

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین مهندسی

ماهنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی
سال سوم، تیرماه ۱۳۹۷، شماره ۱۸

مقایسه عملکرد تاریخچه زمانی قاب‌های فولادی با
مهاربندهای زیپر در مقایسه با مهاربندهای شورون در
ساختمان‌های ۱۶ طبقه

احمد رئیسی دهکردی، محمدصادق رئیسی دهکردی، ابراهیم شریفی
تشنیزی

طراحی شناورهای کوچک و بهینه‌سازی طراحی بدنه شناور
برای دریا‌های بزرگ

احسان قاقیش پور

طراحی زیر لایه فوتونی مربعی و دایره‌ای شکل برای آنتن
میکرواستریپ

حبیب‌الله ناصری

بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی
شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده

استحصال روی از الکترولیت در گردش پالایشگاه مجتمع
مس سرچشمه به روش استخراج حلالی

سبحان سلطانی نژاد، امیر صراف، حسن هاشمی پور رفسنجانی

تعیین عمق غرقابی برای جلوگیری از گردابه سطح آزاد در
آبگیر افقی با استفاده از مدلسازی عددی

عرفان رضوی، حسن احمدی

بررسی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای
با استفاده از روش تحلیل عددی دینامیک سیالات

محاسباتی

ایمان میرزی، محمد افتخاری یزدی

بهکارگیری مخزن یخ در سیستم CCHP، منافع و
محدودیت‌ها

پوریا کریمی، فرید قدمی

پژوهش‌های نوین مهندسی

ماهنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال سوم، شماره ۴ (پیاپی: ۱۸)، تیرماه ۱۳۹۷

صاحب‌امتیاز و مدیرمسئول:
امیرحسین یوسفی
سردبیر: میلاد فتاحی
مدیر داخلی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
جناب آقای دکتر شهروز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک
سرکارخانم دکتر ساغر جارچی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر چنگیز دهقانیان، دانشگاه تهران
جناب آقای دکتر نعمت حسینی، دانشگاه شهید بهشتی
سرکارخانم دکتر راحله خادمیان، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر علی رحمانی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
سرکارخانم دکتر فائزه رحمانی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر قدرت الله رودینی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محیعلی رهدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر مرتضی زیودار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محمدحسین کاظمی، دانشگاه شاهد
جناب آقای دکتر علی فروغی، دانشگاه تبریز
جناب آقای دکتر علی لکی روحانی، دانشگاه زنجان
جناب آقای دکتر سیدحمید هاشمی، دانشگاه اراک

۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷

۰۲۶ ۳۲ ۷۲ ۴۷۸۷



۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴

۰۲۶ ۳۲ ۷۴ ۷۱ ۵۸

تهران: افسریه ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفت‌تیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف

فراخوان پذیرش مقاله

توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است. توسعه پایدار ایران اسلامی، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های علمی به ویژه در حوزه علوم مهندسی است. موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی با هدف معرفی پژوهش‌های علوم مهندسی و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی را منتشر می‌کند.

تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان علوم مهندسی، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.nres.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش نوین علوم مهندسی:

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

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	مقایسه عملکرد تاریخچه زمانی قاب‌های فولادی با مهاربندهای زیپر در مقایسه با مهاربندهای شورون در ساختمان‌های ۱۶ طبقه احمد رئیسی دهکردی، محمدصادق رئیسی دهکردی، ابراهیم شریفی تشنیزی
۱۷	طراحی شناورهای کوچک و بهینه‌سازی طراحی بدنه شناور برای دریاهای بزرگ احسان قاقیش پور
۳۱	طراحی زیر لایه فوتونی مربعی و دایره‌ای شکل برای آنتن میکرواستریپ حبیب الله ناصری
۳۷	بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده
۴۷	استحصال روی از الکترولیت در گردش پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه به روش استخراج حلالی سبحان سلطانی نژاد، امیر صراف، حسن هاشمی پور رفسنجانی
۵۳	تعیین عمق غرقابی برای جلوگیری از گردابه سطح آزاد در آبگیر افقی با استفاده از مدل‌سازی عددی عرفان رضوی، حسن احمدی
۶۳	بررسی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای با استفاده از روش تحلیل عددی دینامیک سیالات محاسباتی ایمان مبرز، محمد افتخاری یزدی
۷۱	به‌کارگیری مخزن یخ در سیستم CCHP، منافع و محدودیت‌ها پوریا کرمی، فرید قدمی

مقایسه عملکرد تاریخچه زمانی قاب‌های فولادی با مهاربندهای زیپر در مقایسه با مهاربندهای شورون در ساختمان‌های ۱۶ طبقه

احمد رئیسی دهکردی^۱، محمدصادق رئیسی دهکردی^۲، ابراهیم شریفی تشنیزی^۳

۱- کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان؛ Ahmad_rissy@yahoo.com

۲- کارشناسی ارشد مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی شریف؛ MM13691990@gmail.com

۳- دکترای ژئوتکنیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ Ebrahim_sharifi@yahoo.com

چکیده

در سال‌های اخیر به موازات پیشرفت علوم کامپیوتری روشهای استفاده از کامپیوتر برای حل مسائل مهندسی نیز بسیار گسترش یافته‌اند. گسترش روشهای عددی، منجر به مطرح شدن این روشها به عنوان ابزاری قوی در حل معادلات مهندسی گردید. الگوریتم تحلیل ماتریسی سازه‌ها توأم با روش اجزای محدود نیز از جمله استفاده‌های مناسب مهندسین سازه از کامپیوتر و علوم کامپیوتر می‌باشد. امروزه نرم افزارهای زیادی برای محاسبه، تحلیل و طراحی سازه‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به نرم‌افزار 3D-PERFORM اشاره نمود. به منظور انجام پایان‌نامه و رسیدن به اهداف مورد نظر، قاب‌های فولادی ۱۶ طبقه ابتدا بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران با استفاده از سیستم شورون طراحی شده و سپس در نرم‌افزار 3D-PERFORM تحت شتاب-نگاشت‌های چند زلزله دور از گسل و نزدیک به گسل (۳ رکورد دور و ۳ رکورد نزدیک) تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار داده شدند. پاسخ‌هایی همانند مقدار جابجایی نسبی طبقات و همچنین میزان جذب و استهلاک انرژی از این تحلیل استخراج شده‌اند. مجدداً همین قاب‌ها با افزودن یک عضو درختی در محل اتصال مهاربندها به تیر طبقه، به سیستم مهاربند زیبایی تبدیل شده و تحت همان شتاب‌نگاشت‌های قبلی به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحلیل شده‌اند. به طور کلی عملکرد سیستم مهاربندی زیپر بهتر از سیستم مهاربندی شورون است که با افزایش تعداد طبقات این بهبود عملکرد بیشتر نمایان می‌شود. در برخی موارد مخصوصاً در طبقات بالاتر مشاهده می‌شود که جابجایی مهاربند زیپر بیشتر از مهاربند شورون است که باید علت احتمالی این امر را در عملکرد اعضای زیپر جستجو نمود. به صورتی که اضافه کردن این اعضا به مهاربند شورون باعث می‌شود نیرو و بنابراین جابجایی در طبقات پایین تر تمرکز پیدا نکند و به طبقات بالاتر انتقال یابد در نتیجه در طبقات بالاتر افزایش جابجایی برای مهاربند نوع زیپر هستیم.

کلمات کلیدی: تاریخچه زمانی، قاب شورون، قاب زیپر

۱- مقدمه

معمولاً عملکرد مهاربندهای شورون توسط رفتار کمانشی اعضای مورب در فشار کنترل می‌شود. برای طراحی در برابر باد، رفتار کششی تنها مدنظر قرار گرفته و مقاومت فشاری این نوع مهاربندها نادیده گرفته می‌شود. برای طراحی در برابر زلزله که طراحی توسط جابجایی‌های جانبی چرخه‌ای بزرگ کنترل می‌شود و نیاز به اتلاف انرژی دارد، تناوب کمانش و تسلیم مهاربندها منجر به رفتار هیستریزس ضعیف، شکل‌گیری مکانیزم (طبقه نرم) و در نهایت موجب فروپاشی می‌شود [۱]. جایی که بار محوری

مهاربند کششی افزایش یافته و موجب تسلیم می‌شود. این مسئله سبب به وجود آمدن یک نیروی قائم نا متعادل در وسط تیر طبقه می‌گردد. به منظور جلوگیری از زوال بیش از پیش مقاومت جانبی قاب، بایستی تیر مقاومت کافی برای مقابله با این نیروی پس کمانشی قابل توجه بالقوه در ترکیب با بارهای ثقلی مربوط به خود داشته باشد که منجر به بدست آمدن تیرهای بسیار بزرگ می‌شود [۲]. بنابراین کاربرد این نوع قاب‌های مهاربندی شده از گذشته به عنوان یک سیستم مناسب در سطوح لرزه‌ای بالا مطرح نبوده است، مگر اینکه در طراحی، کمانش و تسلیم هر دو عضو مهاربندی با لاغری کم و تیرهای بزرگ جهت تحمل نیروهای عمودی نامتعادل ناشی از کمانش مهاربندها، کنترل شود. [۳]

بنابراین کاربرد این نوع قاب‌های مهاربندی‌ها هر دو عضو مورب تحت فشار و کشش متوالی قرار می‌گیرند، اما عضو فشاری (در یک لحظه) قبل از اینکه به تنش تسلیم خود برسد، پایداری خود را از دست می‌دهد. به عبارت دیگر بر خلاف نتایج حاصل از تحلیل الاستیک که نیروی فشار و کشش را در این مهاربندها برابر به دست می‌دهد، نیروها یکسان نخواهد بود و تیر محل اتصال اعضای مورب، تحت اثر نیروی بزرگی قرار خواهد گرفت که باید جهت مقابله با آن طراحی گردد. در هر صورت کمانش عضو فشاری و رفتار خمشی تیر محل اتصال اعضای مورب، باعث کاهش شکل‌پذیری مهاربند می‌گردد [۴]. برای خنثی کردن تمایل قاب‌هایی با مهاربندهای شورون برای تشکیل مکانیزم در طبقه اول اضافه کردن ستون‌های زیپی را بین محل قرارگیری مهاربندها در وسط تیرهای مهاربندی پیش‌بینی کردند [۵].

هدف استفاده از قاب‌های مهاربندی شورون با ستون‌های زیپی این است که تمام نقاط تقاطع مهاربند به تیر را به هم متصل کند و تمام مهاربندهای فشاری در دهانه‌های مهاربندی شده را به صورت هم‌زمان مجبور به کمانش کند و این سبب توزیع بهتر اتلاف انرژی در ارتفاع سازه می‌شود. برای مثال یک قاب مهاربندی شورون با ستون‌های زیپی را تحت بار جانبی شدید در نظر بگیرید. اگر مهاربند فشاری در طبقه اول کمانش کند، در صورتی که باقی مهاربندها الاستیک باقی بمانند، یک نیروی عمودی نامتعادل در وسط دهانه تیر سقف اول به وجود می‌آید. ستون زیپی منتقل‌شده و سبب افزایش نیروی فشاری در مهاربند فشاری طبقه دوم می‌شود و سرانجام سبب کمانش آن می‌شود. اگر این عمل ادامه پیدا کند نیروی نامتعادل عمودی همانند کمانش مهاربندها در سازه به طرف بالا توزیع می‌شود. کمانش هم‌زمان مهاربندها در ارتفاع سازه سبب توزیع یکنواخت‌تر خرابی خواهد شد که این یک نتیجه مطلوب است. با این وجود ناپایداری و تخریب می‌تواند به دلیل تشکیل کامل مکانیزم زیپی در کل ارتفاع به وجود آمده و سبب کاهش ظرفیت جانبی قاب بعد از تشکیل مکانیزم کامل می‌شود. به همین سبب در این تحقیق قصد بر آن است که با انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی بر روی قاب‌هایی با مهاربندهای زیپی و شورون عملکرد این دو مهاربند در ساختمان ۱۶ طبقه مورد مقایسه قرار گیرد.

۲- مهاربندهای سازه

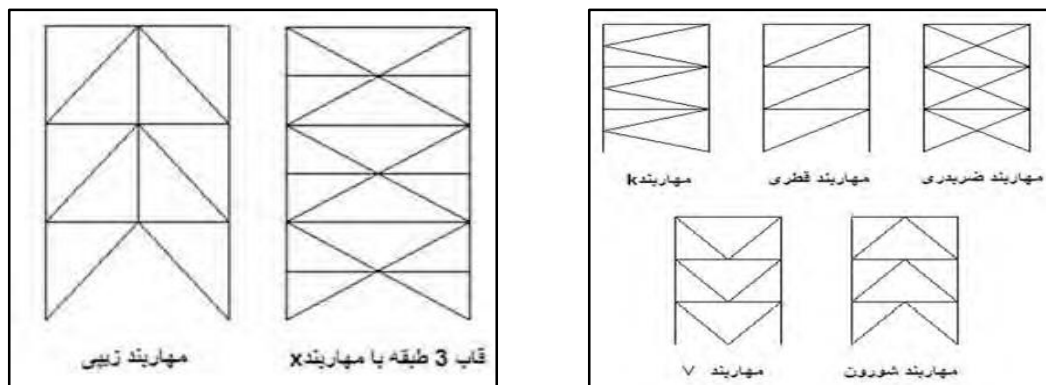
سیستم مهاربندی در ساختمان می‌تواند از یک مهار قطری ساده در یک دهانه تا یک سیستم مهاربندی متشکل از تعدادی اعضا در یک چشمه مهاربندی شده قاب متغیر باشد. انتخاب نوع مهاربندی تابع سختی مورد نیاز می‌باشد ولی نوع باز شو مورد نظر در قاب ساختمانی نیز روی آن مؤثر است. پیدا کردن یک سیستم مهاربندی با بازده خوب و اقتصادی برای ساختمان‌ها و یا فضای کافی برای الگوهای منطقی و متعارف مهاربندی با دهانه‌های چندتایی و بدون بر هم زدن پلان معماری همیشه ممکن نیست و گاه مهندس سازه را مجبور به استفاده از سیستم‌های مهاربندی با کارایی کمتر می‌نماید. به طور کلی می‌توان مهاربندها را به دو نوع تقسیم نمود. [۶]

مهاربندهای هم‌مرکز^۱: در این نوع قاب‌ها خط محور تیر، ستون و مهاربندی همدیگر را در یک نقطه مشترک قطع می‌نمایند. اصولاً این نوع قاب‌ها سختی کافی جهت رعایت محدودیت تغییر مکان نسبی مجاز طبقه بدون اضافه کردن هزینه به ساختمان را دارند. مهاربندی‌های هم‌مرکز در برابر نیروهای جانبی لرزه‌ای در هنگام بروز زلزله‌های خفیف، سختی و مقاومت

^۱ Centric Braced Frame

مناسبی دارند، ولی تحت بارهای لرزه‌ای شدید به علت وقوع پدیده کماتش مهارها و عدم شکل‌پذیری مناسب از لحاظ جذب انرژی، ضعیف می‌باشند و رفتار مناسبی ندارند. سیستم‌های مهاربند همگرا از نظر رفتار لرزه‌ای به دودسته ی معمولی و ویژه تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱). [۶]

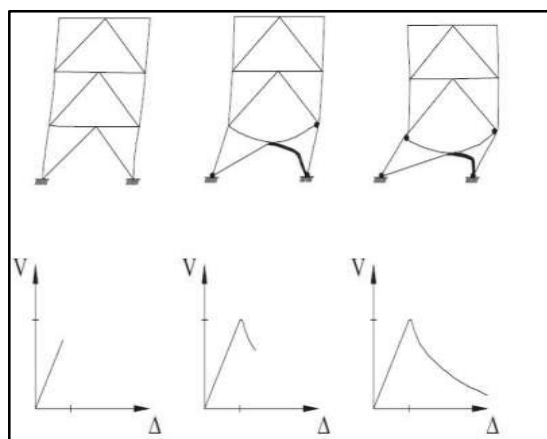
پیدایش مهاربندهای ویژه به اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ میلادی و در پی تحقیقات ژئول و همکاران ۱ باز می‌گردد. تفاوت عمده مهاربند ویژه نسبت به انواع معمولی، توانایی آن‌ها در جذب انرژی و تغییر شکل‌های غیرخطی بزرگ است (شکل ۲) [۶]



شکل ۱- مهاربندهای هم‌مرکز معمولی [۶]

شکل ۲- قاب مهاربندی هم‌مرکز ویژه [۷]

مطالعات گذشته نشان می‌دهد که سازه‌های قاب مهاربندی هم‌مرکز تمایل به تمرکز نیروی زلزله در یک طبقه خاص را دارند، بنابراین با طبقه خاص آسیب پذیر و ابتلا به طبقه ی نرم وجود دارد که سازه را به سمت فروپاشی جانبی دینامیکی می‌راند. قاب‌های شورون، یکی از انواع قاب‌های مهاربندی شده هم‌مرکز هستند. رفتار چنین سیستم‌هایی توسط کماتش مهاربندها کنترل می‌شود. قاب‌های همگرای ویژه نسبت به قاب‌های شورون از عملکرد لرزه‌ای بهتری برخوردار می‌باشند. انتظار می‌رود اگر پیکربندی زیبی به درستی طراحی شود، بر مشکلات رفتاری متعدد غلبه کرده و پاسخ لرزه‌ای سیستم مهاربندی شورون را بهبود بخشد (شکل ۳). [۷، ۸].



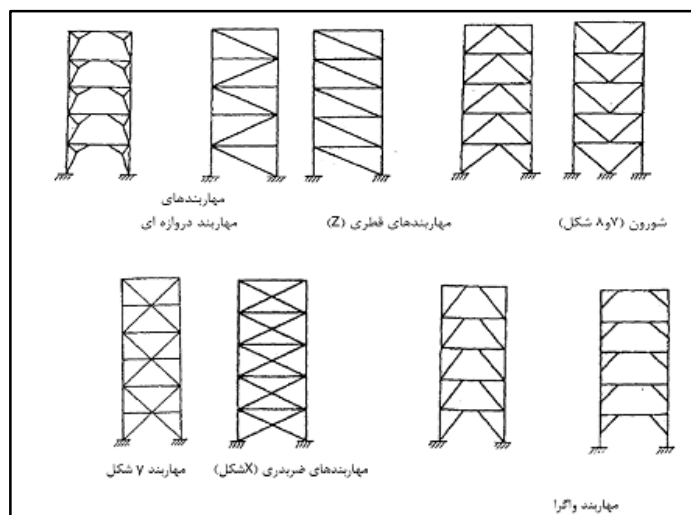
شکل ۳- قاب مهاربندی شورون و مکانیسم شکست آن [۸]

مهاربندهای خارج از مرکز^۲: قاب‌های مهاربندی شده خارج از مرکز از نظر مقاومت و سختی بهتر از مهاربندهای همگرا بوده و به‌طور گسترده ای استفاده می‌شوند. این نوع مهاربندی اغلب به تنهایی و یا به همراه قاب‌های خمشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این سیستم یک خروج از مرکزیت عمدی بین اتصالات تیر - ستون و تیر - مهاربند به کار گرفته می‌شود تا در یک تلاش، المان تیر خارج از مرکز (تیر پیوند)، به خاطر نیروی برشی یا لنگر خمشی و یا ترکیبی از هر دو جاری گردد. المان تیر

^۱ Geol et al.

^۲ Eccentric Braced Frame

خارج از مرکز می‌تواند مانند یک فیوز که مقدار زیادی انرژی زلزله را جذب می‌نماید، عمل کرده و نیز از کماتش مهاربندی جلوگیری نمایند. در نتیجه این سیستم پایداری خود را تحت تغییر شکل‌های بزرگ حفظ می‌کند. نمونه‌ای از انواع مهاربندی‌های همگرا و واگرا در شکل ۴ نشان داده شده است. [۶]



شکل ۴- انواع مختلف مهاربند در سازه [۶]

۳- مهاربند زیپر

به‌منظور کاهش تشکیل طبقه نرم و برای رسیدن به پاسخ لرزه‌ای غیرالاستیک پایدار در قاب‌های شورون، افزودن ستون زیپر در نقطه‌ی اتصال مهارها و تیردر سال ۱۹۹۸ توسط خطیب و همکاران^۱ پیشنهاد شد. هدف از اضافه کردن ستون زیپر را می‌توان کماتش همه‌ی مهاربندهای فشاری و تسلیم همه‌ی مهاربندهای کششی دانست به‌طوری که مقدار زیادی انرژی مستهلک شود. مقررات لرزه‌ای سازه‌های فولادی ساختمان آمریکا سیستم قاب مهاربند زیپری را به‌عنوان یک سیستم پیکربندی که عملکرد لرزه‌ای غیرالاستیک بایند شورون را بهبود بخشیده، پیشنهاد می‌کند. ساز و کار خرابی در قاب‌های مهاربندی شده زیپر معمولی که توسط خطیب پیشنهاد شده در شکل ۵ آمده است. [۵].

