‌تر از حد ایمنی است [5]. هودجی و همکاران در طی پژوهشی به بررسی استراتژی‌های کاهش دهنده برای مدیریت حوادث در مرحله آخر راکتور آب جوشان یعنی وسل راکتور پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت تزریق بور برای جلوگیری از حساسیت هنگام بازیابی هسته راکتور آب جوشان لازم است [6]. حادثه‌ی اتمی چرنوبیل بدترین حادثه‌ی اتمی غیر نظامی تاریخ بشر می‌باشد که در ۲۶ آوریل سال ۱۹۸۶ میلادی در نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل اوکراین اتفاق افتاد که یک سال بعد منجر به مرگ ۲۸ نفر از افرادی که در معرض مواد پرتوزای هسته‌ای قرار گرفته بودند، گردید [7-8]. مواجهه با مواد پرتوزا هسته‌ای می‌تواند منجر به تأثیرات کوتاه و طولانی مدت در هر یک از ارگان‌ها و سیستم‌های بدن شود همچنین در سطح مولکولی پیامد اولیه پرتو و آسیب به DNA گردد، این آسیب ممکن است به طور کامل بهبود یافته یا منجر به اختلال عملکرد، سرطان‌زایی یا مرگ سلولی گردد. اثرات بالینی تشعشعات بستگی به متغیرهای متعددی از جمله نوع مواجهه (مواجهه‌ی کامل یا نسبی در مقابل آلودگی خارجی یا داخلی)، نوع نسج (نسج حساس به تشعشعات در مقابل نسج مقاوم به آن)، نوع تشعشع، گاما در مقابل بتا، عمق نفوذ تشعشعات در بدن (انرژی پایین در مقابل انرژی بالا)، دوز تام جذب شده و طول زمان جذب اشعه دارد. نوع تشعشعات و مقدار دوزی که در حوادث نیروگاه‌های هسته‌ای آزاد میشوند با آنچه که در بمباران اتمی دیده میشود به طور کامل متفاوت میباشد [9-10]

۳- راکتورهای BWR

در حال حاضر در همه نیروگاه‌های هسته‌ای از توربین بخار برای چرخاندن مولدهای برق استفاده می‌شود. ولی در نیروگاه هسته‌ای یک راکتور هسته‌ای به جای دیگ بخار نیروگاه با سوخت فسیلی قرار گرفته است. به جای تهیه کردن دائمی سوخت فسیلی و تزریق آن به کوره و سوختن آن برای تولید گرما، سوخت هسته‌ای گرمای لازم را برای تولید بخار ایجاد می‌کند. و این

سوخت تقریباً هر سال یکبار عوض می شود. گرمای تولید شده در سوخت هسته ای با سیالی به نام خنک کننده راکتور که در اطراف سوخت قرار دارد انتقال می یابد. دو نوع راکتور وجود دارد که سیال خنک کننده در آنها آب است نوع اول راکتور آب تحت فشار یا PWR نوع دوم راکتور آب جوشان یا BWR که در این پژوهش به بررسی راکتورهای آب جوشان می پردازیم. در راکتور BWR، گرمای حاصل از سوخت هسته ای صرف جوشاندن آب خنک کننده راکتور می شود. در این حالت بخار مستقیماً در راکتور تولید می گردد و این بخار برای چرخاندن توربین به کار می رود. در شکل (۱) نمایی از راکتور آب جوشان نشان داده شده است.