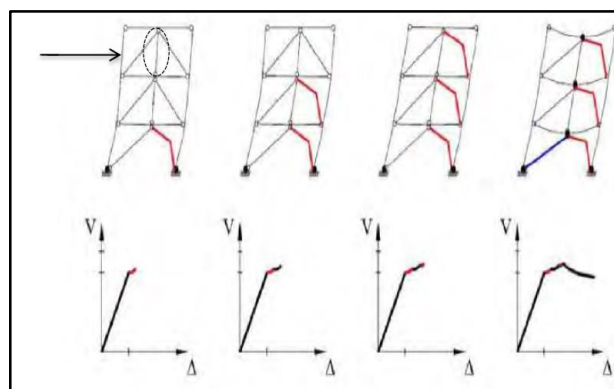
کمانش تقریباً هم‌زمان مهاربندها در کل ارتفاع سازه باعث توزیع یکنواخت خرابی و خسارت در سازه می‌شود اما زمانی که سازوکار زیپر در قاب تشکیل شود، ظرفیت جانبی قاب کاهش یافته و ناپایدار می‌شود، به‌منظور مقابله با این مشکل قاب‌های مهاربندی زیپر در سه حالت؛ ستون زیپر ضعیف^۲ (رفتار غیرالاستیک)، ستون زیپر قوی^۳ (رفتار الاستیک) و زیپر معلق^۴ بررسی می‌شود [۵]

^۱ Khatib. et al

^۲ columns poor Zipper

^۳ Columns strong Zipper

^۴ Zipper suspended



شکل ۵- قاب مهاربندی زیر مطابق پیشنهاد خطیب [۵]

مطالعه بر روی سیستم مهاربندی هم‌مرکز با ستون زیر، توسط خطیب و مهین^۱ در سال ۱۹۹۸ آغاز شد، در سال ۲۰۰۰ با معرفی سیستم قاب‌های مهاربندی هم‌مرکز با ستون زیر ضعیف توسط سابلی^۲ [۵] ادامه پیدا کرد، سیستم قاب‌های مهاربندی شده هم‌مرکز با ستون زیر قوی در سال ۲۰۰۳-۲۰۰۴ توسط ترمبلی و تریکا^۳ ترویج شد، [۹] و در نهایت در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۴ سیستم زیر معلق توسط یانگ و لئون^۴ توسعه یافت [۷، ۱] یانگ برای انجام تحقیقات خود یک مدل با مقیاس کوچک‌تر از قاب مهاربندی زیری ارائه داد. این مدل بعد از آزمایش شبه استاتیکی برای هر دو نوع تاریخچه تغییر مکانی بارافزون و چرخه‌ای برای تایید مسیر بارگذاری فرض شده در پروسه طراحی استفاده شده است. برای بررسی رفتار لرزهای قاب‌های مهاربندی زیری، دو قاب تحت تاریخچه تغییر مکانی خیلی متفاوت از یکدیگر در نظر گرفته شده است. تاریخچه تغییر مکانی اول، زلزله LA-22 (در حقیقت رکورد کوبه تاکاتوری ۱۹۹۵) با یک زلزله نزدیک به گسل است و دیگری لولو^۵ سال ۱۹۸۵، یک زمین لرزه با حوزه وسیع که تعداد زیادی از چرخه‌ها و زمان طولانی ارتعاش را به وجود می‌آورد، می‌باشد [۷، ۱].

یوریز و مهین^۶ ۲۰۰۸ و ۲۰۰۴ با ساخت نمونه‌هایی با اندازه واقعی قاب دوطبقه و یک دهانه با مهاربندهای شورون در آزمایشگاه و با اعمال بارهای چرخه‌ای به بررسی رفتار قاب مهاربندی پرداختند. [۱۰]. Tirca و Tremblay (۲۰۰۳) به بررسی رفتار و طراحی چندمنظوره مهاربندهای فولادی زیر برای کاهش عکس‌العمل طبقات نرم پرداخته است [۹]. Kim و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی طراحی ستونهای با مهاربندهای زیر در قابهای فولادی V شکل پرداخته است [۱۱]. Yang و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی شبیه سازی ترکیبی قابهای فولادی مهاربندهای زیر تحت زلزله پرداخته است [۱۲]. Chen (۲۰۱۱) به بررسی سیستمهای جدید مهاربندها در برابر زلزله در سازه های فولادی پرداخته است [۷]. Razavi و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی عملکرد لرزه‌ای مهاربندهای زیر پرداخته است [۱۳]. Adaros (۲۰۱۵) به بررسی فرمولبندی سه بعدی برای مشکلات جابجاییهای بزرگ در مهاربندهای زیر پرداخته است [۱۴]. Abdollahzadeh و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی ضریب اصلاح پاسخ مهاربندهای زیر پرداخته است [۱۵]. Amiri و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر لرزه‌ای جهت تاثیر حداقل آسیب در مهاربندهای زیر براساس تئوری تغییر شکل یکنواخت پرداخته است [۱۶]. Ozcelik و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی مقایسه مهاربندهای شورون و زیر در قابهای فولادی پرداخته است [۱۷].

^۱ Khatib & Mahin

^۲ Sabli

^۳ Trembeli & Terika

^۴ Yang & Leon

^۵ Lolleo

^۶ Yuriuos & Mahin

۴- مواد و روش‌ها

در روش طراحی براساس عملکرد، برای تعیین عملکرد و ارزیابی سازه و اجزای آن نیازمند تعیین ظرفیت و نیاز لرزه ای سازه هستیم. برای دستیابی به این هدف باید از روش های تحلیلی استفاده کنیم که بتوانند رفتار سازه و اجزای آن و همچنین حرکات ناشی از زمین لرزه را به خوبی مدل کنند. روش‌های تحلیلی که پیشنهاد شده‌اند به طور کلی به دو دسته خطی و غیرخطی که هر کدام به صورت استاتیکی یا دینامیکی انجام می گیرند تقسیم می شوند. هر کدام از روشهای تحلیلی نشان دهنده یک سطح جهت تحلیل سازه می باشند. هرچه از سطح بالاتری استفاده کنیم، مدل دقیقتری از عملکرد واقعی ساختمان در برابر زلزله را خواهیم دید، اما در این صورت تلاش بیشتری از جهت وقت گذاشتن برای جمع آوری داده‌های اولیه و انجام محاسبات مربوط لازم خواهد بود. [۲۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳]

در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی، پاسخ سازه با استفاده از روابط دینامیکی در گام‌های زمانی کوتاه محاسبه می‌شود. در این روش باید پاسخ مدل سازه تحت تحریک شتاب زمین بر اساس حداقل سه شتاب‌نگاشت محاسبه شود. چنانچه کمتر از هفت شتاب‌نگاشت برای تحلیل انتخاب شود باید بیشینه اثر آن‌ها برای کنترل تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی منظور شود، اگر از هفت شتاب‌نگاشت یا بیش‌تر استفاده شود می‌توان مقدار متوسط آن‌ها را برای کنترل تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی در نظر گرفت. اثر هم‌زمان مؤلفه‌های زلزله در صورت لزوم باید منظور شود. مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها باید بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران انجام شود. [۲۵]

در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی رفتار سازه در حوزه غیر ارتجاعی تحت شتاب‌نگاشت زلزله موردنظر بررسی می‌گردد. جهت حصول نتایج مطلوب لازم است مشخصات غیرخطی اجزاء از قبیل مقاومت، سختی، میزان شکل‌پذیری و همچنین رفتار چرخه‌ای کامل آن‌ها که در نرم‌افزار مدل‌سازی می‌گردد، با مشخصات رفتار واقعی آن‌ها مطابقت داشته باشد. این مشخصات معمولاً به‌وسیله مدل‌های ساخته‌شده در آزمایشگاه‌ها تعیین می‌شوند. حل تحلیلی پاسخ دینامیکی سازه‌ها در حوزه غیرخطی، حتی اگر تغییرات زمانی تابع تحریک، تابع ساده‌ای باشد، معمولاً امکان‌پذیر نیست. در نتیجه روش اصلی برای تحلیل سیستم‌های غیرخطی، روش‌های عددی است که از آن جمله می‌توان به دو روش تفاضل مرکزی^۱ و روش نیومارک^۲ اشاره نمود. امروزه این کار به عهده رایانه‌هاست و اساس تحلیل در آن‌ها به روش‌های عددی استوار است. در این روش در هر گام زمانی از تحلیل، سختی سازه اصلاح می‌گردد و پاسخ سازه در آن گام براساس سختی اصلاح شده محاسبه می‌گردد که ثبت پاسخ‌ها در گام‌های زمانی مربوطه منجر به تهیه تاریخچه پاسخ واقعی سازه خواهد شد. لازم به ذکر است که تحلیل سازه به روش تاریخچه زمانی غیرخطی تا حدودی مشکل و وقت‌گیر است، ضمن اینکه مدل‌سازی اعضای آن و از طرف دیگر بررسی نتایج تحلیل نیاز به تخصص کافی در این زمینه دارد. این روش معمولاً جهت کارهای تحقیقاتی و تحلیل سازه‌های خاص و حساس بکار می‌رود. به‌کارگیری روش‌های دینامیکی در تحلیل لرزه‌ای کلیه سازه‌ها مناسب و اختیاری است، اما براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای ساختمان‌های منظم با ارتفاع بیش از ۵۰ متر از تراز پایه و ساختمان‌های نامنظم بیش از ۵ طبقه و یا ارتفاع بیش از ۱۸ متر، اجباری است. [۲۶]

۵- مدل‌سازی

انتخاب مدل‌های موردنظر به‌گونه‌ای صورت پذیرفته که مطابقت کافی هم از لحاظ هندسه و ابعاد و هم از لحاظ کاربری و بارگذاری با قاب‌های ساختمانی متعارف که در حال حاضر در کشور اجرا می‌شوند، داشته باشد. همچنین تحلیل و طراحی مدل‌ها با توجه به ضوابط موجود در استانداردها و آیین‌نامه‌های ایران صورت پذیرفته است. طراحی اولیه قاب‌ها توسط نرم‌افزار

^۱ Central difference method

^۲ Newmark method

SAP2000 انجام شده است و به منظور ارزیابی دینامیکی از نرم افزار PERFORM-3D استفاده شده است. این نرم افزار شامل مؤلفه های غیرخطی برای تیرها، ستون ها، مهاربندها و دیوارهای برشی می باشد. امکان مدل کردن کاهش مقاومت المان ها نیز در این نرم افزار وجود دارد. همچنین قابلیت انجام تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی را داراست. در این مطالعه در کل دودسته سازه مورد بررسی قرار گرفته اند. دسته اول قاب های فولادی با مهاربندهای همگرای هشت و دسته دوم قاب های فولادی با مهاربندهای همگرای هشت بعلاوه عضو زیپر است. ویژگی ها و مشخصات هندسی و مصالح مورد استفاده جهت طراحی سازه ها به شرح زیر می باشد:

مشخصات هندسی:

- تعداد طبقات: ۱۶ طبقه می باشد.
- تعداد دهانه: ۳ دهانه می باشد.
- ارتفاع آکس تا آکس هر طبقه ۴۰۰ سانتی متر و طول دهانه قاب ها ۶۰۰ سانتی متر می باشد.
- اتصالات تکیه گاه به زمین و اتصالات تیرها به ستون ها و مهاربندها مفصلی فرض شده است.
- ستون ها از نوع IPB و تیرها از نوع IPE و مهاربندها از نوع دابل ناودانی (2UNP) هستند.
- در مورد بقیه ی قاب ها با تعداد طبقات بیشتر محل قرارگیری مهاربندها همانند قاب ۴ طبقه است.

مشخصات مصالح:

- المان های تیر و ستون دارای مشخصات فولاد St 37 با $F_u = 3700 \frac{kg}{cm^2}$ و $F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}$ هستند.
- مدول الاستیسیته فولاد برابر با $E = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}$ و ضریب پواسون $\nu = 0.3$ می باشد.
- فرض بر این است که درجه اعتبار نتایج حاصل از اطلاعات جمع آوری شده از قاب های موجود در حد متعارف است و بنابراین ضریب آگاهی برابر است با $K = 1$.

بارگذاری:

- بارگذاری ثقلی بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران (بارهای وارد بر ساختمان)، انجام گرفته است. قاب های مورد بررسی از ساختمان هایی با کاربری مسکونی و سقف تیرچه بلوک با بار مرده برابر $600 \frac{kg}{m^2}$ و بار زنده برابر $200 \frac{kg}{m^2}$ فرض شده است. عرض بارگیر قاب ها ۶ متر می باشد.
- بارگذاری زلزله جهت طراحی مدل های مورد بررسی در این مطالعه براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران، (آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، ویرایش سوم)، محاسبه شده است. لذا با توجه به این که سازه های مورد مطالعه الزامات مربوط به منظمی در پلان و ارتفاع را مطابق بند ۸-۱ ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، دارا می باشند، در محاسبه نیروی زلزله می توان از روش استاتیکی معادل بهره جست.
- فرض بر این است که قاب های مورد مطالعه در شهری با پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع شده اند. بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ نسبت شتاب مبنای طرح در زلزله سطح خطر ۱ برای شهری در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد برابر است با $A=0.35$ ؛ و با توجه به کاربری مسکونی ساختمان، ضریب اهمیت ساختمان $I=1$ در نظر گرفته شده است. ضریب رفتار اولیه جهت طراحی سازه ها با توجه به مقادیر موجود در آیین نامه ۲۸۰۰ انتخاب شده است. زمان تناوب اصلی ساختمان نیز مطابق بند ۳-۲، استاندارد ۲۸۰۰، از رابطه ۱ به دست می آید:

$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}}$$

- فرض بر این است که سازه های مورد بررسی بر روی خاک نوع II بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ واقع شده اند. با توجه به نوع خاک و محل احداث سازه ها پارامترهای مربوط به ضریب بازتاب ساختمان برابر است با:

$$\text{Soil} = \text{Type II and } A = 0.35 \rightarrow T_0 = 0.1 \quad T_s = 0.5 \quad S = 1.5$$

محاسبه برش پایه

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ مقدار برش پایه از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$V = C \times W$$

در این رابطه W عبارت است از تمام بار مرده سازه به علاوه ۲۰٪ بار زنده که این درصد براساس جدول شماره ۱، استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان‌های مسکونی تعیین شده است. V برش پایه و C ضریب برش پایه می‌باشد که از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد.

$$C = \frac{ABI}{R}$$

B در این رابطه ضریب بازتاب ساختمان بوده که با توجه به نوع خاک محل ساختمان و نیز زمان تناوب اصلی سازه از رابطه (۴) به دست می‌آید؛ و پارامترهای I ، A و R در بخش ۳-۳-۲ تعریف شده‌اند.

$$\begin{cases} B = 1 + S \left(\frac{T}{T_0} \right) & 0 \leq T \leq T_0 \\ B = S + 1 & T_0 \leq T \leq T_s \\ B = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right)^2 & T \geq T_s \end{cases}$$

در این رابطه T زمان تناوب اصلی ساختمان T_0, T_s, S و پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر و لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند و از جدول ۳ استاندارد ۲۸۰۰ به دست می‌آیند.

توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان

لازم است نیروی برش پایه به دست آمده از رابطه (۲-۳) در ارتفاع ساختمان به نحو مناسبی توزیع گردد و سپس طراحی اعضا در مقابل نیروی جانبی صورت گیرد. استاندارد ۲۸۰۰ در روش تحلیل استاتیکی معادل، توزیع نیروی خطی را برای برش در ارتفاع سازه در نظر می‌گیرد. این نوع توزیع برای سازه‌هایی که مود ارتعاش اول آن‌ها حاکم در تغییر شکل آن‌ها باشد دارای دقتی مناسب است. همچنین برای لحاظ کردن اثرات مودهای بالاتر خصوصاً در سازه‌های بلندتر و با زمان تناوب اصلی نوسان بزرگ‌تر از ۰/۷ ثانیه، نیرویی موسوم به نیروی شلاقی به صورت اضافی در تراز سقف طبقه آخر سازه قرار داده می‌شود. رابطه ارائه شده استاندارد ۲۸۰۰ برای توزیع نیرو در ارتفاع مطابق روابط (۵) و (۶) می‌باشد:

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

$$F_t = 0.07TV \leq 0.25V$$

که در این روابط:

F_i = نیروی جانبی در تراز طبقه i ام

W_i = وزن طبقه i ام شامل وزن سقف و سربار آن و نصف وزن دیوارها و ستون‌های واقع در بالا و پایین آن تراز

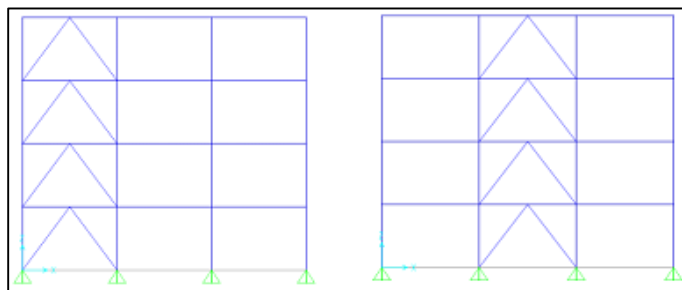
h_i = ارتفاع تراز طبقه i ام از تراز پایه

F_t = نیروی شلاقی در تراز طبقه آخر (بام) ساختمان

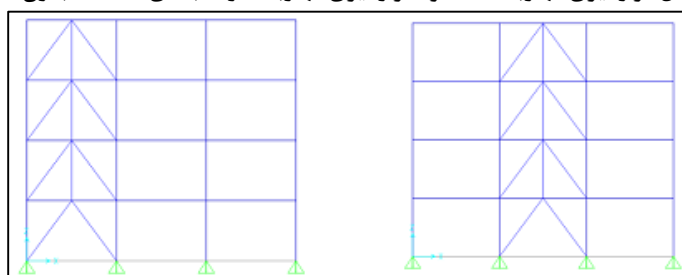
پس از توزیع مناسب نیروهای جانبی در ارتفاع ساختمان، می‌توان تحلیل سازه را آغاز کرده و پس از آن اعضای سازه‌ای را در برابر نیروهای موجود طراحی کرد.

بعد از تعیین هندسه و ابعاد قاب‌ها، سازه‌های مورد بررسی در این مطالعه مطابق فرضیات مطرح شده در قسمت‌های قبل در نرم‌افزار SAP 2000 به روش حالت حدی مدل‌سازی، تحلیل و طراحی شده‌اند. برای این منظور از آیین‌نامه طراحی

ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش سوم)، AISC 360-10 LRFD برای طراحی قاب‌های فولادی با مهاربندهای همگرا استفاده شده است. محل قرارگیری مهاربندها و نحوه مدلسازی انجام شده در شکل (۶ الف و ب) مشخص شده است.



شکل ۶-الف- محل قرارگیری مهاربندها (نحوه قرارگیری مهاربند در قاب‌های ۳ دهانه بدون عضو زیپر)



شکل ۶-ب- محل قرارگیری مهاربندها (نحوه قرارگیری مهاربند در قاب‌های ۳ دهانه با عضو زیپر)

به منظور استفاده از دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها و یا اعمال ضوابط و اصول آیین‌نامه‌های ATC40 و FEMA356 نیاز به نرم‌افزار مناسبی است که PERFORM-3D به طور خاص به این منظور تهیه و طراحی شده که یک نرم‌افزار بسیار قوی و قدرتمند و تخصصی در این زمینه است.

نرم‌افزار PERFORM-3D در موسسه Inc COMPUTER and Structure و در دانشگاه برکلی کالیفرنیا و زیر نظر پرفسور مریتوس^۱ و دکتر گراهام پاول^۲، تهیه شده است که برای مدرسان، دانشجویان دوره تحصیلات تکمیلی مهندسی عمران (گرایش سازه و زلزله)، طراحان، مهندسان و مشاوران ارزیابی و بهسازی سازه‌ها قابل استفاده است. این نرم‌افزار علاوه بر امکان اعمال ضوابط آیین‌نامه‌های فوق‌الشاره و نیز انواع پارامترهای مدلسازی، معیارهای پذیرش، تحلیل استاتیکی پوش آور^۳ و تحلیل‌های دینامیکی خطی و غیرخطی، می‌تواند تکنیک‌های جدید مانند استفاده از الیاف‌ها^۴، کاربرد میراگرها^۵ و جداسازهای لرزه‌ای^۶ را شبیه‌سازی نموده و در آنالیزها لحاظ نماید. از خروجی‌های نرم‌افزار می‌توان نسبت نیاز- ظرفیت، نمودارهای غیرخطی استاتیکی، نمایش‌های بالانس انرژی، اشکال مودی، هندسه تغییر شکل یافته و پاسخ‌های نیرو و تغییر مکان تاریخچه زمانی را نام برد.

برای مدل‌سازی مهاربندها در نرم‌افزار PERFORM 3D از المان میله ساده (Simple bar element) استفاده شده است. این المان جهت مدل کردن اعضای که فقط در مقابل نیروهای محوری مقاومت می‌کنند، به کار می‌رود. در این مدل هر المان

¹ Emeritus

² Graham H. Powell

³ Push over

⁴ Fibers

⁵ Damper

⁶ Seismic Isolation

به‌وسیله یک مؤلفه دونقطه را به هم وصل می‌کند. مؤلفه‌های پایه مختلفی برای این المان می‌توان استفاده کرد مثل مؤلفه الاستیک ساده، میله غیر الاستیک و... که در این پروژه از مؤلفه میله غیر الاستیک استفاده شده است. برای معرفی منحنی نیرو-تغییر شکل برای مفاصل استفاده شده در مهاربند فولادی از مقادیر موجود در جدول ۴-۵ نشریه شماره ۳۶۰ استفاده شده است. این مقادیر در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش در روش غیرخطی - اجزاء سازه فولادی

معیار پذیرش					پارامترهای مدل سازی			جزء/تلاش
تغییر شکل خمیری					نسبت تنش پس از ماند		تغییر شکل خمیری	
					C	b	A	
اعضای غیر اصلی		اعضای اصلی		کلیه اعضا				
۷Δ _T	۶Δ _T	۵Δ _T	۲Δ _T	۰/۲۵Δ _T	۱/۰	۷Δ _T	۵Δ _T	تیرها و ستون ها در کشش (به استثناء تیر و ستون های EBF)
مهاربندی فشاری (به استثناء مهاربندی EBF)								
۵/۵Δ _c	۵Δ _c	۵Δ _c	۲/۵Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۱	۹Δ _c	۰/۵Δ _c	الف: زوج نبشی کمانش داخل صفحه
۵Δ _c	۴Δ _c	۴Δ _c	۲Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۸Δ _c	۰/۵Δ _c	ب: زوج نبشی کمانش خارج صفحه
۵/۵Δ _c	۵Δ _c	۵Δ _c	۲/۵Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۸Δ _c	۰/۵Δ _c	پ: مقاطع Z یا I
۵/۵Δ _c	۵Δ _c	۵Δ _c	۲/۵Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۹Δ _c	۰/۵Δ _c	ت: زوج ناودانی کمانش داخل صفحه
۵Δ _c	۴Δ _c	۴Δ _c	۲Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۸Δ _c	۰/۵Δ _c	ث: زوج ناودانی کمانش خارج صفحه
۵Δ _c	۴Δ _c	۴Δ _c	۲Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۷Δ _c	۰/۵Δ _c	ج: مقاطع توخالی پر شده با بتن
ج: مقاطع قوطی نورد سرد								
۵Δ _c	۴Δ _c	۴Δ _c	۲Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۴	۷Δ _c	۰/۵Δ _c	$\frac{D}{T} \leq \frac{750}{\sqrt{F_y}}$:1
۲Δ _c	۱/۵Δ _c	۱/۵Δ _c	۱Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۲Δ _c	۰/۵Δ _c	$\frac{D}{T} \geq \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$:2
با استفاده از درون یابی خطی محاسبه می شود							$\frac{750}{\sqrt{f}} < d/t < \frac{1590}{\sqrt{f}}$:3	
ج: مقاطع لوله ای شکل								
۵/۵Δ _c	۲/۵Δ _c	۲Δ _c	۲Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۳	۹Δ _c	۰/۵Δ _c	$\frac{d}{t} \leq \frac{105 \times 10^3}{\sqrt{f_y}}$:1
۲Δ _c	۱/۵Δ _c	۱/۵Δ _c	۱Δ _c	۰/۲۵Δ _c	۰/۲	۲Δ _c	۰/۵Δ _c	$\frac{d}{t} \geq \frac{421 \times 10^3}{\sqrt{f_y}}$:2
با استفاده از درون یابی خطی محاسبه می شود							$105 \times 10^3 \sqrt{F_y} < \frac{D}{T} < \frac{421 \times 10^3}{\sqrt{F_y}}$	
۱۲Δ _T	۱۱Δ _T	۲Δ _T	۷Δ _T	۰/۲۵Δ _T	۰/۸	Δ _T ۱۲	۱۱Δ _T	مهاربند کششی (به استثناء مهاربندهای EBF)

جهت انجام تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی از سه رکورد نزدیک و سه رکورد زلزله دور از گسل واقعی استفاده شده است. نام و مشخصات رکوردها در جدول ۲ ارائه شده است. تمامی رکوردها به‌شتاب g هم‌پایه می‌شوند.

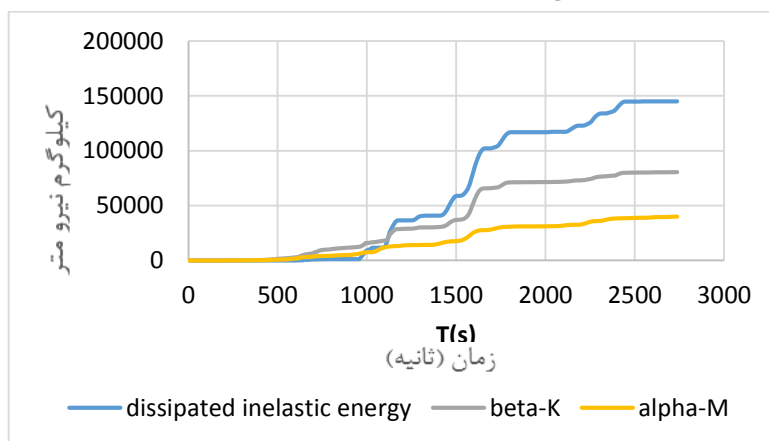
جدول ۲- مشخصات رکوردهای مورد استفاده در تحقیق

ضریب مقیاس	حداکثر شتاب	زلزله	گسل	ردیف
۱/۷۵	۰/۵۷	نرتریج ^۱	دور	۱
۱/۳۸	۰/۷۳	لندر ^۲	دور	۲
۱/۱۷	۰/۸۵	طبس ^۳	دور	۳
۱/۶۲	۰/۶۲	نرتریج	نزدیک	۴
۴/۳۶	۰/۲۳	ککالی ^۴	نزدیک	۵
۱۲/۹۳	۰/۰۸	منجیل ^۵	نزدیک	۶

۶- بحث و بررسی

میزان انرژی ورودی به سازه

انرژی ورودی به یک سازه تحت زلزله تابعی از زمان است و برای مقایسه عملکرد سیستم‌های مختلف در زلزله می‌توان انرژی ورودی در هر گام زمانی و یا انرژی ورودی تجمعی را با هم مقایسه کرد. در شکل ۷ نمونه‌هایی از انرژی ورودی به قاب‌ها طی زمان نشان داده شده است. عملکرد سیستم‌ها نسبت به انرژی ورودی در هر گام زمانی به دلیل رفتار غیرخطی آن‌ها، متغیر بودن ماهیت فرکانسی زلزله در هر لحظه و همچنین تغییر زمان تناوب سیستم‌ها در حین زلزله، متفاوت است و از طرفی انرژی ورودی تجمعی کاربرد بیشتری در طراحی سازه‌ها و مهندسی زلزله برخوردار است. بنابراین در این تحقیق از مفهوم انرژی ورودی تجمعی حداکثر به سازه‌ها برای ارزیابی رفتار آن‌ها استفاده شده است.



شکل ۷- انرژی جذب شده قاب ۱۶ طبقه شورون با مهاربندی در دهانه وسط تحت رکورد زلزله طبس

شکل ۸ میانگین انرژی ورودی به قاب‌های شورون و زیپر تحت رکوردهای حوزه‌ی دور و نزدیک گسل را نشان می‌دهد.

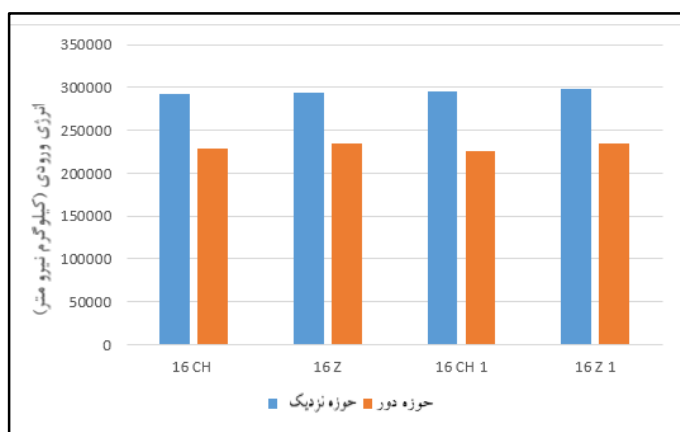
¹ Northridge

² Landers

³ Tabas

⁴ Kokaali

⁵ Manjil

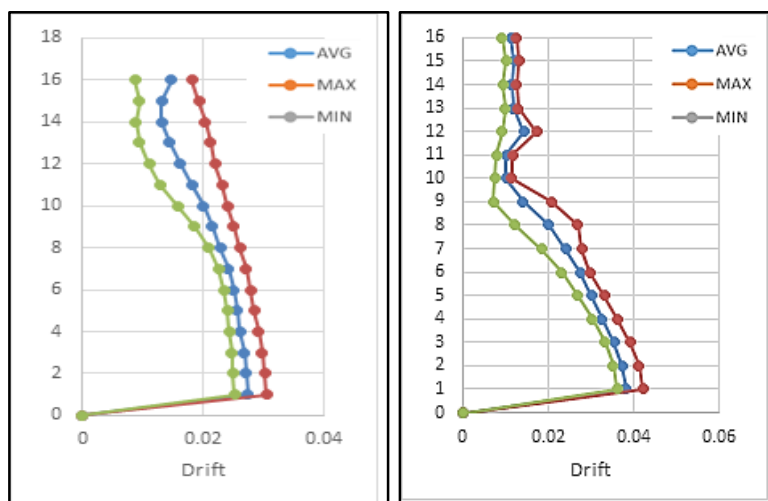


شکل ۸- مقایسه میانگین انرژی جذب شده توسط قاب‌های ۱۶ طبقه شورون و زیپر تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل

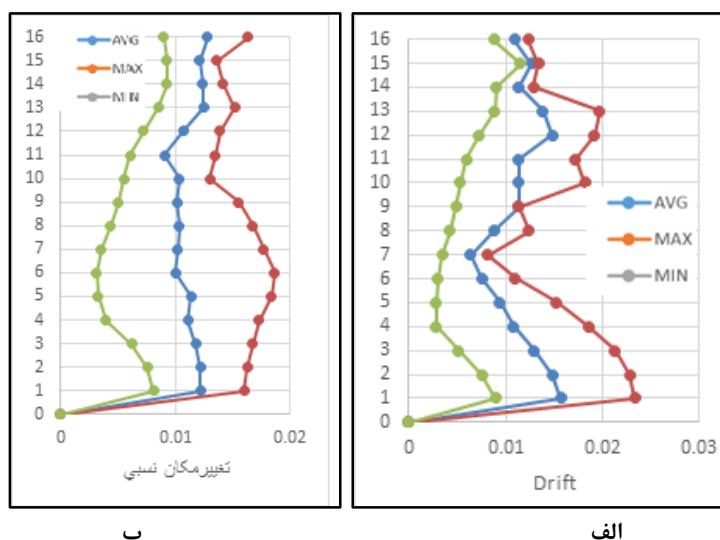
همان‌گونه از شکل‌ها دیده می‌شود که میانگین انرژی ورودی با افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش دوره تناوب قاب افزایش می‌یابد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت میزان انرژی ورودی به سیستم تحت رکوردهای حوزه نزدیک بیشتر از رکوردهای حوزه دور است. به‌ویژه برای ساختمان‌های بلندتر، این اختلاف مشهودتر است. میانگین انرژی ورودی به هر دو سیستم شورون و زیپر تفاوت اندکی دارد اما با افزایش ارتفاع اختلاف آن‌ها بیشتر می‌شود. علت اصلی احتمال اختلاف انرژی ورودی به قاب‌ها با دو سیستم مهاربندی متفاوت در ساز و کار رفتار دینامیکی غیرخطی قاب‌ها می‌باشد.

اثر زلزله‌ها بر میزان پراکندگی پاسخ‌ها

به‌منظور بررسی پراکندگی پاسخ قاب‌ها، برای دو نوع قاب مقدار حداقل، حداکثر و میانگین جابجایی نسبی طبقات تحت اثر ۳ رکورد زلزله حوزه نزدیک و ۳ رکورد زلزله حوزه دور گسل مورد مطالعه در اشکال زیر ۱۱ تا ۱۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۱- میزان پراکندگی پاسخ‌ها تحت زلزله‌های حوزه نزدیک در قاب شورون با مهاربندی دهانه وسط ۱۶ طبقه (الف) قاب شورون (ب) قاب زیپر

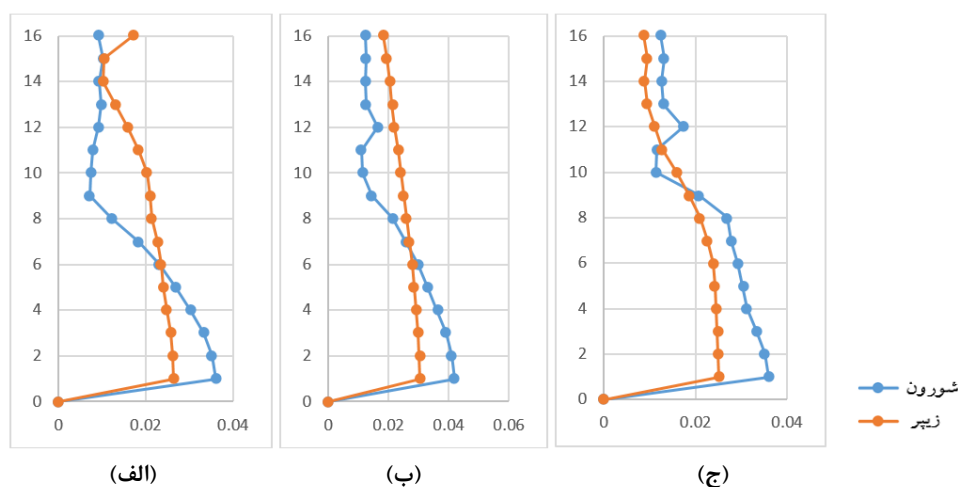


شکل ۱۳- میزان پراکندگی پاسخها تحت زلزله‌های حوزه دور در قاب شورون با مهاربندی دهانه وسط (۱۶ طبقه الف) قاب شورون (ب) قاب زیپر

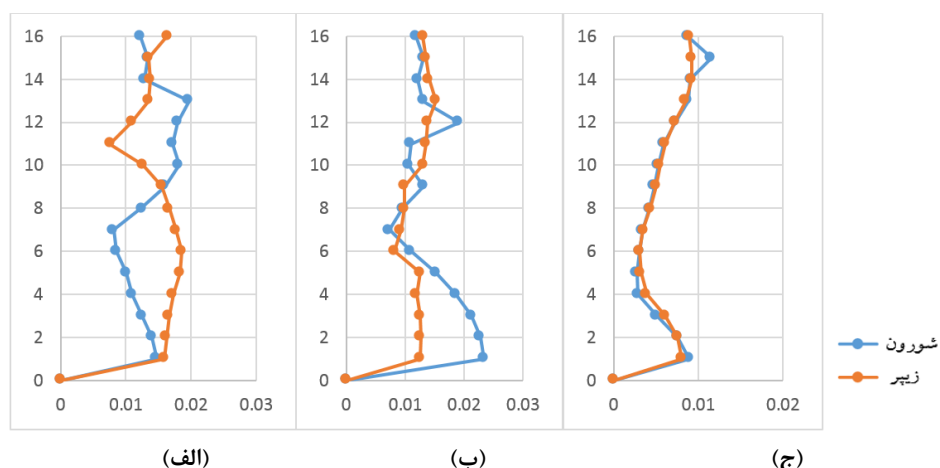
همان گونه که از شکل‌ها مشاهده می‌شود، عموماً طبقات پایین‌تر سیستم پراکندگی پاسخ بیشتری نسبت به طبقات بالاتر دارند. میزان پراکندگی با افزایش تعداد طبقات افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود در مهاربند شورون به علت تمرکز جابجایی در یکی از طبقات، پراکندگی نتایج هم در این طبقات بیشتر است در حالی که در مهاربند زیپر توزیع جابجایی در طبقات یکنواخت‌تر بوده و پراکندگی نتایج هم یکنواخت‌تر است. به‌طور کلی از این بخش از مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر پاسخ هر دو سیستم سازه‌ای شدیداً وابسته به نوع رکورد زلزله می‌باشد و از این رو لازم است در نحوه انتخاب رکوردها به نحوی که متناسب با شرایط ساختمانی باشد و همچنین تعداد آن‌ها باشد نهایت دقت را به عمل آورد.

جابجایی نسبی طبقات در قاب‌های شورون و زیپر

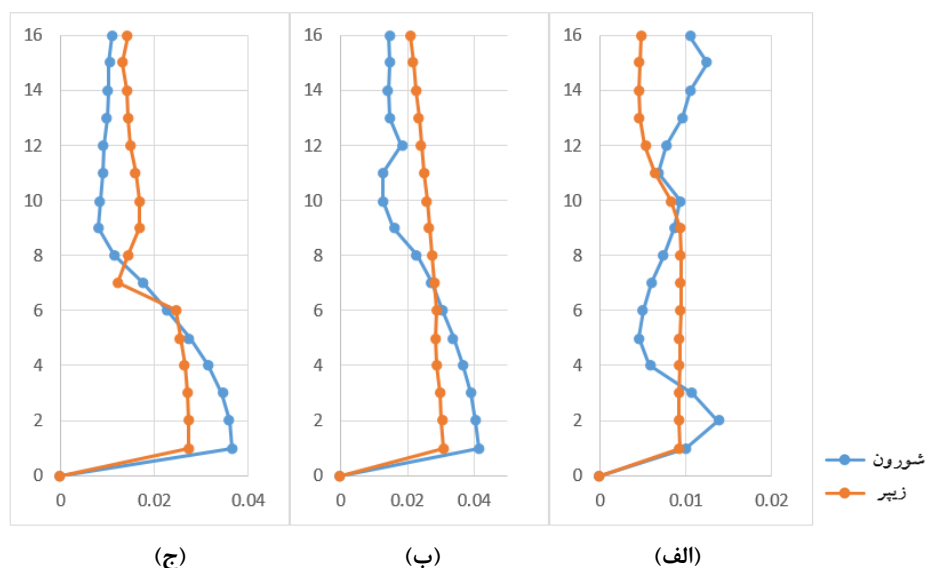
در این قسمت به منظور مقایسه دو سیستم مهاربندی، مقادیر جابجایی نسبی بین طبقات برای رکوردهای زلزله مورد مطالعه مقایسه شده‌اند. این مقادیر در شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ برای رکوردهای حوزه نزدیک و رکوردهای حوزه دور ارائه گشته‌اند (در تمامی شکل‌ها محور افقی معرف جابجایی نسبی بین طبقات است).



شکل ۱۵- مقایسه حداکثر جابجایی نسبی بین طبقات برای قاب ۱۶ طبقه با مهاربندی در دهانه وسط برای رکوردهای حوزه نزدیک (الف) نرتریج (ب) لندر ج) طیس



شکل ۱۶- مقایسه حداکثر جابجایی نسبی بین طبقات برای قاب ۱۶ طبقه با مهاربندی در دهانه وسط برای رکوردهای حوزه دور الف) نرتریج ب) کوکلی ج) منجیل



شکل ۱۷- مقایسه حداکثر جابجایی نسبی بین طبقات برای قاب ۱۶ طبقه با مهاربندی در دهانه اول برای رکوردهای حوزه نزدیک الف) نرتریج ب) لندر ج) طبس

همان‌طور که از اشکال مشاهده می‌شود جابجایی نسبی طبقات در سیستم مهاربندی زیپر به‌طور یکنواخت میان طبقات تقسیم می‌شود در حالی که در سیستم مهاربندی شورون جابجایی در تعداد محدودی از طبقات متمرکز شده و باعث می‌شود در این طبقات جابجایی به‌طور غیرمعمولی افزایش یابد. به‌طور کلی ملاحظه می‌شود عملکرد سیستم مهاربندی زیپر بهتر از سیستم مهاربندی شورون است که با افزایش تعداد طبقات این بهبود عملکرد بیشتر نمایان می‌شود. در برخی موارد مخصوصاً در طبقات بالاتر مشاهده می‌شود که جابجایی مهاربند زیپر بیشتر از مهاربند شورون است که باید علت احتمالی این امر را در عملکرد اعضای زیپر دید، به صورتی که اضافه کردن این اعضا به مهاربند شورون باعث می‌شود نیرو و در نتیجه جابجایی در طبقات پایین‌تر تمرکز پیدا نکند و به طبقات بالاتر انتقال یابد در نتیجه در طبقات بالاتر افزایش جابجایی برای مهاربند زیپر مشهود است.