شکل (۱): شمای یک راکتور آب جوشان

۴- تاثیر مواد پرتوزای هسته ای بر بدن

مواجهه ی انسان با پرتوهای به دست آمده از حوادث نیروگاه های هسته ای به طور معمول به سه روش صورت میگیرد: ۱: تماس کامل یا نسبی بدن با تشعشع به علت نزدیکی کامل به منبع تشعشعات: ۲: آلودگی خارجی: ۳: آلودگی داخلی. تمام این سه نوع تماس ممکن است در فردی که در محل حادثه حضور داشته ایجاد شوند. تماس کامل یا نسبی بدن با تشعشعات زمانی اتفاق میافتد که تشعشع به دست آمده از منبع خارجی از راه سطحی به پوست یا عمیق، به ارگان های داخلی بدن برسد. نفوذ اشعه به بافت های عمقی بدن بستگی به نوع و انرژی اشعه دارد. اشعه ی رادیواکتیو از پرتوهای آلفا، بتا و گاما و تابش نوترونی تشکیل شده، که نوع آلفای آن بسیار خطرناک است ولی توان نفوذ اندکی دارد. این پرتو در بافت زنده تنها کمتر از ۱۰۰ میکرون نفوذ میکند اما برای آن ویرانگر میباشد. پرتو بتا بر حسب انرژی خود تنها مسافت کمی را در بافت ها طی نموده و میتواند منبع عمده تشعشع به پوست باشد. پرتو گاما با انرژی بالا قادر به عبور از دیوار و سنگ بوده، بنابراین در برخورد با بدن تا عمق زیاد نفوذ میکند و در مسیر حرکت خود سبب تخریب DNA و پیدایش انواع سرطانها، نقایص مادرزادی و انتقال این نقایص به نسلهای آینده میگردد. بیماری حاد ناشی از اشعه^۱ را میتوان به سه مرحله تقسیم نمود: مرحله ی مقدماتی^۲، مرحله نهفته^۳ و مرحله ی بیماری^۴. مواد رادیونوکلئید اصلی که پس از حادثه ی نیروگاه های هسته ای آزاد میشوند سزیم و ید رادیواکتیو میباشد. یکی از مشکل سازترین محصولات شکاف با عمر کوتاه متوسط سزیم است چون به راحتی حرکت کرده و در طبیعت به دلیل حلالیت زیاد متداول ترین ترکیبات شیمیایی سزیم در آب یعنی نمک ها، گسترش میابد.

۵- شبیه ساز راکتورهای BWR

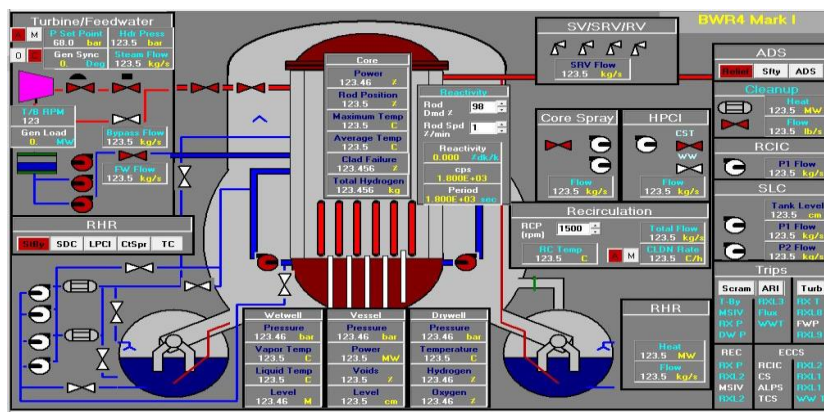
نرم افزار شبیه ساز PCTTRAN به منظور آموزش پرسنل نیروگاهی و دانشجویان طراحی گردیده است و از عملکرد قابل قبولی برخوردار می باشد شبیه ساز راکتورهای BWR برای تحلیل انواع گذارهای هسته ای و حادثه های هسته ای در قلب راکتور آب جوشان و محفظه راکتور آورده شده است این شبیه ساز همچنین عملکرد پمپ ها، میله های سوخت راکتور، محفظه راکتور آب جوشان، و سیستم های خنک کننده اضطراری قلب راکتور را در شرایط مختلف تجزیه و تحلیل می کند. شکل (۲) شبیه ساز داخل ساختمان راکتور می باشد و شکل (۳) شبیه ساز بیرون ساختمان راکتور را نشان می دهد.