۷- نتیجه گیری

- میانگین انرژی ورودی زلزله‌های انتخاب شده بر روی دو نوع سیستم مهاربندی شورون و زیپر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد؛ اما این تفاوت در مورد زلزله‌های حوزه دور و نزدیک وجود دارد به‌طوری‌که برای زلزله‌های حوزه نزدیک انرژی ورودی بیشتر است.
- عموماً طبقات پایین‌تر قاب‌های مهاربندی شده پراکندگی پاسخ بیشتری نسبت به طبقات بالاتر دارند. میزان پراکندگی با افزایش تعداد طبقات افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید که در مهاربند نوع شورون به علت تمرکز جابجایی در یکی از طبقات، پراکندگی نتایج هم در طبقات بیشتر است، در حالی که در مهاربند نوع زیپر، توزیع جابجایی در طبقات یکنواخت‌تر بوده و پراکندگی نتایج هم یکنواخت‌تر است.
- مقادیر پاسخ هر دو سیستم سازه‌ای مهاربندی شدیداً وابسته به نوع رکورد زلزله می‌باشد و از این رو لازم است در نحوه انتخاب رکوردها به‌نحوی که متناسب با شرایط ساختمانی و همچنین تعداد آن‌ها باشد نهایت دقت به عمل آید.
- جابجایی نسبی طبقات در سیستم مهاربندی نوع زیپر به‌طور یکنواخت میان طبقات تقسیم می‌شود در حالی که در سیستم مهاربندی نوع شورون جابجایی در تعداد محدودی از طبقات متمرکز شده و این امر باعث می‌شود در این طبقات جابجایی به‌طور غیرمعمول افزایش یابد.
- به‌طورکلی عملکرد سیستم مهاربندی نوع زیپر بهتر از سیستم مهاربندی نوع شورون است که با افزایش تعداد طبقات این بهبود عملکرد بیشتر نمایان می‌شود. در برخی موارد مخصوصاً در طبقات بالاتر، مشاهده گردید که جابجایی مهاربند نوع زیپر بیشتر از جابجایی مهاربند نوع شورون است که باید علت احتمالی این امر را در عملکرد اعضای زیپر جستجو نمود. به صورتی که اضافه کردن این اعضا به مهاربند شورون باعث می‌شود نیرو و در بنابراین جابجایی در طبقات پایین‌تر تمرکز پیدا نکند و به طبقات بالاتر انتقال یابد در نتیجه در طبقات بالاتر افزایش جابجایی برای مهاربند نوع زیپر هستیم.
- آرایش مهاربندها نیز در بهبود عملکرد مهاربند نوع زیپر مؤثر هست. به صورتی که میانگین بهبود عملکرد برای قاب‌ها مهاربندی در دهانه وسط در زلزله‌های حوزه نزدیک بیشتر از عملکرد مشابه در قاب‌های با مهاربندی اول شده در دهانه است. این در حالی است که در مورد زلزله‌های حوزه دور این موضوع برعکس است.

منابع

1. Yang, C., Leon, R.T., Desroches, R.: Design and behavior of zipper-braced frames. 30, 1092–1100 (2008). doi:10.1016/j.engstruct.2007.06.010
2. Yang, C., Asce, S.M., Leon, R.T., Desroches, R., Asce, M.: Pushover Response of a Braced Frame with Suspended Zipper Struts. 1619–1626 (2008)
3. Faculty, T.A., Yang, C., Fulfillment, I.P.: ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF CONCENTRICALLY BRACED FRAMES WITH ZIPPER STRUTS ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF. (2006)
4. Kim, J., Choi, H.: Response modification factors of chevron-braced frames. Eng. Struct. 27, 285–300 (2005). doi:10.1016/j.engstruct.2004.10.009
5. Khatib, I.F., Mahin, S.A., Pister, K.S.: Seismic behavior of concentrically braced steel frames. Earthquake Engineering Research Center, University of California (1988)
6. Goel, S.C.: Earthquake resistant design of ductile braced steel structures. Stab. ductility steel Struct. under Cycl. Load. 297–308 (1992)
7. Chen, L.: Innovative Bracing System for Earthquake Resistant Concentrically Braced Frame Structures, (2011)
8. Tsai, C.Y., Tsai, K.C., Lin, P.C., Ao, W.H., Roeder, C.W., Mahin, S.A., Lin, C.H., Yu, Y.J.,

- Wang, K.J., Wu, A.C., Chen, J.C., Lin, T.H.: Seismic design and hybrid tests of a full-scale three-story concentrically braced frame using in-plane buckling braces. *Earthq. Spectra*. 29, 1043–1067 (2013). doi:10.1193/1.4000165
9. Tremblay, R., Tirca, L.: Behavior and design of multi-story zipper concentrically braced steel frames for the mitigation of soft-story response. In: *Proc., 4th Int. Conf. on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA)*. pp. 471–477 (2003)
 10. Uriz, P.: Toward earthquake-resistant design of concentrically braced steel-frame structures. *Pacific Earthquake Engineering Research Center* (2008)
 11. Kim, J., Cho, C., Lee, K., Lee, C.: Design Of Zipper Column In Inverted V Braced Steel Frames. *14th World Conf. Earthq. Eng.* (2008)
 12. Yang, T.Y., Stojadinovic, B., Moehle, J.: Hybrid simulation of a zipper-braced steel frame under earthquake excitation. 95–113 (2009). doi:10.1002/eqe
 13. Razavi, M., Sheidaii, M.R.: Seismic performance of cable zipper-braced frames. *JCSR*. 74, 49–57 (2012). doi:10.1016/j.jcsr.2012.02.007
 14. Adaros, M.S.: Three Dimensional Formulation of Large Displacement Problems : The Zipper Frame. *Comput. Methods, Seism. Prot. Hybrid Test. Resil. Earthq. Eng. Geotech. Geol. Earthq. Eng.* 33, 57–75 (2015). doi:10.1007/978-3-319-06394-2
 15. Structures, C.: Response modification factor of suspended zipper braced frames. (2015). doi:10.12989/scs.2015.18.1.165
 16. Amiri, J.V., Amiri, M.E., Ganjavi, B.: Achievement of Minimum Seismic Damage for Zipper Braced Frames Based on Uniform Deformations Theory. 1, 43–60 (2016)
 17. Ozelik, Y., Saritas, A., Clayton, P.M.: Comparison of chevron and suspended-zipper braced steel frames. *JCSR*. 119, 169–175 (2016). doi:10.1016/j.jcsr.2015.12.019
 18. Rahimi, R., Banan, M.R., Banan, M.R.: Lateral Cyclic Behavior of Zipper Braced Frames- Considering Connection Details. 16, 11–21 (2016). doi:10.1007/s13296-016-3002-3
 19. Yu, H., Guo, Y., Zhang, Y., Wang, X.: Design and seismic response of modified suspended zipper braced frames. *JCSR*. 120, 8–24 (2016). doi:10.1016/j.jcsr.2015.12.025
 20. Bosco, M., Gherzi, A., Quaceci, G., Rossi, P.P.: The design of suspended zipper braced frames in the framework of eurocode 8. 1, (2017). doi:10.1002/cepa.374
 21. Eddin, D., Khalid, A., Haraj, A.: Comparative Response Assessment of Steel Frames With Different Bracing Systems Under Seismic Effect. *Structures*. 11, 229–242 (2017). doi:10.1016/j.istruc.2017.06.006
 22. Keykhosravi, A., Aghayari, R.: Evaluating Response Modification Factor (R) of Reinforced Concrete Frames with Chevron Brace Equipped with Steel Slit Damper. 21, 1417–1423 (2017). doi:10.1007/s12205-016-1055-7
 23. Patel, N., Nimodiya, P.P., Calvi, G.M., Asce-, T.S., Beigi, H.A., Earthquake, M.C., Dynamics-, E.S.: Seismic Response of GIB Brace and Other Brace System in Soft Storey Building – A Review. 3, 2–4 (2017)
 24. Krawinkler, H.: State of the art report on systems performance of steel moment frames subject to earthquake ground shaking. *Prep. SAC Jt. Ventur. Publ. by Fed. Emerg. Manag. Agency, FEMA-355 C*, Washington, DC. (2000)
 25. McCormick, J., DesRoches, R., Fugazza, D., Auricchio, F.: Seismic assessment of concentrically braced steel frames with shape memory alloy braces. *J. Struct. Eng.* 133, 862–870 (2007). doi:10.1061/(asce)0733-9445(2007)133:6(862)
 26. of Steel Construction, A.I.: Seismic provisions for structural steel buildings, (2002)

طراحی شناورهای کوچک و بهینه‌سازی طراحی بدنه شناور برای دریاهای بزرگ

احسان قاقیش پور

دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علی‌آباد کتول

چکیده

امروزه قدرت لازم برای به حرکت درآوردن کشتی‌ها عمدتاً به‌وسیله موتورهای دیزلی تأمین می‌گردد. از طرفی موتورهای دیزلی دریایی، به جهت کاربری‌های مختلف آن در صنایع دریایی از قبیل کشتی‌های تجاری، نفت‌کش‌ها، ناوها، زیردریایی‌ها و غیره، موردتوجه سازندگان می‌باشند. همچنین این موتورها به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به‌عنوان منبع تولید قدرت، حائز اهمیت بوده‌اند. امروزه با سخت‌تر شدن استانداردهای دریایی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت‌های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق به‌منظور بهبود عملکرد و توان که نگرش اصلی در طراحی این موتورها خصوصاً در جنگ‌ها و عملیات نظامی هست، برداشت. یکی از فناوری‌های نوین در جهت نیل به این اهداف، استفاده از سوخت‌های جایگزین و نیز افزودنی‌های مناسب نظیر نانو ذرات جامد به سوخت دیزل می‌باشد.

کلمات کلیدی: شناورهای دریایی؛ بدنه شناور؛ موتور شناور

۱- مقدمه

موتورهای دیزلی دریایی، به جهت کاربری‌های گسترده آن در صنایع دریایی از قبیل کشتی‌های تجاری، نفت‌کش‌ها، ناوها، زیردریایی‌ها و غیره، موردتوجه سازندگان می‌باشند. همچنین این موتورها به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به‌عنوان منبع تولید قدرت، مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه در پی تکامل فناوری کشتی‌سازی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت‌های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق برای کاهش مصرف سوخت، بهبود عملکرد و افزایش توان موتور برداشت. یکی از استراتژی‌های نوین در جهت نیل به این اهداف، استفاده از سوخت‌های جایگزین و نیز افزودنی‌های مناسب نیز نانو ذرات جامد به سوخت دیزل هست. نانو ذرات از ده‌ها یا صدها اتم یا مولکول و با اندازه‌ها و مورفولوژی‌های مختلف آمورف، کریستالی، کروی شکل، سوزنی شکل و غیره ساخته شده‌اند. اغلب نانو ذرات که به‌طور تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند، به شکل پودر خشک می‌باشند [1]

البته نانو ذرات ترکیب شده در یک محلول که به شکل سوسپانسیون یا خمیری شکل است نیز موردتوجه می‌باشد. این ذرات در شکل‌ها و مورفولوژی‌های گوناگونی یافت می‌شوند. ساختارهایی از کروی گرفته تا فلسی، ورقه‌ای، شاخه‌ای، لوله‌ای و میله‌ای را دارند. نانو افزودنی‌های سوخت دیزل به‌طور اساسی بر صرفه‌جویی سوخت و بازده موتور تأثیر دارند. همچنین این نانو افزودنی‌ها سبب افزایش عمر موتور، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش سروصدای موتور و نیز کاهش آلاینده‌های خروجی می‌گردند. [2]

در بین انواع حمل‌ونقل، قدیمی‌ترین نوع آن حمل بار و کالا و مال‌التجاره با کشتی یا قایق و وسایل مشابه و شناور هست ابتدا توجه ملل و مردمانی را که در سواحل دریاها و رودخانه‌های بزرگ و پر آب در جزایر و بندرها قرار داشتند جلب نمود که امروزه فقط اسمی از آن‌ها باقی‌مانده است و در کتب و سوابق تاریخی مطالبی درباره چگونگی حمل‌ونقل دیده می‌شود. به این جهت حمل‌ونقل دریایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و برای شرکت‌های حمل‌ونقل مسیر رفت‌و برگشت نیز تعیین گردیده است که به خطوط اصلی دریایی نیز مشهور می‌باشند. ماکسول از اولین کسانی بود که در سال ۱۸۸۱ با افزودن ذرات جامد کروی به سیالات، ترکیبی بسیار رقیق و با صرف‌نظر از برهم‌کنش ذرات با یکدیگر را بررسی کرد. نکته‌ای که باید موردتوجه قرارداد این است که معادله‌ای که ماکسول برای ضریب هدایت حرارتی سیال به دست آورد، فقط یک تخمین اولیه است و برای مخلوط‌هایی با غلظت حجمی کم ذرات کاربرد دارد [3]

اهمیت زیاد خلیج‌فارس از لحاظ اقتصادی و امنیتی سبب توجه مسئولین به گسترش ناوگان دریایی چه تجاری وجه نظامی برای حضور هرچه بیشتر در این منطقه شده است در راستای به وجود آمدن ضرورت‌های مختلف برای داخلی کردن ساخت شناورها و تجهیزات نظامی توسط سازندگان داخلی خوشبختانه امروز شاهد خودکفا شدن کشور در بخش‌های مختلف دریایی و دفاعی هستیم. متخصصین دریایی و نیروی دریایی فعالیت‌های زیادی برای افزایش راندمان شناورها، کاهش هزینه‌های توان مصرفی و بهبود کیفیت شناورهای دریایی انجام داده اند که اغلب به تغییرات در فرم بدنه و دستگاه‌های پیش برنده مرتبط بوده است، در این پژوهش‌ها هدف بررسی روش‌های بهینه‌سازی برای کاهش دراز منظر افزایش روش‌های طراحی با در نظر گرفتن اسیل هیدرودینامیک است. همچنین نیاز به یافتن روش‌هایی برای اطمینان و اعتبار دهی روش‌های بهینه‌سازی است که نیاز به تعریف و اختصاص بهینه‌سازی هیدرودینامیکی است.

از آنجایی که تمامی پارامترهای طراحی بر یکدیگر تأثیرگذار می‌باشند باید تمامی آن‌ها بررسی و کنترل شوند. در این راستا برای افزایش کیفیت و کاهش توان مصرفی شناورها نیز باید تمامی ویژگی‌ها و ابعاد مسئله را موردبررسی قرار داده و سپس به طراحی و پیاده‌سازی آن اقدام نماییم.

در مقاله‌ای [4] با عنوان طراحی چارچوب بهینه‌سازی مصرف انرژی در طراحی شناورهای دریایی، به مسئله کاهش سوخت در شناورهای می‌پردازد. در این مقاله آمده است، سازمان دریایی بین‌المللی اعلام کرده که همکاری تمامی سهامداران با توجه به ابزارهای کاهنده‌ی نشر گازهای گلخانه‌ای دریایی، باید توجه ویژه به این موضوع مبذول دارند و در طراحی از آن استفاده کنند. مطالب بیان شده در این پژوهش موجب پیشرفت در زمینه‌ی طراحی مناسب، دانش علمی و ابزارهای ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی برای شناورهای دریایی می‌گردد.

با افزودن نانو ذرات اکسید آلومینیوم (آلو مینا) به سوخت دیزل، به بررسی مشخصه‌های اسپری احتراق دیزلی و رفتار شعله پرداخت. وی در تحقیقات آزمایشگاهی خود نتیجه گرفت که نانو ذرات آلو مینا، می‌تواند مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر سوخت تزریق شده به داخل هوای فشرده گردد. همچنین نانو ذرات آلومینا باعث می‌گردد که تبادل حرارتی بین جت سوخت و گاز اطراف درون سیلندر بهبود یابد. لذا باعث به وجود آمدن احتراق پایدار و افزایش راندمان می‌گردد [5]

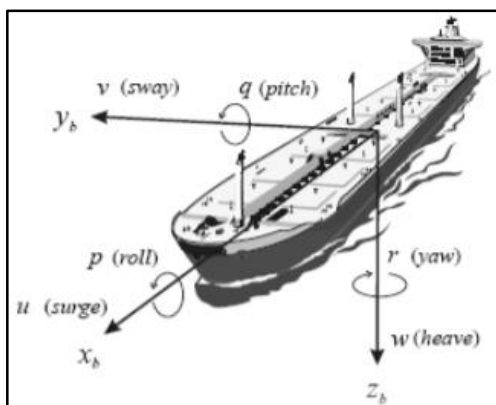
به‌اندازه گیری شکاف آب در تعلیقات سوختی شناورهای دریایی می‌پردازد. آن‌ها بین می‌کنند که این امر می‌تواند تأثیر ژرفی بر روی مدیریت و عملکرد دستگاه دیزل شناورها دارد. آن‌ها در این مطالعه یک روش برای محدود کردن انتشار اکسید نیتروژن با اضافه کردن مقادیری آب به‌عنوان تعلیق در نفت سیاه سنگین قبل از آنکه به آتشدان تزریق شوند، پیشنهاد می‌کنند. این عمل نقطه‌ی گرمایی اشتعال را کاهش داده و عمل ریز سازی سوخت دیزل را بهبود می‌بخشد در نتیجه می‌تواند دفع گازها را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد [6].

افزایش اثربخشی فرآیند طراحی شناورهای دریایی را با استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند موردبررسی قرار می‌دهند. در این مقاله آن‌ها، با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌صورت چند پارامتری داده‌های موجود از طرح‌های آماری مورد

تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به ارزیابی ارتباط داده‌های ورودی و خروجی در شبکه عصبی پرداخته شده است و در نهایت مدل قابل قبولی در زمینه‌ی ارائه گردیده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش در زمینه‌ی شاخص‌های طراحی شناورهای دریایی بسیار حائز اهمیت بوده و می‌توان در زمینه‌ی طراحی شناورهای دریایی جدید از آن‌ها استفاده کرد [7].

نیز به بررسی روش‌های کاهش مصرف سوخت در شناورهای دریایی پرداخته‌اند. آن‌ها در این پژوهش با توجه به اینکه مقاومت شناور مهم‌ترین پارامتر در مصرف سوخت شناور است. ابتدا، اجزا مختلف مقاومت و روش‌های کاهش مقاومت را مورد بررسی قرار دادند، سپس روش‌هایی از قبیل بهبود فرم بدنه، استفاده از حباب هوا و پوشش‌های جدید، کاهش وزن و بهبود راندمان سیستم رانش برای کاهش مصرف سوخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش پیشنهاد شده است که دستگاه‌های پیش برنده‌ی جدید و دقت در نگهداری و بهره‌برداری شناور می‌تواند در کاهش مصرف سوخت شناور تأثیرگذار باشد.

کشتی‌ها جهت حفظ تعادل خود نیاز به استفاده از آب دریا دارند؛ اما جابه‌جائی گونه‌ها و تخلیه و بارگیری آن اثرات زیست‌محیطی مهمی را بر جای گذاشته است. جابه‌جائی گونه‌های جانوری، عوامل بیماری‌زا، تخلیه مواد نفتی و فلزات سنگین مهم‌ترین آثار زیست‌محیطی آب توازن محسوب می‌شوند. این امر در خلیج فارس بسیار اثرگذار بوده است، کشتی‌ها و به خصوص تانکرهای نفت کش هنگام ورود به خلیج فارس به علت شرایط امن دریایی اقدام به تخلیه آب توازن می‌کنند. این اقدام اغلب در محدوده تنگه هرمز صورت می‌گیرد. روزانه صدها هزار تن آب توازن بدین روش به خلیج فارس تخلیه می‌شود. ورود نفت از این طریق مهم‌ترین اثر زیست‌محیطی محسوب می‌شود. بر اساس برآوردهای صورت گرفته از یک نفت کش ۲۰۰ هزار تنی، می‌تواند آبتوازی توأم با ۸۰۰ تن نفت به دریا تخلیه شود.



شکل ۱: انواع درجات آزادی در دستگاه بدنه شناور

حرکات خطی:

- در راستای محور طولی: سرج^۱
- در راستای محور عرضی: اسوی^۲
- در راستای محور عمودی: هیج^۳

حرکت دورانی:

- حول محور طولی: رول^۴
- حول محور عرضی: پیچ^۵
- حول محور عمودی: یاو^۶

^۱ Surge

^۲ Sway

^۳ Heave

^۴ Roll

^۵ Pitch

^۶ Yaw

حرکات گفته‌شده در بالا را می‌توان با معادلات زیر بیان نمود:

رابطه ۱:

$$\text{Surge: } x = x_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_x \xi)$$

$$\text{Sway: } y = y_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_y \xi)$$

$$\text{Heave: } z = z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z \xi)$$

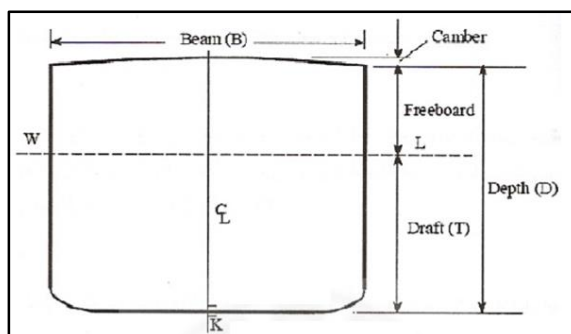
$$\text{Roll: } \phi = \phi_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\phi \xi)$$

$$\text{Pitch: } \theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta \xi)$$

$$\text{Yaw: } \psi = \psi_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\psi \xi)$$

تریم^۱: به شیب طولی شناور یا شیب گفته می‌شود. درواقع اگر دوران طولی به‌صورت پیوسته و غلتشی باشد به آن پیچ و اگر به‌صورت استاتیکی باشد به آن تریم گویند

سرسرا^۲: به شیب عرضی شناور هیل گفته می‌شود و درواقع حالت استاتیکی حرکت رول هست
 سینه^۳ و پاشنه^۴: در اصطلاح مهندسی دریایی به قسمت جلوی شناور سینه و به قسمت انتهایی شناور پاشنه گفته می‌شود
 کیل^۵: به شاه‌تیر اصلی کف شناور کیل گفته می‌شود که درواقع تحتانی‌ترین قسمت بدنه شناور است
 خط مبنا^۶: این خط‌خطی است که به انتهایی‌ترین قسمت کف شناور به‌صورت طولی مماس می‌شود
 مقطع میانی^۷: مقطعی که طول شناور را دقیقه به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.



شکل ۲: آبخوری، فری برد و عمق بدنه شناور

سطح خیس: سطحی از بدنه شناور که داخل آب قرار دارد. این سطح شامل سطح بدنه در تماس با آب در طرفین چپ و راست شناور است که به مجموع این مساحت‌ها سطح خیس گفته می‌شود.
 طول کلی: به حداکثر طول شناور که شامل جلوترین نقطه سینه تا انتهایی‌ترین نقطه پاشنه است گفته می‌شود.
 طول آبخور: طول بدنه در محل خط آبخور

^۱ Trim

^۲ Heel

^۳ Bow

^۴ Stern

^۵ Keel

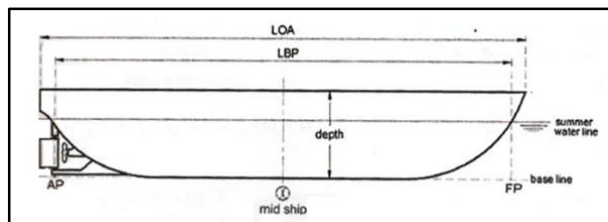
^۶ Base line

^۷ Midship section

طول بین دو عمود: طول بین عمود سینه و پاشنه است. عمود سینه از محل تقاطع خط آبخور تابستان با سینه است و عمود پاشنه در محل عمود گذرنده از محور سکان

عرض: فاصله عرضی بدنه در مقطع میانی که معمولاً شامل بزرگ‌ترین عرض بدنه است.

عرشه: صفحه افقی کشتی که به صورت طبقات متعددی می‌تواند باشد که بار یا مسافر بر روی آن حمل می‌شود.

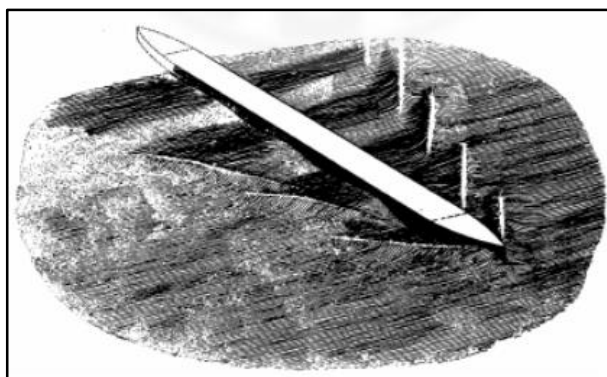


شکل ۳: خط مبنا و مقطع میانی شناور

- آبخور^۱: عمقی از بدنه است که داخل آب قرار دارد.
- فری برد^۲: فاصله سطح آب تا عرشه اصلی شناور است.
- عمق^۳: فاصله کف شناور تا عرشه اصلی شناور است.
- ارتفاع^۴: فاصله آبخور تا بالاترین قسمت روبناسازی

تعداد یک شناور در سرعت صفر از قانون ارشمیدوس پیروی می‌کند این قانون بیان می‌کند که وقتی جسمی روی سیالی شناور است از طرف سیال نیرویی رو به بالا به آن وارد می‌شود که برابر وزن آن جسم می‌باشد

وقتی شناور در آب شروع به حرکت می‌کند جریان آب در اطراف شناور یک فشار دینامیکی علاوه بر فشار هیدرو استاتیکی بر بدنه وارد می‌کند در این میان یک سیستم موج متشکل از امواج عرضی و امواجی واگرا با یک زاویه نسبت به جهت حرکت شناور در اطراف بدنه شناور ایجاد می‌گردد که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۴: شمای تشکیل امواج ویلیام فرود

امواج تشکیل شده توسط شناور با توجه به نوع بدنه آن تغییر می‌کند. فرم بدنه خمیده باعث ایجاد فشار منفی در قسمت عقب شناور شده و شناور در پاشنه تریم می‌کند و آبخور زیاد می‌شود و مقاومت موج سازی مانعی برای افزایش سرعت ایجاد

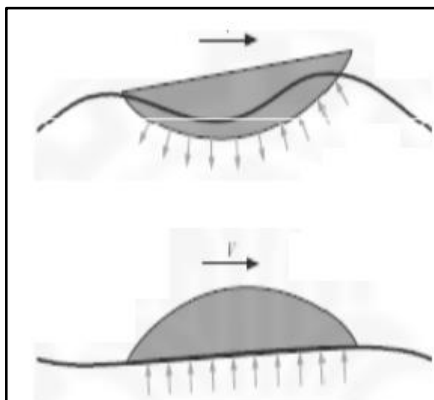
^۱Draft

^۲Freeboard

^۳Depth

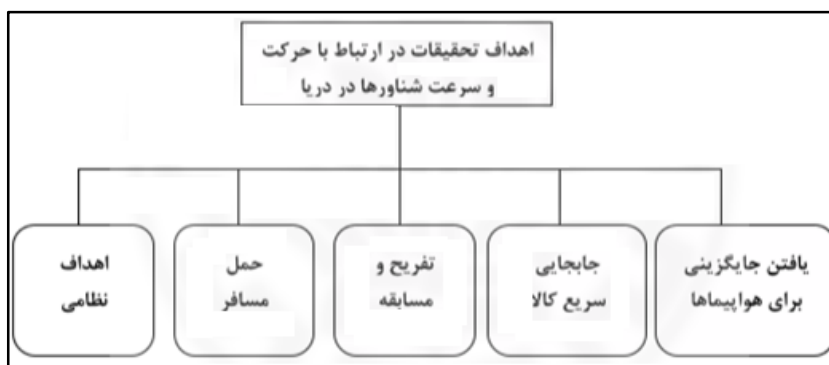
^۴Height

می‌کند برای گذشتن از این مانع باید از ایجاد فشار منفی در عقب شناور اجتناب کرد. شکل کلی توزیع فشار و تولید موج برای فرم بدنه‌های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۵: نحوه تشکیل امواج مختلف برای بدنه‌های با شکل مختلف

مقاومت هیدرودینامیکی دلیل اصلی محدودیت در افزایش سرعت شناورهاست به‌طورکلی بررسی سرعت شناورها و حرکتشان در دریا با توجه به شکل زیر به پنج علت کلی صورت می‌گیرد.



شکل ۶: اهداف تحقیقات در رابطه با بررسی سرعت در شناورها

ظرف چند دهه گذشته بهترین راه‌حل جهت افزایش سرعت شناورها کاهش سطح تماس بدنه با آب به‌وسیله جدا کردن و بالا آوردن بدنه از آب بوده است به‌عبارت‌دیگر با کمتر کردن حجم درون آب علاوه بر کاهش مقاومت، تأثیرات امواج بر شناور نیز کمتر می‌شود و می‌تواند در دریای متلاطم نیز بهتر عمل نماید. علت کاهش مقاومت در این جات، تبدیل مقاومت آب به هواسست که مقاومت در هوا به‌مراتب کمتر از مقاومت در آب است.

البته مشکل اصلی برای این روش کاهش قابل‌توجه نیروی شناوری است که باید به طریقی تأمین شود بر این اساس می‌توان حرکت شناورهای امروزی به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. شناورهای متکی به نیروی هیدروستاتیک
۲. شناورهای متکی به نیروی هیدرودینامیک
۳. شناورهای متکی به نیروی استاتیکی هوا
۴. شناورهای متکی به فشار آئروودینامیک

دسته اول از تقسیم‌بندی فوق به شناورهای معمول جابه‌جایی اشاره دارد که فقط با نیروی هیدروستاتیکی عمل می‌کنند؛ اما شناورهای دوم از نیروی هیدرودینامیکی در هنگام حرکت استفاده می‌کنند به‌عنوان مثال در هنگام حرکت به دلیل نیروی به

را سطح تماس شناورهای پروازی با آب کمتر شده به نحوی که مجموع نیروی برآیند ایجاد شده و نیروی شناوری وزن شناور را تحمل می‌کند در دسته سوم از دسته‌بندی فوق شناورهای آیرواستاتیک مثلاً هاورکرافت از این دسته است برای جدا شدن از آب لازم نیست تا شناور حرکت کند بلکه در حال سکون نیز با روشن کردن فن‌ها می‌تواند تماس خود را با آب قطع کند شناورهای آیرودینامیکی در حالت سکون کاملاً در آب شناور می‌شوند اما با سرعت گرفتن می‌توانند به‌طور کامل از آب جدا شوند (مثل اکرانوپلن).

به‌طور خلاصه می‌توان بحث فوق را در مثلثی بنام مثلث تعلیق خلاصه نمود این مثلث در شکل زیر نشان داده شده است در این مثلث سه روش تحمل وزن شناور ارائه شده است روش اول استفاده از نیروی برابری است که شناورهای معمولی جابه‌جایی از این نوع‌اند. روش دوم استفاده از نیروی به را دینامیکی است که شامل شناورهایی است که دارای فویل بوده و در سرعت‌های بالا با نیروی برآهیدرو دینامیکی از آب بیرون آمده و اصطلاحاً دارای تکیه‌گاه دینامیکی هستند. روش آخر نیز روشی است که هاورکرافت از آن‌ها استفاده می‌کند. در این حالت شناور با دمیدن هوا به زیر خود فشار استاتیکی هوا تولید نموده و یک بالشتک هوای فشرده در زیر خود می‌سازد. لازم به تذکر است که اکرانوپلن‌ها را می‌توان جز برآدینامیکی نیز در نظر گرفت موضوع کاهش توان مصرفی در شبکه شناورهای دریایی هم از لحاظ اقتصادی و هم زیست محیطی مهم می‌باشد. طراح یو پیاده‌سازی یک سامانه افزایش خدمات و کاهش توان مصرفی می‌تواند تاثیر قابل توجهی در افزایش کیفیت و کاهش هزینه‌های سوخت در شناورهای دریایی داشته باشد.

در سال‌های اخیر مبحث کاهش انرژی از بحث‌های داغ در محافل علمی می‌باشد که این مسئله در مورد شناورهای دریایی نیز مطرح می‌گردد، شاخص مصرف انرژی در کشتی‌ها میزان مصرف سوخت است و راه‌کارهای کاهش مصرف سوخت در شناورها باید مورد بررسی و شناسایی قرار گیرد. در سالیان اخیر مباحثی هم چون مدیریت انرژی و ممیزی انرژی به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی تعریف شده‌اند. در کشور ایران علیرغم وجود تعداد زیاد شناورهای دریایی، متأسفانه تاکنون اقدامات عملی در این خصوص صورت نگرفته است.

قدرت لازم برای به حرکت درآوردن شناورها عمدتاً به وسیله موتورهای دیزلی تأمین می‌گردد. از طرفی موتورهای دیزلی دریایی، به جهت کاربری‌های مختلف آن در صنایع دریایی از قبیل کشتی‌های تجاری، نفت‌کش‌ها، ناوها، زیردریایی‌ها و غیره، مورد توجه سازندگان می‌باشند. همچنین این موتورها به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به عنوان منبع تولید قدرت، حائز اهمیت بوده‌اند. امروزه با سخت‌تر شدن استانداردهای دریایی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت‌های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق به‌منظور بهبود عملکرد و توان که نگرش اصلی در طراحی این موتورها خصوصاً در جنگ‌ها و عملیات نظامی هست، برداشت.

۲- دسته‌بندی شناورها

امروزه طیف گسترده‌ای از شناورهای دریایی در حوزه‌های مختلف تجاری، تحقیقاتی، نظامی و ... طراحی، ساخته و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. با توجه به تنوع کشتی‌های موجود تقسیم‌بندی‌های مختلفی نیز توسط مؤسسات رده‌بندی، شرکت‌های کشتی‌سازی و سایر مراجع مرتبط با امور دریایی ارائه گردیده است که دستیابی به یک تقسیم‌بندی واحد را عملاً امکان‌ناپذیر ساخته است که این امر چندان مهم نیز نیست. در این تقسیم‌بندی ما شناورها را به دودسته شناورهای نظامی و شناورهای غیرنظامی تقسیم کرده و زیرمجموعه‌های هر بخش را بت درج نام خواهیم برد. با توجه به اینکه تقسیم‌بندیهای انجام‌شده در بخش نظامی بسیار استانداردتر و مدون‌تر از بخش غیرنظامی هست، معرفی را با این بخش شروع می‌کنیم. قبل از هر چیز باید متذکر شوم که این تقسیم‌بندی سندیت ارجاع نداشته و تنها جهت آشنای خوانندگان هست.

بدنه یک شناور به سه صورت هست:

- بدنه چوبی: ساخت این نوع شناور دارای ۳ مرحله بازرسی هست
- بدنه فلزی: ساخت این شناور دارای ۶ مرحله بازرسی هست
- بدنه فایبر گلاس

۳- ارتعاشات در شناورها

ارتعاشات در شناورها به دلیل وجود حرکات و شتاب‌های ناگهانی به وجود آمده در طول سفر و صلب آسایش سرنشینان از اهمیت بالایی برخوردار است. بازدهی دینامیکی حرکات شناورها در چرخه طراحی شناورها جای مخصوص به خود اختصاص داده‌اند. البته مسائل دینامیک در کشتی نسبت به مقاومت آب آرام پیچیده‌تر می‌باشد.

در اینجا تمرکز ما بیشتر بر روی ارتعاشات ناشی از محرک‌های موج و دریا می‌باشد. برای کاهش این معزل روش‌های متنوعی وجود دارد. یکی از روش‌های که در شناورهای مسافری بزرگ در اغلب کشورها استفاده می‌شود به کار بردن سطح کنترل می‌باشد که در انواع فویل‌ها و به شکل‌های مختلف این حرکات کنترل می‌شود. دوم استفاده از دستگاه‌های مکانیکی درروی شناور است که قاعدتاً سیستم تعلیق شامل فنر و دمپر هست. تلاش برای دستیابی به سرعت و کارایی بالاتر همواره عنصری انگیزشی در طراحی شناورهای مدرن بوده است که سبب شده شناورهایی با ویژگی‌های نوین و منحصر به فرد در عرصه حمل و نقل دریایی ظهور پیدا کنند. در پاره‌ای از این طراحی‌ها استفاده از الگوهای طبیعی می‌تواند راهگشا باشد. در مقوله شناورهای دریایی انواع متفاوتی با استفاده از این الگوهای طبیعی طراحی شده‌اند. تعدادی از این شناورهای در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند.



شکل ۸: شناور Seaphantom



شکل ۷: شناور WIG



شکل ۹: شناور پنگوئن

شکل بالا شناور را نشانم دهد که در آن از پدیده اثر سطح استفاده شده است. پرندگان دریایی به‌طور وسیعی از این اثر استفاده می‌کنند.

شناور از ماهی‌های بالدار الگوبرداری شده است و به‌طور هم‌زمان از پدیده اثر سطح نیز بهره می‌گیرد.

شناور پنگوئن نیز از این دسته وسیله‌هایی هستند که در طراحی آن‌ها از فرم بدنه پنگوئن الهام گرفته شده است. موارد نامبرده شده تعداد محدودی از موارد زیادی است که در دنیای مدرن امروزی قابل برشماری‌اند. یکی دیگر از این نمونه‌ها شناور دلفین است. این شناور از جمله شناورهای بافرم بدنه نوین است که با استفاده از علوم بیوتکنولوژی و با الگوبرداری از دلفین طراحی شده است. در نیروند رو به رشد طراحی این شناور نمونه‌های مختلفی از آن ساخته شده است که باگذشت زمان و جدیدتر شدن نمونه‌ها سرعت و قابلیت‌های مانور آن نیز افزایش یافته است. هدف اولیه در طراحی این نوع بدنه کاربر دهد تفریحی، ورزشی بوده است. هرچند که نمونه‌های اخیر آن با سرعت بیش ۴۵ گره دریایی امروزه در پاسگان ساحلی ایالات متحده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زیر یک نمونه الگوریتم که برای طراحی بدنه استفاده شده آورده شده است.



شکل ۱۰: نمونه‌ای از شناورهایی که از طبیعت در طراحی آن‌ها الگوبرداری شده است

کشتی‌ها یکی از دستگاه‌های پیچیده و پرخرج مهندسی هستند و طراحی آن‌ها دربرگیرنده مسائل فن خیلی زیادی است که باعث پر حجم بودن طراحی کلی کشتی می‌گردد. مشکل عمده، بر سر محدودیت‌هایی است که ناشی از قوانین خاص کشتی‌ها و یا خواسته‌های مشتری است. این‌ها شامل محدودیت‌های طبیعی در دریا می‌شود و اینکه کشتی باید تا چندین ماه در دریا جوابگوی خود باشد. بعلاوه هیچ نمونه مشابهی از طرح ساخته نمی‌شود و به‌جز در حالات خیلی خاص که چند نوع یکسان از یک طرح ساخته می‌شوند، در باقی حالات طرح موردنظر برای اولین بار ساخته می‌گردد. در طراحی کشتی، مسائل گفته شده در بالا دنبال می‌گردد، ولی در هر حال تعداد زیادتری مهندس در طراحی یک کشتی نسبت به دیگر طرح‌های مهندسی شریک هستند.

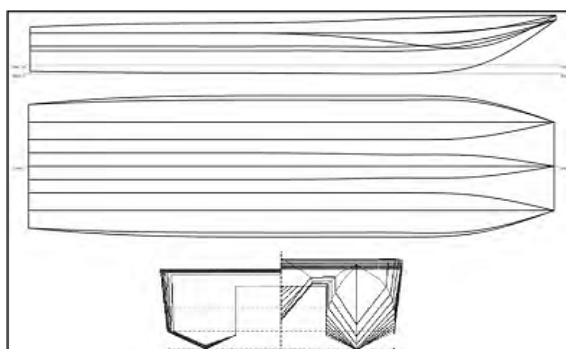
شکل بدنه از نظر سازه‌ای و هیدرودینامیکی مهم است، همچنین دیگر قسمت‌های دوبعدی و سه‌بعدی و یا خارجی در موفق بودن طرح مؤثر هستند. با توجه به شرایط سخت و خشن محیطی، لزوم قابلیت حرکت، احتمال آتش‌سوزی و جاری شدن آب به داخل کشتی دیده می‌شود که در نتیجه برای طراحی کشتی، محدودیت‌های بیشتری نسبت به وسایل حمل‌ونقل زمینی وجود دارد. همچنین عوامل اجتماعی، نه تنها از نظر نحوه کار افراد در کشتی و شرایط زیستی، بلکه از نظر تأثیرات حرکات کشتی بر روی کارکنان و مسافران نیز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. بدن انسان به حرکات خاص و فرکانس‌های مشخصی حساس است، برای مثال بیماری دریا، اغلب در فرکانس‌های حرکت حدود ۰٫۲ Hz اتفاق می‌افتد.