1 Sickness Radiation Acute

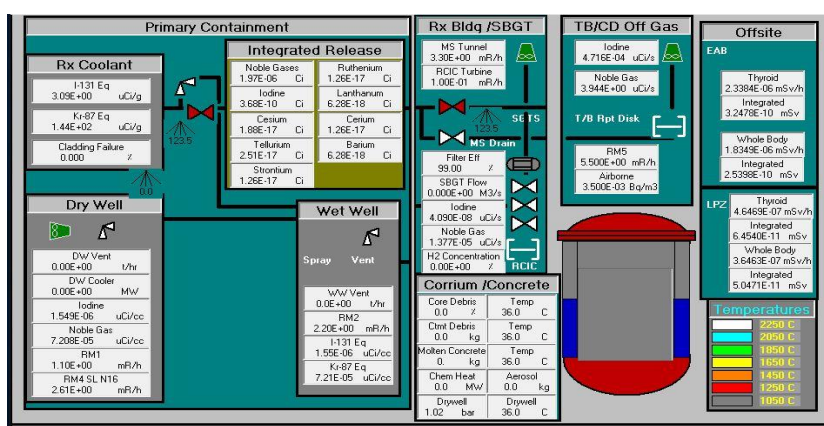
2 prodrome

3 latency

4 illness



شکل (۲): شبیه ساز داخل ساختمان راکتور



شکل (۳): شبیه ساز بیرون ساختمان راکتور

۶- انواع روش‌های برداشت حرارت راکتورهای آب جوشان

- ۱- روش SDC: از چهار شیر به صورت موازی و دو پمپ به صورت سری استفاده می‌کند که هر چهار شیر باز میشود تا آب از مخزن RHR را به دو پمپ بفرستد و سپس پمپ‌ها آب را به پایه سرد راکتور منتقل می‌کنند تا آب از بالای قلب به داخل آن تزریق شود.
- ۲- روش LPCI: سیستم تزریق مایع خنک کننده قلب در فشار کم که از چهار پمپ برای مکش آب از سیستم RHR استفاده می‌کند.
- ۳- روش CTSPR: از دو پمپ و دو شیر تشکیل شده است که خنک کننده سیستم RHR را فقط از طریق پایه برگشت قبل از رسیدن به پمپ به داخل راکتور تزریق می‌کند.
- ۴- روش TC: از دو پمپ و چهار شیر تشکیل شده است که آب را از دو طریق به داخل راکتور تزریق می‌کند یکبار بالای سطح قلب که مخلوط آب و بخار داریم یکبار در RISER که فقط بخار داریم.

۷- روش کار

در این مقاله با استفاده از نرم افزار شبیه ساز PCTTRAN روش‌های برداشت حرارت در طی حادثه از دست دادن آب خنک کننده برای راکتورهای آب جوشان مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای راکتور مورد نظر توسط نرم افزار PC-TRAN حادثه از دست رفتن آب خنک کننده را بعد از ۵ ثانیه اعمال کرده و تا ۲۰۰ ثانیه بعد از حادثه نتایج مربوط به دمای قرص سوخت و غلاف سوخت ارائه گردید. در این کار چهار روش برداشت حرارت در طی حادثه از دست دادن آب خنک کننده مورد بررسی قرار گرفت. و دمای قرص سوخت و غلاف سوخت در طی هر چهار روش برداشت حرارت گزارش شد.

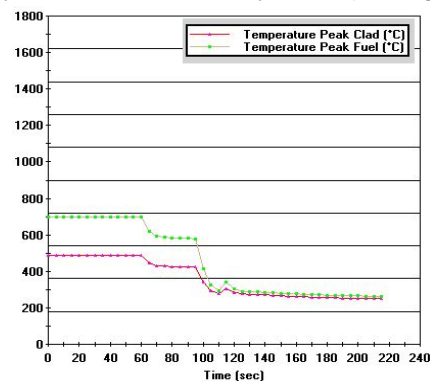
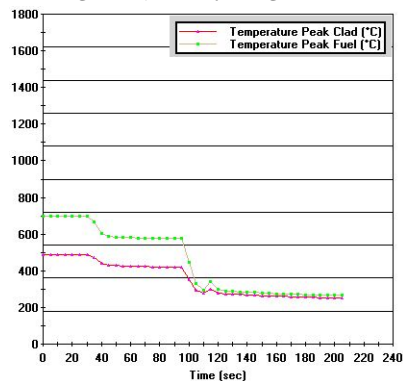
۸- بحث و تحلیل نتایج

۸-۱- روش SDC

نتایج این روش در نمودار (۱) نشان داده شده است. با شروع حادثه بعد از ۵ ثانیه دما ثابت است. در این روش بعد از ورود میله‌های کنترل دمای سوخت و غلاف در ثانیه ۶۰ به بعد افت می‌کند و در ثانیه ۱۳۰ دما در حدود ۲۵۰ درجه ثابت می‌ماند.

۸-۲- روش LPCI

نتایج این روش در نمودار (۲) گزارش شده است. در این روش در طی وقوع حادثه و بعد از ورود میله‌های کنترل تا ۴۰ ثانیه ابتدایی شرایط پایدار است و در ثانیه ۱۲۰ به بعد دما در حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد ثابت می‌ماند و شرایط پایدار می‌گردد.



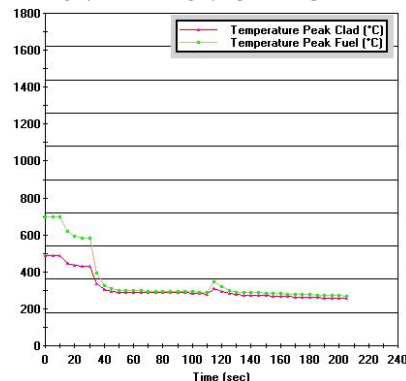
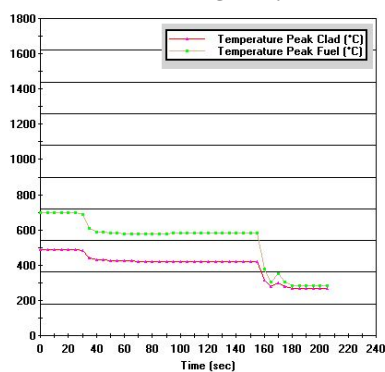
نمودار (۱): تغییرات دمای سوخت و غلاف در روش SDC نمودار (۲): تغییرات دمای سوخت و غلاف در روش LPCI

۸-۳- روش CTSPR

نتایج این روش در نمودار (۳) گزارش شده است. در این روش بعد از ورود میله‌های کنترل دمای سوخت و غلاف به سرعت کاهش پیدا کرده و برداشت حرارت به خوبی صورت می‌گیرد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است بعد از ۴۰ ثانیه دمای سوخت و غلاف به حالت پایدار می‌رسند.

۸-۴- روش TC

نتایج این روش در نمودار (۴) گزارش شده است. در این روش بعد از ورود میله‌های کنترل دمای سوخت و غلاف در ثانیه ۱۶۰ به بعد افت می‌کند. این روش نسبت به روش‌های قبلی از عملکرد ضعیف تری برخوردار می‌باشد.



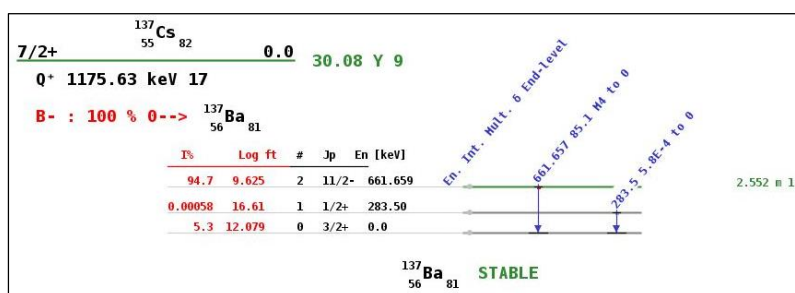
نمودار (۳): تغییرات دمای سوخت و غلاف در روش CTSPR نمودار (۴): تغییرات دمای سوخت و غلاف در روش TC

Live Chart یک نمودار تعاملی است که ساختار هسته‌ای ویژگی‌های فروپاشی همه نوکلیدهای ساخته شده را از طریق رابط گرافیکی نشان می‌دهد. شکل (۴) نمونه Live Chart گرفته شده برای سزیم است. افراد ممکن است به طور مستقیم از راه مواد رادیونوکلئید پراکنده در هوا و یا در صورت آلودگی آب و غذا با چنین موادی آلوده گردند.