یک طراح موفق سعی در تنظیم حرکات کشتی دارد تا شرایط بهتری را برای افراد داخل کشتی به وجود آورد. همچنین قرار دادن محل زیست آنان در قسمت‌هایی که دامنه نوسان کمتری دارند، باعث مناسب‌تر شدن وضعیت زندگی بر روی کشتی می‌گردد. روند طراحی کشتی، معمولاً به صورت یک دیاگرام مارپیچ نمایش داده می‌شود. این دیاگرام، طراحی یک کشتی تجاری را از اولین مرحله که درخواست‌های مشتری است تا آخرین مرحله که طراحی جزئیات و ساخت است، نمایش می‌دهد. دیاگرام حلزونی نمایش داده شده، یک ماهیت تکراری دارد بدین معنی که همه عوامل در نظر گرفته می‌شوند و به دنبال آن اگر تغییری

در یک مرحله داده شد، گردش مراحل، دوباره صورت می‌گیرد تا تغییرات متناسب با آن در همه قم‌ست‌ها داده شود. همچنین ممکن است ناپیوستگی‌هایی وجود داشته باشد، برای مثال، تغییر ابعاد کلی کشتی ممکن است آن‌قدر ادامه یابد که جایگزین کردن یک نوع سیستم رانش جدید الزامی گردد. راه دیگر، برای روند طراحی کشتی‌های تجاری، استفاده از طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر (CAD/CAM) است.

۴- طراحی شناور کاتاماران

این مدل که بانام شناور غزال در دور اول مسابقات شناورهای بدون سرنشین در دانشگاه شریف نیز شرکت داده شد. مشخصات اصلی شناور در جدول (۱) نشان داده شده است. خطوط بدنه آن نیز در شکل (۱۱) مشخص شده است.

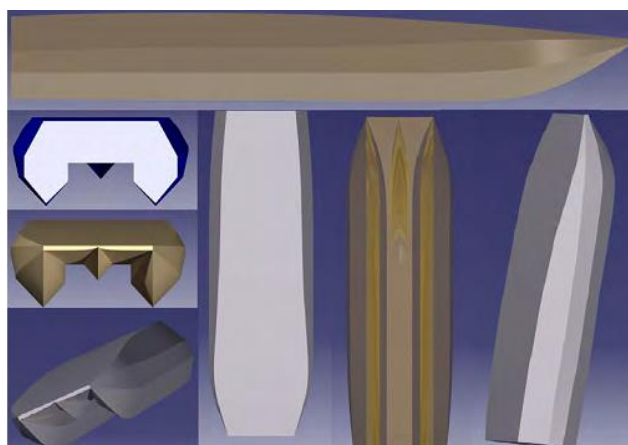


شکل ۱۱: مدل سه نمای شناور [3]

جدول ۱: مشخصات اصلی شناور غزال

۱,۳	طول (متر)
۰,۳۲۲	عرض متوسط (متر)
۲۵	زاویه درایز (درجه)
۹	وزن کلی (کیلوگرم)

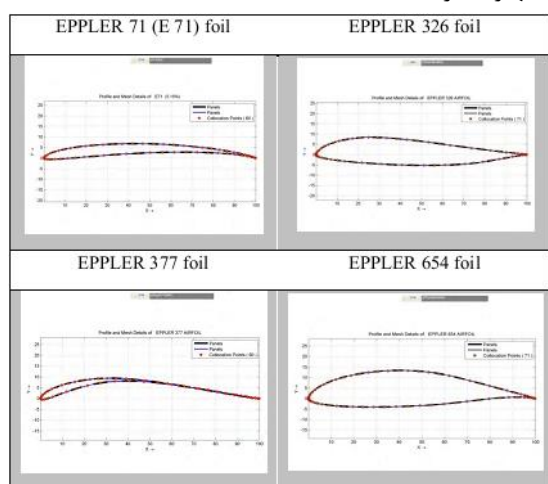
پس از انجام ملاحظات طراحی آیرودینامیک، حذف سطوح منفی راداری و همچنین ملاحظات جانمایی سیستم رانش، فرم بدنه به صورت شکل (۱۲) در نرم‌افزار کنیا مدل‌سازی شد. ضمناً طبق الگوریتمی [4]، محل مرکز ثقل شناور به دست آمده و با بررسی مرکز فشار به دست آمده از کد تحلیلی بدنه‌های مدرن، این دو مرکز تا حد امکان به هم نزدیک شدند تا شناور به مشکلات ناپایداری دینامیکی از قبیل پورپوزنگ مواجه نشود. ضمناً با توجه به بهبود پایداری دینامیکی بدنه که از طریق فویل قابل انجام است، این احتمال تا حد صفر قابل کاهش هست.



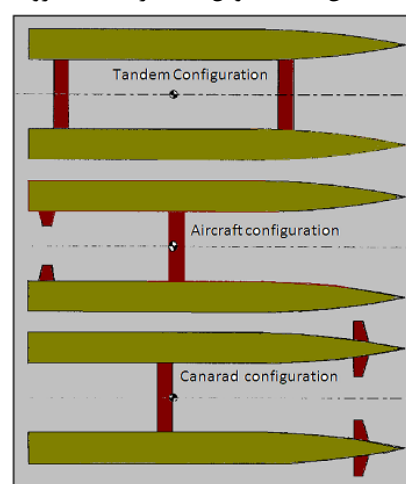
شکل ۱۲: بدنه کاتاماران سرشی غزال بدون طراحی هیدروفویل مدل‌سازی شده در نرم‌افزار کنیا

۵- تحلیل فویل و پارامترهای تأثیرگذار آن

با توجه به آزمون‌های انجام‌شده در دانشگاه استانبول جنوبی و همچنین تحلیل‌هایی که در این مقاله صورت پذیرفته دو پارامتر محل نصب هیدروفویل‌ها و همچنین شرایط هندسی هر فویل بیشترین تأثیر را روی عملکرد دینامیکی شناور دارند. نحوه قرارگیری هیدروفویل‌ها با توجه به تست‌هایی که طی ۴۰ سال گذشته در دنیا انجام‌شده به سه صورت در شکل (۱۳) نشان داده‌شده است. البته در این مقاله فرم هواپیمایی هایسوکت جهت توسعه تحقیق آن انتخاب شد. محل قرارگیری فویل اصلی در این فرم، نزدیک به محل مرکز ثقل شناور و ۵ درصد طول شناور در جلوی آن می‌باشد؛ و فویل‌های عقبی (تریم) در پاشنه و در نزدیک‌ترین نقطه به سطح آزاد جریان در حالت دینامیکی می‌باشد. این فویل‌ها نقش کنترل تریم خودکار شناور را بر عهده می‌گیرند که یکی از مشکلات عمده شناورهای کاتاماران در پایداری طولی کم را بهبود می‌بخشد. پارامترهای متفاوتی که در عملکرد فویل تأثیر دارند، عبارت‌اند از زاویه سوئپ، زاویه دایه‌درال، طول کورد، اسپن و نوع استاندارد فویل مورد استفاده می‌باشند. بدین صورت که فویل‌هایی که در نزدیکی سطح آزاد عملیات انجام می‌دهند، از نوع لیفت بالا هستند در مورد خاص هایسوکت، از مقاطع استاندارد اپلر استفاده می‌شود. در اینجا چهار نمونه فویل از این استاندارد مدل شد (شکل (۱۴)) و پس از محاسبات مشخص شد که فویل E71 از لحاظ هیدرودینامیکی بازده بهتری دارد.

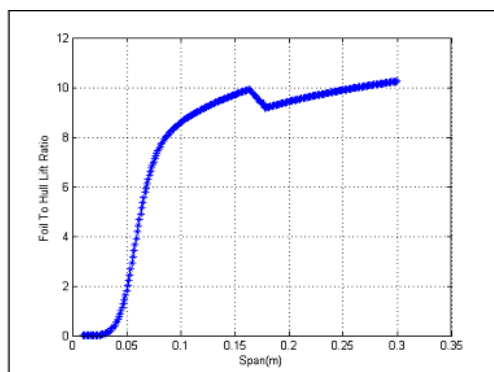


شکل ۱۴: چهار نوع فویل متفاوت از مقاطع اپلر که در این پژوهش مدل شدند [6]

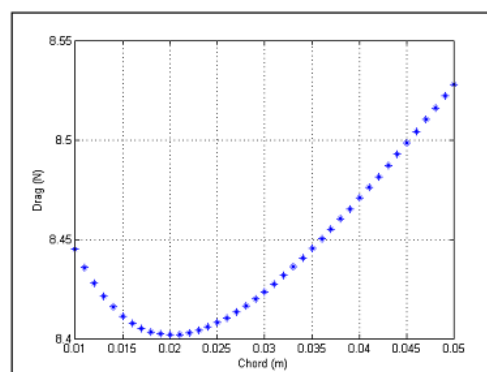


شکل ۱۳: نحوه قرارگیری هیدروفویل‌ها در انواع شناورهای هایسوکت [5]

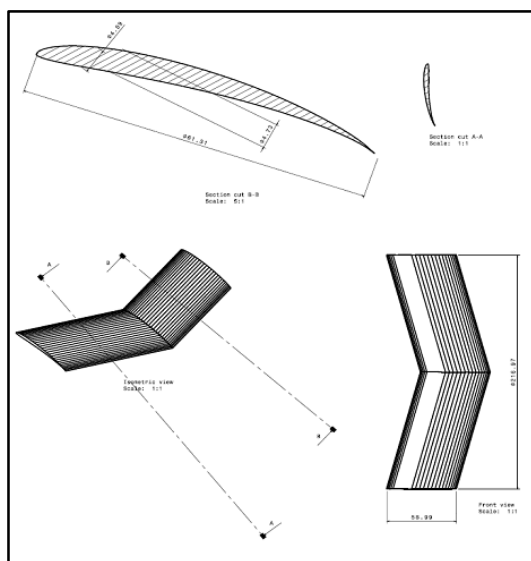
طول اسپن و کورد بهینه برای این مدل خاص شناور نیز توسط کد نرم‌افزاری بدنه‌های مدرن به صورت اشکال (۱۵) و (۱۶) بهینه‌سازی شد. بدین صورت که بیشینه نسبت لیفت فویل به بدنه و کمینه مقاومت شناور نسبت به طول کورد و اسپن‌های متفاوت بررسی شدند تا ابعاد اصلی هندسی فویل بدست آمدند.



شکل ۱۶: نسبت لیفت هیدروفویل به لیفت بدنه بر حسب تغییرات طول اسپن فویل



شکل ۱۵: تغییرات درگ شناور بر حسب تغییرات طول کورد فویل مورد استفاده

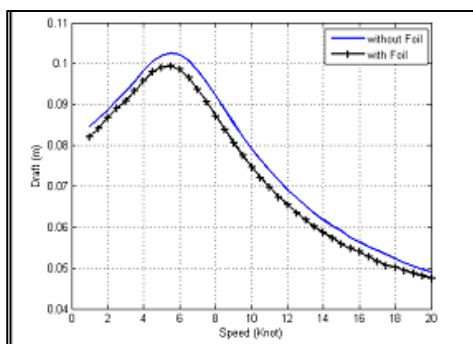


شکل ۱۷: نقشه فویل اصلی جهت ساخت

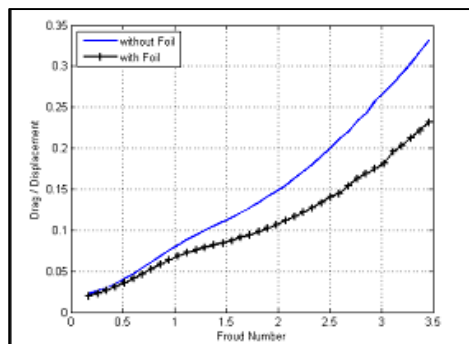
زوایای سوئیپ و دایپدرال فویل نیز با توجه به نتایج تجربی پروفیسور هوپ و می‌گشته به ترتیب ۱۵ درجه و صفر درجه بهینه تشخیص داده شده‌اند [5] با توجه به مشخصات هندسی به دست آمده، فویل E71 به صورت انتخابی در نرم افزار مدل سازی می شود تا نتایج دقیق تری از مقادیر لیفت و در به دست آید. (شکل ۱۷).

۶- پیش بینی رفتار دینامیکی شناور با فویل

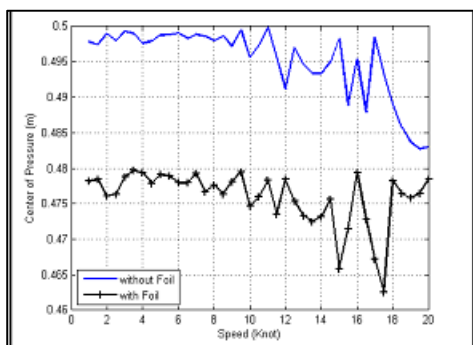
با توجه به پارامترهای هندسی شناور و هیدروفویل که به صورت جداگانه به دست می آیند، پیش بینی عملکرد شناور در مرحله طراحی بسیار ضروری است. به این دلیل که به عنوان مثال مقادیر آبخور، زاویه تریم و مقاومت شناور، به عنوان ورودی جهت تعیین محل خروجی شفت و پروانه از بدنه، طول شفت پشت بدنه و انتخاب موتور از توان ماکزیمم مورد نیاز خواهد بود. لذا همان طور که در اشکال (۱۸) تا (۱۹) دیده می شود، عملکرد دینامیکی شناورهای سوکت در سرعت های مختلف محاسبه شد.



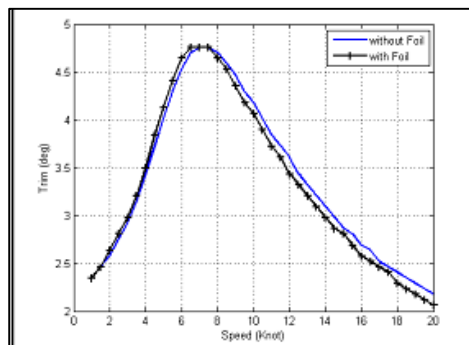
شکل ۱۹: مقایسه آبخور شناور در دو حالت با و بدون فویل



شکل ۱۸: مقاومت هیدرودینامیکی شناور در دو حالت با و بدون فویل



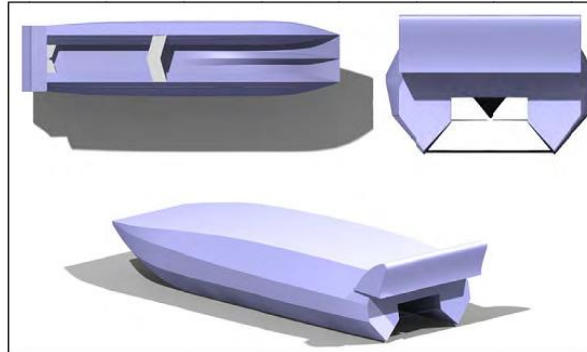
شکل ۲۱: تغییرات محل مرکز فشار در دو حالت با و بدون فویل



شکل ۲۰: میزان تغییرات تریم مدل شناور در دو حالت با و بدون فویل

۷- مدل سازی بدنه هایسوکت

نهایتاً مشخص شدن تمامی پارامترهای هندسی بهینه برای فویل و همچنین مشخص شدن محل قرارگیری فویل در شناور، مدل هایسوکت به صورت شکل (۲۲) در نرم افزار تهیه می شود.



شکل ۲۲: فرم بدنه هایسوکت مدل سازی شده در نرم افزار کتیا

۸- ساخت بدنه

پس از طراحی و مدل سازی کامل بدنه، ساخت شناور با مواد مختلفی از قبیل آلومینیم و کامپوزیت قابل انجام است. البته کامپوزیت با توجه به مزایایی از قبیل روش های ساخت راحت، وزن کمتر، استحکام فراوان و حتی خاصیت رادار گریزی، به دیگر مواد ارجحیت می یابد. ساخت بدنه کامپوزیتی نیز به روش های متفاوتی قابل انجام است. به گونه ای که ابتدا مدلی از جنس فوم یا چوب بالسا از بدنه به دست می آید. سپس با قالب گیری از مدل، هر تعدادی از بدنه که مورد نیاز کاربر باشد، قابل تولید است.

تهیه مدل فومی نیز به دو روش امکان پذیر است. ۱. استفاده از دستگاه هات وایر ۲. استفاده از دستگاه CNC

در روش اول مدل فومی با استفاده از سیم داغ با مقاومت بالای الکتریکی متصل به پیل الکتریکی تولید می شود. به گونه ای که خطوط کنترلی اصلی در طول شناور به دست آمده و با تقسیم بدنه به چند ناحیه مختلف (وابسته به نوع انحنای مقاطع)، مدل شناور در چند مقطع فوم به دست می آید و نهایتاً بدنه و قالب شناور قابل دستیابی است. این روش هزینه کمتری دارد ولی به علت عدم استفاده از ابزار دقیق ناموزونی های احتمالی در بدنه ایجاد می کند که سبب کنترل پیچیده در مراحل بعدی عملیات شناور خواهد شد.

در روش دوم با تهیه مدل سطح شناور در نرم افزار، ابتدا از بدنه جی کد گرفته می شود و سپس با دستگاه ابزار دقیق CNC سه محوره مدل شناور از هر جنسی که مورد نظر باشد، به دست خواهد آمد (شکل ۲۳). در نهایت با تهیه قالب از مدل مربوطه شناور با بدنه کامپوزیتی به دست خواهد آمد (شکل ۲۴)



شکل ۲۴: مدل شناور تولید شده در کارگاه کامپوزیت



شکل ۲۳: مدل شناور در حال استخراج از دستگاه CNC

۹- نتیجه‌گیری

روند طراحی یک کشتی تجاری، با ارزیابی‌های اقتصادی و احتمالاً تحقیقات در مورد بازار کار به‌وسیله مشتری آغاز می‌گردد. در این مرحله کشتی، تنها به‌عنوان قسمتی از یک سیستم بزرگ حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شود که احتیاجات این سیستم حمل‌ونقل با تعداد زیادی کشتی کوچک یا تعداد کمتری کشتی بزرگ قابل جوابگویی است. مشتری باید راه‌های مختلف، مانند کرایه کردن کشتی از دیگران، خرید کشتی‌های دست‌دوم، خرید کشتی موجود و بالاخره ساخت کشتی جدید را موردبررسی قرار دهد؛ بنابراین مطالعات اقتصادی پیچیده‌ای لازم است تا راه‌حل مناسب و کشتی بهینه از نقطه‌نظر نوع، سرعت و تناژ مشخص گردد. لازم بررسی‌های فوق، تخمین هزینه ساخت و هزینه‌های سرویس کشتی است که مخارج مربوطه با یک جدول یا دیاگرام، مانند جدول زیر برای طول عمر کشتی مشخص می‌شوند.