Cumulative Fission Yield				
Total number of atoms produced over all time after one fission				
Nuclide	Parent	Thermal	Fast	14 MeV
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³² ₉₀ Th		6.2965E-02 2.9677E-03	6.2855E-02 9.9338E-03
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³³ ₉₂ U	6.2045E-02 2.1733E-03	6.4988E-02 3.1207E-03	4.9534E-02 4.2627E-03
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³⁵ ₉₂ U	6.2208E-02 6.9358E-04	5.8889E-02 9.5716E-04	5.5674E-02 1.3084E-02
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³⁷ ₉₃ Np	6.5115E-02 9.056E-03	6.2654E-02 2.324E-03	
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³⁸ ₉₂ U		6.0222E-02 1.519E-03	5.6169E-02 6.8E-03
¹³⁷ ₅₅ Cs	²³⁹ ₉₄ Pu	6.5881E-02 8.0262E-04	6.3518E-02 1.2123E-03	
¹³⁷ ₅₅ Cs	²⁴¹ ₉₅ Am	7.1777E-02 4.5239E-03	6.3746E-02 1.2877E-02	
¹³⁷ ₅₅ Cs	²⁴¹ ₉₄ Pu	6.2843E-02 1.3994E-03	6.3678E-02 1.7981E-03	

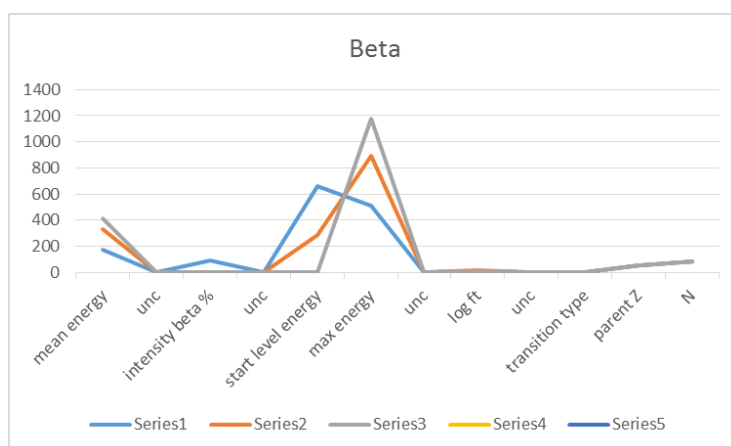
شکل(۴):تعداد کل اتم‌های تولیدی در هر زمان بعد از یک شکاف

سه نوع اصلی گسیل‌های مواد رادیواکتیو عبارت هستند از: پرتو آلفا، پرتو بتا و پرتو گاما. واپاشی ذرات آلفا در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد. ذره آلفا سنگین و دارای دو بار مثبت است. برد این ذرات کوتاه است و به سرعت جذب میشوند. اگر این ذرات از طریق تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن میشوند. سزیم با واپاشی بتا شکل (۵) به یک ایزومر اتمی شبه پایدار باریوم واپاشیده می‌شود.



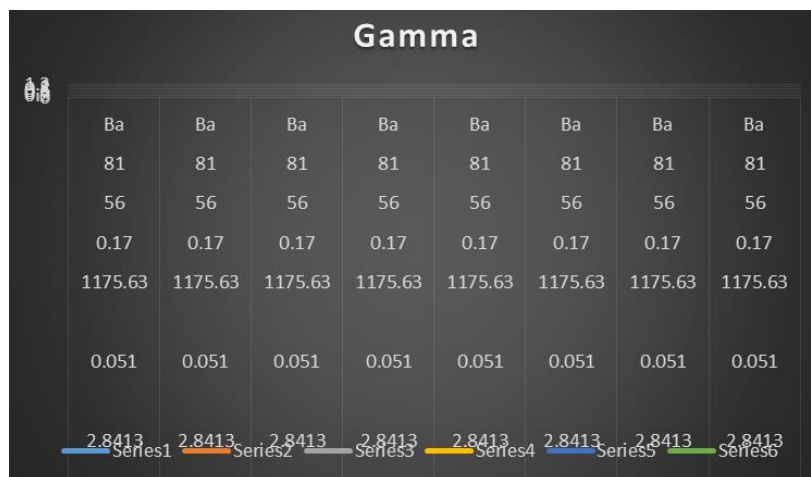
شکل (۵):واپاشی سزیم

واپاشی بتا از متداول‌ترین واپاشی در هسته‌هاست. شکل(۶) مشخصات واپاشی بتا را نشان می‌دهد. هسته جدید با گسیل الکترون یا پوزیترون به هسته جدید تبدیل می‌شود.