مراجع

- [1] M. S. Seif. M.T. Tavakoli. "New Technologies For Reducing Fuel Consumption In Marine Vehicles", Sharif University Of Technology, 2004
- [2] نوروزی، عبد الحسین، نیروهای وارد برپاله شناورهای تندرو (هایسوکت) و تأثیر آن بر عملکرد دینامیکی شناور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، در دانشگاه آزاد تهران شمال، مرداد ۱۳۹۰
- [3] David.E.Calkins, R.D.Schachter, L.T.Oliveria, "An automated computational method for planning hull form definition in concept design", Ocean engineering 28 (297-327), 2004
- [4] ترابی آزاد مسعود، نوروزی عبدالحسین، صادقی محمدحسین، فخراپی احمد، محاسبه الگوریتم طراحی بدنه شناورهای تندرو و بررسی رفتار دینامیکی یک مدل کاتاماران پروازی (سرشی)، فصل‌نامه علمی و ترویجی علوم و فناوری دریا، نوشهر، شماره ۴۸، تابستان ۹۰
- [5] Barend Grobler, "Development of a high speed planning trimaran with hydrofoil support", Thesis presented at the university of Stellenbosch in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Mechanical Engineering, 2007
- [6] Migeotte, G. and Hoppe K. G. "Developments in Hydrofoil Assistance for Semi-Displacement Catamarans, University of Stellenbosch, Division Of Fluid Mechanics, Department of Mechanical Engineering
- [7] Jonathan M.R. (2009), *Human factors for naval marine vehicle design and operation*, Ashgate Publishing Company, ISBN: 978-0-7546-7625-6.
- [8] Marashi, S.N. (2007), *Human factors engineering- Ergonomics of working*, Vol. 1, Amir Kabir University (In Persian).
- [9] Coe, T.E. Xing J.T. Sheno, R.A. and Taunton, D. (2009), *A simplified 3-D human body-seat interaction model and its applications to the vibration isolation design of high-speed marine craft*, Ocean Engineering, Vol. 36, P. 732-746.
- [10] Dobbins, T. Rowley, I. and Campbell, L. (2008), *High speed craft human factors engineering design guide, ABCD-TR-08-01, Vol. 1.*
- [11] Ullman Cockpit, (2001), *Test Report*, Ullman Dynamics AB.
- [12] Behzad, M. Azimi-Nia, M. M. Rajabi, M. Ghorraishi, S.R. and Karimi, M.H. (2010), *Survey of vibrations affect in Craft on human via exerting frequency weight functions on the vibrations signal*, MIC (In Persian).
- [13] Timori, M. (2012), *The affect of high speed craft designing in the crew psychotic and bodily situations*, System Engineering Research Center, Imam Hossein University (In Persian). Downloaded from marine-eng.ir at 18:54 +0430 on Sunday June 17th 2018

طراحی زیر لایه فوتونی مربعی و دایره‌ای شکل برای آنتن میکرواستریپ

حبیب الله ناصری

چکیده

آنتن‌های پچ به طور گسترده‌ای برای کاربردهای مختلف با توجه به هزینه کم آن‌ها، مشخصات کم، سازگاری با تکنولوژی آی سی، سهولت ساخت، نصب و راه اندازی روی سطوح با اشکال متفاوت بکار می‌روند. هدف این مقاله بررسی روش جدید برای توسعه آنتن‌های میکرواستریپ پهن باند با استفاده از زیرلایه‌های حاوی بلورهای فوتونی می باشد. در این پژوهش با استفاده از روش FDTD (حوزه زمان تفاضل محدود) به تجزیه و تحلیل آنتن پچ با و بدون عبور ساختار PBG ویژه، همراه با شبیه سازی مختلف پرداخته می‌شود. نتایج حکایت از آن دارد که امواج سطحی که در امتداد سطح پیش ماده و زیرآیند پراکنده می‌شوند به واسطه تأثیر فاصله نواری کریستال نوری متقاطع به صورت نوار ممنوعه، به وسیله این ساختار فاصله نواری PBG می‌توانند جلوگیری کنند، که در عین حال می‌توانند بیشتر انرژی امواج الکترومغناطیسی در زیرآیند و پیش ماده را ساطع نمایند و در عین حال دارای تلفات بازگشتی کمتری (S_{11}) در مقایسه با آنتن‌های پچ مرسوم باشد که بر این اساس، بازده و بهره بالایی بدست آمده و عملکرد آن تقویت یافته است. به واسطه این مزایا، استفاده از آنتن‌های پچ کریستال نوری در حوزه‌هایی مثل ارتباطات ماهواره‌ای و الکترونیک هواپیمایی و غیره گسترش خواهد یافت.

کلید واژه: آنتن میکرواستریپ، فرایه‌ن باند، بلور فوتونی، فیلترینگ، باند

مقدمه

آنتن از یک سیم مستقیم تشکیل شده است که اگر در فرستنده به کار رود، امواج فرستنده را به امواج الکترومغناطیس تبدیل نموده و پخش می نماید و اگر در گیرنده به کار رود، امواج الکترومغناطیسی موجود در فضا را دریافت نموده و تبدیل به امواج الکتریکی نموده و جهت آشکار شدن، به مدار گیرنده می دهد. معمولاً در گیرنده‌ها هر آنتن به ازاء یک فرکانس مشخصی، به تشدید درآمده و به ازاء آن فرکانس، ولتاژ ماکزیمم مشخصی تولید می نماید. هرگاه طول آنتن متناسب با طول موج دریافتی باشد، موج کاملاً در آنتن قرار می گیرد و اصطلاحاً می گویند آنتن رزونانس شده و یا به تشدید درآمده است یعنی آنتن با موج رسیده هماهنگ شده است و در این حالت ولتاژی که به آنتن رسیده، حداکثر است.

ارزیابی تحلیلی آنتن پچ

به شیوه معمول، آنتن‌های میکرواستریپ با استفاده از یکی از سه متد تحلیلی مدل خط انتقال، مدل حفره، یا مدل موج کامل مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، از اینرو با آغاز (تکوین) این تکنیک‌ها، چند مدل تحلیل پیچیده (مختلط) توسعه یافته است که اثرات تقویت کننده، هندسه‌های ویژه، زیرلایه‌های پیچیده (مختلط) و تزویج متقابل از روی عناصر مجاور در یک آرایه، را توضیح می دهند. رویکرد بسیار مستقیم برای ارزیابی آنتن‌های پچ با نتایج دقیق مستدل استفاده از مدل حفره می‌باشد. پچ

فلزی در آنتن‌های میکرواستریپ در واقع یک محفظه تشدید بوجود می‌آورد که پیچ واقع در بالای زیرلایه بمنزله ضلع فوقانی محفظه و صفحه زمین بعنوان ضلع تحتانی و لبه‌های پیچ به مشابیه وجه‌های کناری محفظه می‌باشند. [۳]

جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

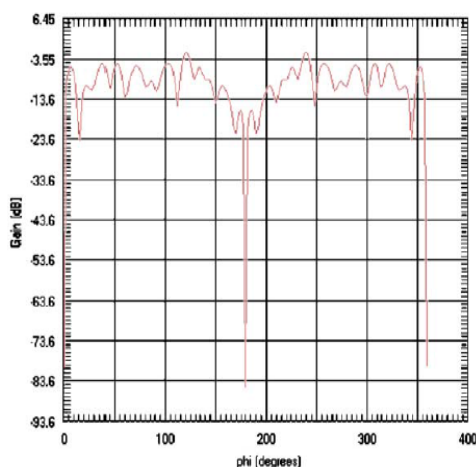
در این پژوهش با استفاده از روش FDTD (حوزه زمان تفاضل محدود) به تجزیه و تحلیل آنتن پیچ با و بدون عبور ساختار PBG ویژه، همراه با شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی به بررسی و مقایسه بین آنتن پیچ معمولی و آنتن با زیر لایه فوتونی از منظر بهبود بهره و تلفات بازگشتی پرداخته خواهد شد.

نتایج شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل

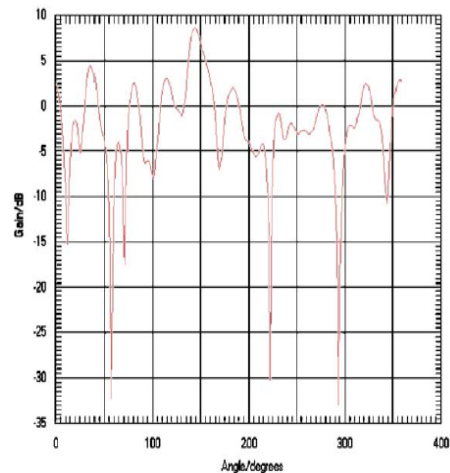
تلفات بازگشتی و بهره آنتن‌های پیچ را به صورتی که در شکل‌های زیر نشان داده شده است را شبیه‌سازی کردیم. ادر شکل زیر می‌توان مشاهده کرد که آنتن اتصال دارای ساختار ویژه متقاطع فاصله نواری PBG در مقایسه با آنتن اتصال قراردادی، دارای افت برگشت بهتری (S_{11}) است. که نوع قراردادی آن در فرکانس $3/01$ گیگاهرتز، بهره 20 dB بدست می‌آید. در حالی که آنتن PBG، در فرکانس $3/76$ گیگاهرتز، بهره 30 dB بدست آورده می‌شود یعنی افت آن 10 dB پایین‌تر است. دلیل اینکه چرا ساختار ویژه متقاطع PBG می‌تواند ویژگی‌های آنتن را بهبود بخشد که ساختار ویژه متقاطع PBG، توانایی PBG برای انعکاس امواج الکترومغناطیسی در سوبسترا را تقویت و بر این اساس بازده تابش را تقویت خواهد نمود. در عین حال، یک تغییر فرکانس به علت ساختار PBG وجود دارد. دلیل اصلی این تغییر این است که معرفی ساختار PBG، طول موج راهنما را کوتاه‌تر می‌سازد در حالی که اندازه آنتن بدون تغییر می‌ماند، که بر این اساس تغییر فرکانس تشدید کننده را به همراه دارد.

در الگوهای تابشی آنتن در شکل را می‌توان بدست آورد که بهره انتقال ماکزیمم آنتن قراردادی معادل 3 dB است، در حالی که ساختار PBG به صورت $8/58$ dB ، $11/58$ dB است که نشان می‌دهد ساختار ویژه متقاطع PBG به طور مشهود می‌تواند بهره انتقال آنتن‌های اتصال را تقویت کند. با توجه به شکل ، در عین حال نتایج نشان می‌دهد که پهنای باند به علت ساختار PBG بزرگتر می‌شود، و در عین حال دلیلی است که چرا ما از ساختار PBG استفاده می‌کنیم. برای نسبت موج ساکن ولتاژ VSWR، آنتن ویژه متقاطع PBG معادل $1/062$ است که به شرایط ایده‌ال ۱، نزدیک است که برای آنتن قراردادی معادل $1/2004$ است.

طرح شماتیک پارامترهای آنتن دارای ساختار PBG و فاقد ساختار PBG را نشان می‌دهد.

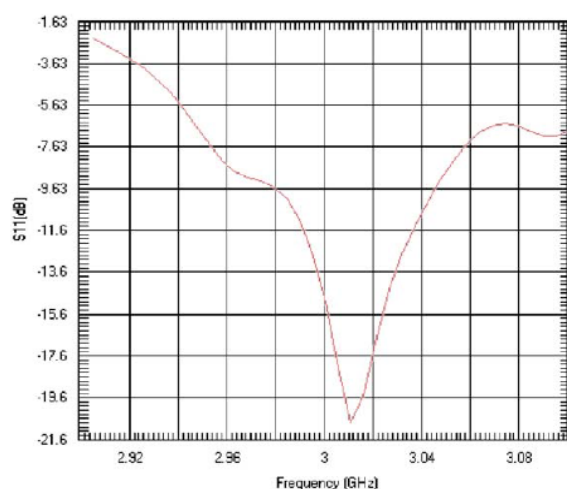


آنتن قراردادی

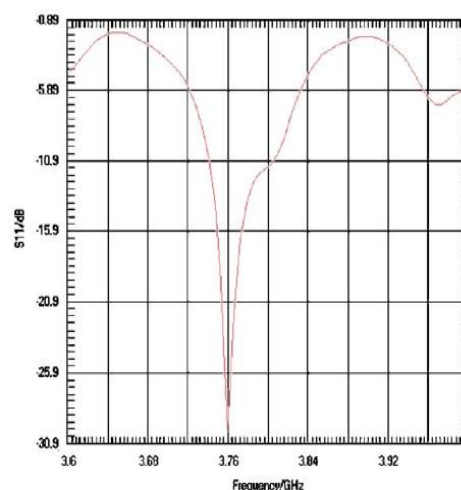


آنتن دارای ساختار مقاطع PBG

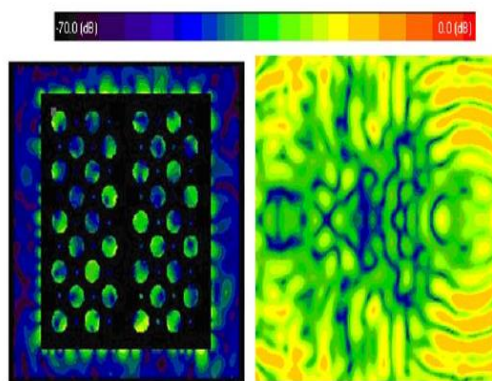
شکل (۱) افت برگشتی (S_{11}) آنتن‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.



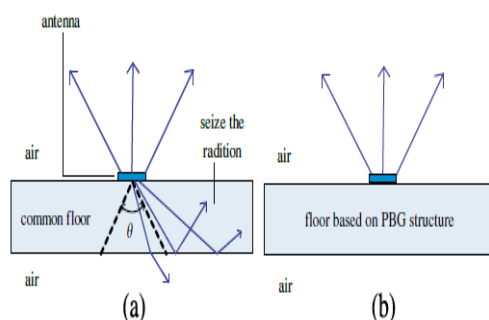
آنتن قراردادی



آنتن دارای ساختار مقاطع PBG



توزیع میدان الکتریکی آنتن ویژه مقاطع PBG و توزیع میدان الکتریکی آنتن قراردادی



تصویر فیزیکی امواج سطحی با استفاده از زیرآیند PBG

شکل (۲) الگوهای تابش دو آنتن (مختصات مربع مستطیلی) را نشان می‌دهد.

به سادگی می‌توان مشاهده نمود که آنتن اتصال موقت، افت برگشتی کمتر و بهره انتقال بالاتری با اضافه کردن ساختار ویژه و مقاطع PBG نشان می‌دهد. این موضوع از دیدگاه تئوری قابل مشاهده است یک باند فرکانس ممنوعه بعد از اضافه کردن ساختار PBG در سوپسترا تشکیل خواهد شد، آنگاه امواج الکترومغناطیسی در محدوده این فرکانس متوقف خواهد شد، یعنی نمی‌توانند در هیچ جهتی انتقال داده شوند.

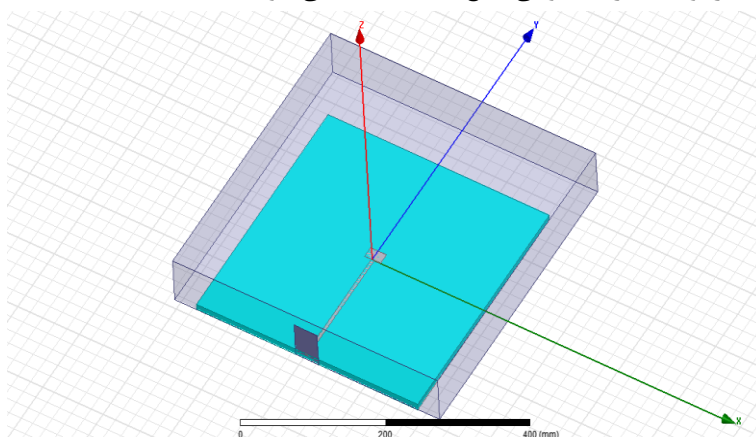
با استفاده از تأثیر باند ممنوعه PBG، امواج سطحی که در امتداد زیرآیند تحتانی انتقال داده می‌شود، محدود خواهد شد، که بر این اساس، امواج الکترومغناطیسی جذب شده به وسیله سوپسترا کاهش می‌یابد و انرژی انعکاس یافته به فضای آزاد افزایش خواهد یافت. بر این اساس، افت برگشتی و بهره انتقال آن تقویت می‌شود. تصویر فیزیکی ساختار PBG در شکل نشان داده شده است.

به منظور به تصویر کشیدن تأثیر نوار ممنوعه که به طور کافی امواج سطحی را محدود می‌کند، توزیع میدان الکتریکی (E_c) برای این دو آنتن را شبیه‌سازی کرده‌ایم. مقاومت میدان الکتریکی امواج سطحی آنتن قراردادی، از ساختار PBG در شکل زیر قوی‌تر است که به طور مستقیم نشان می‌دهد که امواج سطحی استار داده شده در امتداد سوپسترا می‌تواند با استفاده از ساختار ویژه مقاطع PBG محدود شود.

نتایج شبیه سازی (صحت سنجی)

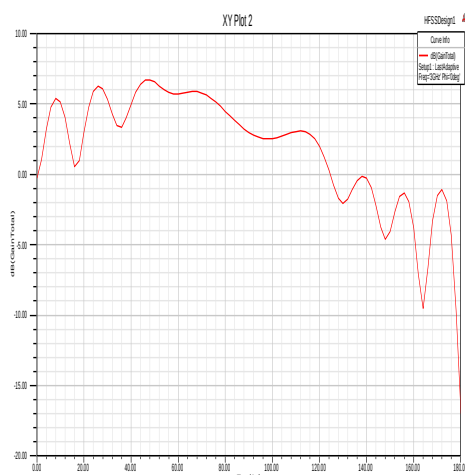
در اینکار در ابتدا آنتن را بدون وجود ساختار PBG در HFSS طراحی می‌شود. طراحی در فرکانس مرکزی نزدیک به ۳ گیگاهرتز (2.75GHz) انجام شده است.

پورت انتخاب شده برای این ساختار از نوع Plan Wave می‌باشد. همچنین یک Box برای شبیه‌سازی میدان دور در اطراف ساختار در نظر گرفته می‌شود. شرایط مرزی روی Box نیز از نوع Radiation تعیین می‌شود. ضریب دی‌الکتریک زیرلایه ۱۰ می‌باشد. در لایه کاملاً همسان PML به عنوان شرایط مرزی به سمت x و جهت y است در حالی که محاسبات و تقسیم سلولی به صورت 20×20 انتخاب می‌شود که در نهایت آنتن مایکروویو PGB توسط روش عددی FDTD شبیه سازی می‌شود. شعاع سیلندر $360 \times 360 \times 8$ میلی متر و همچنین فاصله بین دو سیلندر 35.2 میلی متر می‌باشد از فاصله پایین هرم و همچنین سطح بالای بستر توسط تحریک گاوسی منبع تغذیه استفاده می‌شود.

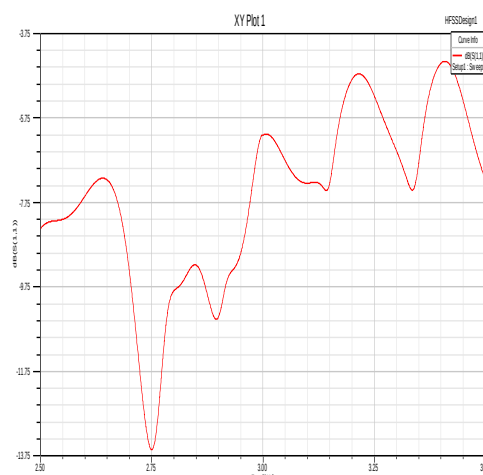


شکل (۳) آنتن طراحی شده در HFSS بدون PBG

مقدار S11 بر حسب فرکانس در شکل زیر نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است فرکانس رزونانس آنتن ۲٫۷۵ گیگاهرتز بوده و مقدار آن، اندازه‌ی ناچیز ۱۳٫۷۵- دسی‌بل است. الگوی تشعشعی بهره دوبعدی نیز در شکل زیر در فرکانس ۳ گیگاهرتز نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود الگوی تشعشعی جهت گیری خوبی ندارد. این موضوع ناشی از امواج سطحی میدان‌ها در زیرلایه می‌باشد. [۹]

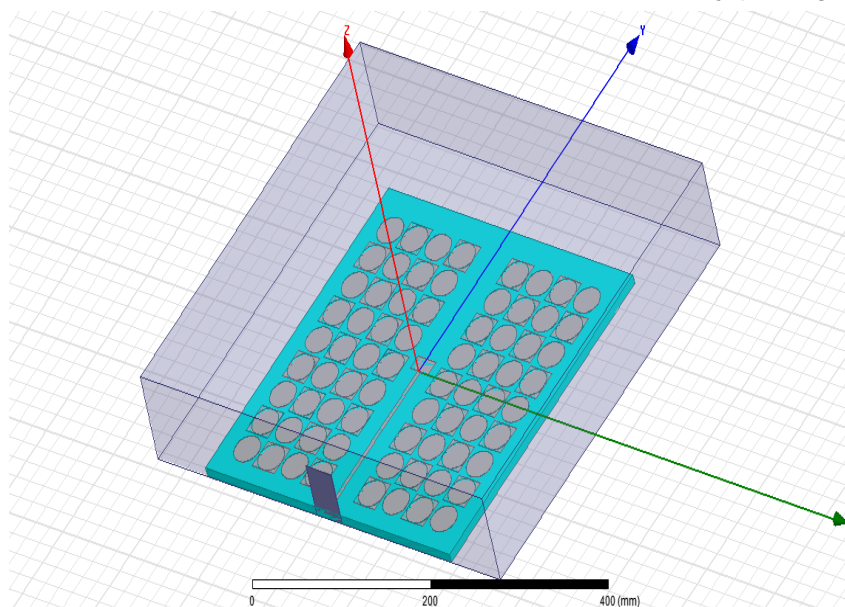


شکل (۵) الگوی تشعشعی بهره دوبعدی در فرکانس ۳ گیگاهرتز

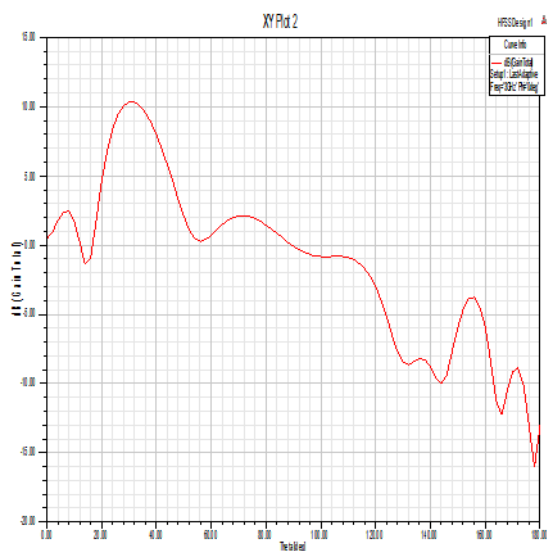


شکل (۴) نمودار S11 بر حسب فرکانس

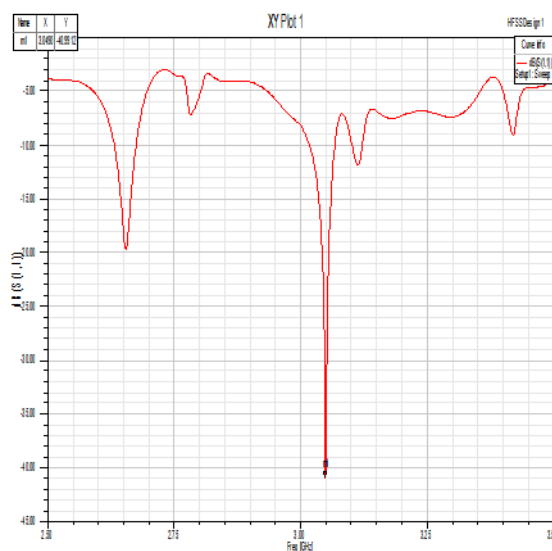
در مرحله‌ی بعد ساختار PBG را بر روی این آنتن پیاده کرده و نتایج آن را با حالت قبل مقایسه می‌کنیم. شکل زیر ساختار PBG پیاده‌سازی شده را در HFSS نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های بعدی مشاهده می‌شود. شکل زیر پارامتر S11 را بر حسب فرکانس نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در این حالت کمی فرکانس مرکزی جابجا شده ولی مقدار آن در فرکانس مرکزی بسیار بهبود پیدا کرده است و به حدود ۴۰- دسی‌بل رسیده است. همانطور که مشخص است جهت گیری آن نیز در این حالت بهبود یافته است.