شکل (۶):مشخصات واپاشی بتا سزیم

اغلب هسته‌ها پس از گسیل ذره آلفا و بتا در حالت برانگیخته هستند و با گسیل پرتو گاما به حالت پایه میرسند. شکل(۷) مشخصات گاما سزیم را نشان می‌دهد.



شکل (۷): مشخصات پرتو گاماسزیم

از میان این سه پرتو، اثر ذرات آلفا (که در واقع یک اتم هلیوم است) کمترین اثر بر بدن و اثر پرتوهای گاما دارای بیشترین اثر بر بدن است. ضایعات هسته‌ای را در سه دسته ۱: سطح پایین ۲: فرا اورانیومی ۳: سطح بالا تقسیم بندی میکنند.

نتیجه گیری

در این تحقیق چهار روش برداشت حرارت در راکتورهای آب جوشان با استفاده از نرم افزار PCTRAN مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد روش CTSPR نسبت به روش‌های دیگر از عملکرد خوبی برای برداشت حرارت و جلوگیری از ذوب شدن سوخت و غلاف سوخت در قلب راکتور را دارا می‌باشد. همچنین در صورت بروز حوادث هسته‌ای در نیروگاه‌های هسته‌ای، نشت مواد پرتوزا در انفجار نیروگاه‌های هسته‌ای، باعث ایجاد حجم بالای ضایعات و صدمات می‌شود که می‌تواند اثرات زیان بار شدیدی را بر انسان‌ها، موجودات زنده و محیط زیست وارد کند. پس انتخاب بهترین روش برداشت حرارت در راکتورهای آب جوشان می‌تواند در حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست در زمان وقوع حادثه کمک کند. همچنین یکی از عناصر پرتوزای هسته‌ای که در راکتور در شرایط حوادث به بیرون نشت می‌کند تحلیل شد زیرا امکان بررسی بالینی تاثیر سزیم بر بدن انسان در شرایط عادی وجود ندارد لذا بررسی این عناصر و شناخت این عناصر در شرایط حوادث هسته‌ای بسیار با اهمیت است.

منابع

- [1] Discussions of Fukushima nuclear power plant accidents by a viewpoint of PSA.
- [2] Safety design philosophy of the ABWR for the next generation LWRs.
- [3] Song, Mengchu, and Akio Gofuku. "Planning of alternative countermeasures for a station blackout at a boiling water reactor using multilevel flow modeling." *Nuclear Engineering and Technology* 50.4 (2018): 542-552.
- [4] Yang, Jun, et al. "Performance analysis of passively safe BWR with experimental and numerical simulation." *19th International Conference on Nuclear Engineering*. American Society of Mechanic Engineer Makuhari, Japan, 2011.
- [5] Lim, J., et al. "Assessment of passive safety system performance under main steam line break accident." *Annals of Nuclear Energy* 64 (2014): 287-294.
- [6] Hodge, S. A., and M. Petek. *Assessment of two BWR accident management strategies*. No. CONF-911079--2. Oak Ridge National Lab., 1991.
- [7] Baverstock K, Egloof B, Pinchera A, Ruchti C, Williams D. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature* 1992; 359: 21-2. 2.
- [8] Williams E.D. Cancer after nuclear fallout: lessons from the Chernobyl accident. *Nat Rev Cancer* 2002; 2: 543-9.
- [9] International System of Radiological Protection (ICRP) Committees. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals (addendum 2 to ICRP publication 53). *Ann ICRP* 1998; 28: 1-126.
- [10] Health Physics Society, editor. *Radiation risk in perspective*. McLean, VA: Health Physics Society; 2010.

پژوهش‌های نوین مهندسی

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 ۵۹۸۰ ۲۰۶
www.NRES.ir