شکل (۶) الگوی تشعشعی بهره در فرکانس ۳ گیگا هرتز



شکل (۸) الگوی تشعشعی بهره در فرکانس ۳ گیگاهرتز



شکل (۷) نمودار S11 بر حسب فرکانس

نتیجه گیری

روش مورد استفاده قلمرو زمانی تفاضل متناهی (FDTD)، و ویژگی‌های آنتن اتصال موقت بر اساس حفرات هوایی متناوب در پیش داده و سوبسترا مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حکایت از آن دارد که امواج سطحی که در امتداد سطح پیش ماده و سوبسترا پراکنده می‌شوند می‌توانند به واسطه تأثیر فاصله نواری کریستال نوری متقاطع به صورت نوار ممنوعه، به وسیله این ساختار فاصله نواری PBG جلوگیری شود، که در عین حال می‌توانند بیشتر انرژی امواج الکترومغناطیسی در سوبسترا و پیش ماده را ساطع نمایند و در عین حال دارای افت برگشتی کمتری (S_{11}) در مقایسه با آنتن‌های اتصال موقت قراردادی باشد که بر این اساس، یک بازده و بهره بالایی بدست آورده و عملکرد آن تقویت یافته است. به واسطه این مزایا، استفاده از آنتن‌های اتصال موقت کریستال نوری در حوزه‌هایی مثل ارتباطات ماهواره‌ای و الکترونیک هواپیمایی و غیره گسترش خواهد یافت.

آنتن‌های میکرواستریپ^۱ به طور افزاینده‌ای در کاربرد های UWB به دلیل دارا بودن خصوصیات جالب مورد استفاده ی قرار می‌گیرند آنتن‌های مسطح گزینه‌های خوبی برای تکنولوژی بی سیم فرا پهن باند می‌باشند

با توجه به شبیه سازی انجام شده مشخص گردید که امواج سطحی به همراه پچ PBG ویژه از بستر آنتن عبور می‌کنند و در مهار باند فرکانسی در مقایسه با از دست دادن امواج یک آنتن معمولی بسیار قوی تر عمل می‌کنند. بنابراین جفت انرژی تابش در فضای مورد نظر تولید می‌شود و همچنین نسبت افزایشی سیگنال نویز به عملکرد بهبود می‌یابد.

پس از اضافه کردن ساختار PBG در تشکیل این ساختار امواج EM در این محدوده فرکانسی قرار خواهند گرفت که پس از سرکوب توان نمی‌توانند در هر جهتی که می‌خواهند منتقل شوند. با استفاده از اثر PBG امواج در سطح پایینی بستر منتقل خواهند شد بنابراین امواج EM در قسمت‌های بالایی کاهش می‌یابند و انرژی منعکس شده در فضای آزاد آنها افزایش می‌یابد.

روش محدود در حوزه زمان تفاوت (FDTD)، مورد استفاده قرار گرفته و همچنین ویژگی‌های آنتن پچ بر اساس حفاری سوراخ هوایی تناوبی در بستر، مورد مطالعه قرار گرفته است. این نتایج نشان داد که امواج سطحی که انتشار در امتداد سطح بستر را دارند می‌توانند با PBG ویژه عبور (بلور فوتونی گاف^۲) سرکوب شوند. این ساختار به علت اثر ممنوعیت باند آن، که می‌تواند بیشتر از انرژی امواج الکترومغناطیسی در پرتو افکندن بستر به طور قابل توجهی تولید کند، عملکرد آن به خاطر وجود این مزایا است، استفاده از آنتن بلور فوتونی در زمینه‌هایی مانند ارتباطات تلفن همراه، ارتباطات ماهواره‌ای، حمل و نقل هوایی، و غیره افزایش یافته است.

منابع

1. E. Yablonovitch, Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics, J. phys. Rev. Lett. 58(20) (1987) 2059 – 2062.
2. A. Grau and F. De Flaviis, "A distributed antenna tuning unit using a frequency reconfigurable PIXEL-antenna," in Proceedings of the 4th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'10), pp. 1–5, April 2010.
3. A. Vasylenko, X. Rottenberg, B. X. Broze, M. Nuytemans, W. De Raedt, and G. A. E. Vandenbosch, "A frequency switchable antenna based on MEMS technology," in Proceedings of the 4th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP'10), pp. 1–3, April 2010.
6. C.-Y. Chiu, J. Li, S. Song, and R. D. Murch, "Frequency reconfigurable pixel slot antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 60, no. 10, p. 4921–4924, 2012.
8. Mur, G., "Absorbing Boundary Conditions for the Finite Difference Approximation of the Time Domain Electromagnetic Field Equation", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, EMC-23, pp. 377-382, 1981.
9. Berenger, J. P., "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves", J. Computational Physics, Vol 114, pp. 185-200, 1994.

¹ Micro stript

² Gaf

بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی^۱

شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده^۲

گروه مهندسی شیمی، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران.

چکیده

در اصطلاح، برداشت اولیه نفت، برداشت ثانویه نفت و برداشت دوران سوم نفت (ازدیاد برداشت نفت) جهت توصیف برداشت هیدروکربن‌ها بر اساس روش تولید یا زمان تولید آن‌ها به کار می‌رود. در برداشت اولیه نفت تولید هیدروکربن‌ها بر اساس مکانیزم‌های محرک طبیعی موجود در مخزن بدون نیاز به کمک اضافی تزریق سیال‌هایی مانند آب و گاز صورت می‌گیرد. در بیشتر موارد محرک‌های طبیعی نسبتاً ضعیف هستند و در نتیجه برداشت کلی نفت کم خواهد بود. فقدان محرک‌های طبیعی کافی در بیشتر مخازن منجر به معرفی محرک‌های مصنوعی برای کمک به انرژی‌های طبیعی مخزن می‌شود که پرکاربردترین این روش‌ها تزریق آب یا گاز است. برداشت ثانویه نفت به برداشت اضافی به وسیله روش‌های متداول تزریق آب و تزریق گاز غیرامتزاجی اطلاق می‌گردد. معمولاً فرایند انتخابی برداشت ثانویه به دنبال برداشت اولیه انجام می‌شود؛ ولی ممکن است که همزمان هم صورت گیرد. قبل از انجام یک پروژه برداشت ثانویه باید بطور کامل اثبات شود که فرآیندهای طبیعی برداشت کافی نیستند؛ در غیر این صورت ریسک هدررفت سرمایه‌گذاری پروژه برداشت ثانویه وجود دارد. برداشت دوران سوم نفت (ازدیاد برداشت نفت) به برداشت اضافی بعد از روش‌های برداشت اولیه و ثانویه اطلاق می‌گردد. روش‌های مختلف ازدیاد برداشت نفت اساساً برای برداشت نفت باقیمانده، نفتی که بعد از روش‌های برداشت اولیه و ثانویه در مخزن باقی می‌ماند، طراحی می‌شوند.

کلمات کلیدی: برداشت اولیه، برداشت ثانویه، تزریق آب، تزریق گاز، ازدیاد برداشت،

۱- مقدمه

مطابق پیش‌بینی‌های به عمل آمده، افزایش تقاضای جهانی برای انرژی همچنان ادامه خواهد داشت و اگر چه استفاده از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی‌های هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش در مقایسه با انرژی‌های فسیلی کم بوده و نقش اصلی منابع انرژی تجدیدپذیر حداقل تا دو دهه آینده نقش تکمیلی و حامی خواهد بود. با درک این واقعیت که میزان تقاضای انرژی جهانی در سال‌های آتی به بالاترین میزان خود خواهد رسید، نیاز به ایجاد یک تحول علمی و عملی در هسته اصلی علوم مهندسی نفت و گاز، جهت افزایش میزان بهره‌وری بیش از پیش احساس می‌شود. در این میان، علم نانو بعنوان علمی که هدف آن بازنگری در ساختار تولیدی مواد و بهینه کردن فرآیند تولید و بهره‌برداری از آن هاست، این پتانسیل را دارد که انقلابی عظیم در تمامی فناوری‌های حال حاضر بشری از جمله بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری ایجاد نموده و با استفاده از قابلیت‌های گسترده خود فناوری‌های پر بازده تر و سالم تر نسبت به آنچه امروزه شاهد هستیم، معرفی نماید. بصورت کلی علم نانو از طریق کنترل ساختار ماده در ابعاد اتمی و ایجاد ساختار بهینه برای مواد، سبب بهبود بسیاری از خواص مانند سطح مفید، استحکام، صرفه‌جویی در میزان ماده مصرفی و غیره می‌گردد. در صنعت

۱- این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

۲- نویسنده مسئول: asad.malekzadeh@gmail.com

نفت و گاز نیز از آنجا که قدرت، پایداری و ابعاد تجهیزات مورد استفاده از اهمیت به سزایی برخوردار است می‌توان با استفاده از فناوری نانو به تحولات چشمگیری دست یافت. چنانچه در یکی از مقالاتی که به تازگی چاپ شده به این نکته اشاره شده است که انتظار می‌رود با کمک فناوری نانو ضریب برداشت جهانی نفت و گاز تا حدود ۱۰٪ افزایش پیدا کند [۱]. به منظور پاسخگویی به روند رشد روز افزون تقاضای جهانی جهت تامین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند و یا با استفاده از فناوری‌های گوناگون، نفت و گاز در جا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرآیند های ازدیاد برداشت مورد بهره‌برداری قرار گیرد. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی‌تر و اصولی‌تر می‌باشد. امروزه فناوری نانو در زمینه ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی، پیشرفت‌های اساسی را ایجاد نموده است. برای مثال استفاده از سیالات هوشمند یا نانوسیالات که سبب تغییر در خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن شده و نیروی کششی دراگ و اتصال دهنده‌ها را در جهت پیوستگی شن کاهش می‌دهند و یا استفاده از نانو مواد فعال سطحی^۱ که سبب افزایش میزان برداشت از مخازن به نسبت کاملاً کنترل شده می‌گردد.

در سال ۲۰۰۹ قجری و همکارانش با تکیه بر ایده‌ی استفاده از نانو تکنولوژی در فرآیند ازدیاد برداشت نفت، نحوه تاثیر نانو ذرات سیلیس در سیلابزنی آبی را بر روی تغییرات ترشوندگی مخازن و میزان برداشت نفت مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از این نانوذره می‌توان ترشوندگی سطوح سنگ‌های کربناته شکافدار در مخازن را تغییر داده و از حالت نفت‌تر و یا میانه به آب‌تر تبدیل کرد. بدین منظور تغییرات آب دوستی با استفاده از روش زاویه تماس روی مغزه‌های شنی و کربناته مورد ارزیابی قرار گرفته شد. همچنین این کار روی مغزه‌های اشباع شده با آب نمک و نفت که آب نمک و نانو ذره با دو غلظت مختلف به آن‌ها تزریق شده بود صورت گرفت. با مقایسه نتایج زاویه تماس مشاهده شد که با افزایش غلظت نانو ذره، زاویه تماس کوچک شده که این امر به معنای افزایش آب دوستی و به موجب آن افزایش خاصیت ترشوندگی مغزه می‌باشد. در مرحله بعد تاثیر افزایش غلظت نانو ذره سیلیس مورد آزمایش قرار گرفت. با مقایسه نتایج بدست‌آمده مشخص شد که وجود نانو ذره میزان بازیافت نفت را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش درصد وزنی نانو ذره تا ۰/۱٪، میزان بازیافت نفت بیشتر شده، این در حالی است که تزریق نانو ذرات با درصد وزنی ۰/۵ تاثیر چندانی در میزان برداشت نخواهد داشت [۲].

کلیانگ وانگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۰ مطالعاتی را روی تاثیر تزریق آب بوسیله استفاده از نانو پودر SiO_2 در ناحیه نفتی با نفوذ پذیری کم انجام دادند. آن‌ها میدان نفتی داکینگ^۳ را برای شبیه‌سازی آزمایشات خود انتخاب کردند. آزمایش های آن‌ها نشان داد که فناوری تزریق نانو پودر SiO_2 می‌تواند تزریق‌پذیری آب را در چاه‌هایی با نفوذ پذیری کم افزایش و فشار تزریق آب را کاهش دهد، در نتیجه باعث کاهش مقاومت در برابر جریان آب تزریقی، افزایش نفوذ پذیری آب و تقویت نرخ تزریق گردد [۳].

در سال ۲۰۱۰ تیانتیانگ‌زانگ^۴ به بررسی پایداری امولسیون‌ها بوسیله نانو ذرات و کاربرد آن‌ها در ازدیاد برداشت نفت پرداخت. در این پژوهش امولسیون پایدار و تثبیت شده بوسیله نانوذرات سیلیکا با قطر ۵ نانومتر با پوشش سطح‌های مختلف آماده گردید و نشان داده شد که امولسیون تشکیل شده بوسیله نانو ذرات سیلیکا با غلظت ۰/۵ درصد وزنی و یا بالاتر می‌تواند بدون منعقد شدن برای چندین ماه پایدار باقی بماند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که با استفاده از نانو ذرات آب‌دوست، امولسیون نفت-آب تولید می‌شود این در حالی است که عملکرد نانو ذرات آبگریز، تولید امولسیون آب-نفت می‌باشد. همچنین مشخص شد که در امولسیون نفت-آب با افزایش شوری، گرانیروی افزایش می‌یابد در حالی که در امولسیون آب-نفت، گرانیروی با افزایش شوری کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که امولسیون به خواصی از قبیل رفتار فازی، ساختار درونی امولسیون و

1 - Surfactants

2 - Kelian Wang

3 - Daqing

4 - Tiantian Zang

رئولوژی غلظت نانوذرات، شوری و نسبت حجم اولیه آب و نفت وابسته می‌باشد [۴]. سلیمانوف^۱ و همکارانش [۵] توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات باعث افزایش خواص رئولوژیکی و نیز افزایش تاثیر محلول سورفکتانت در پروسه برداشت نفت شده و در وهله اول موجب ایجاد تغییر در ضریب کشش سطحی مخلوط نفت و سورفکتانت می‌گردد. همچنین جو^۲ و همکارانش توانستند نشان دهند که استفاده از نانوذرات پلی سیلیکون می‌تواند سنگ مخزن را از حالت نفت دوست به آبدوست تغییر دهد. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترون عبوری، نانو ذرات پلی سیلیکون بر روی دیواره حفرات مشاهده شدند [۶].

۲- روش تحقیق

۲-۱- برداشت نفت

بطور کلی به مجموعه عملیاتی که از اکتشاف تا قبل از پالایشگاه در زمینه تولید و استخراج نفت انجام می‌گیرد، صنایع بالادستی گفته می‌شود. این عملیات شامل اکتشاف، حفاری، بهره‌برداری و مدیریت مخازن می‌باشد. برداشت نفت در بخش مخزن قرار می‌گیرد؛ و شامل برداشت اولیه^۳، برداشت ثانویه^۴، برداشت ثالثیه^۵ (ازدیاد برداشت) و برداشت نهایی^۶ نفت می‌باشد [۷].

الف) برداشت اولیه:

در طول عملیات برداشت اولیه، انرژی طبیعی مخزن برای جریان سیال هیدروکربور از مخزن به درون چاه و بر روی سطح بکار می‌رود. سه منبع مختلف انرژی وجود دارند که هر کدام مکانیزم رانش مخصوص به خود را اعمال می‌کنند. در مراحل ابتدایی توسعه یک مخزن نمی‌توان مکانیزم تولید طبیعی مخزن را دریافت. با تحلیل داده‌های تولیدی (فشار مخزن و نسبت سیال تولیدی)، نوع مکانیزم تولید طبیعی بدست می‌آید. اولین خواسته در ابتدای عمر مخزن، تشخیص مکانیزم رانش در تولید طبیعی از مخزن می‌باشد. مطلبی که با دانستن آن می‌توان نحوه مدیریت و برداشت از مخزن در مراحل متوسط و بعدی را بطور قابل توجهی بهبود بخشید. مکانیزم های تولید طبیعی مخزن را می‌توان در پنج نوع خلاصه کرد [۷].

- رانش توسط گاز محلول در نفت
- رانش توسط گاز در کلاهی گازی مخزن
- رانش توسط آب
- ریزش ثقلی در مخزن

ب) برداشت ثانویه از مخزن

روش‌های برداشت ثانویه از مخزن در اثر تلاش بشر برای بهبود میزان برداشت از مخزن و پس از آنکه روش‌های اولیه و انرژی طبیعی مخزن غیر موثر و کم‌رنگ شدند بوجود آمدند. دو تکنیک عمده در این مرحله از توسعه مخزن بکار می‌روند [۷]:

- سیلابزنی با آب
- سیلابزنی با گاز

1 - Soleimanov

2 - Ju

3- Primary Recovery

4- Secondary Recovery

5- Tertiary Recovery

6- Ultimate Recovery

سیلابزنی با آب:

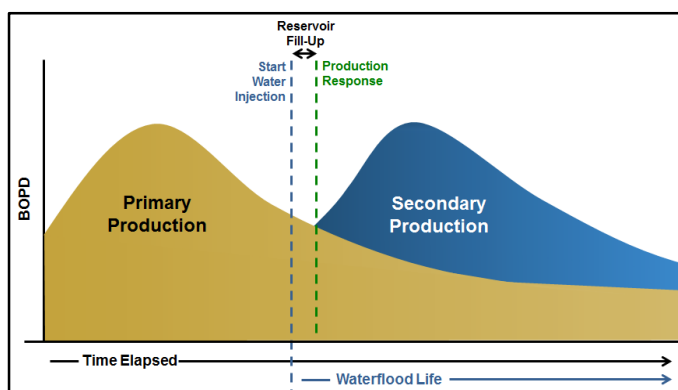
این روش شامل تزریق آب در داخل مخزن می‌شود. اهداف این روش عبارتند از:

- نگهداری فشار مخزن

- جابجا کردن نفت به سمت چاه‌های تولیدی (اصطلاحاً جاروب نفت)

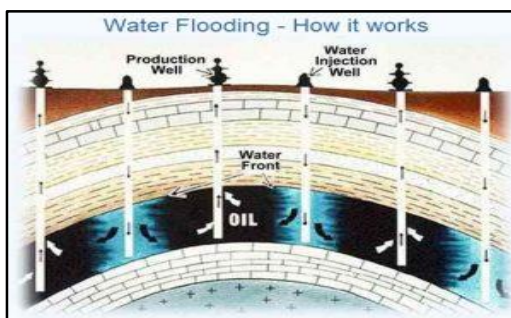
در اینجا این نکته قابل ذکر است که موفقیت آمیز بودن عملیات سیلابزنی مستلزم تصمیمات و طراحی‌هایی بر پایه داده‌های دقیق نفوذپذیری نسبی در جهت‌های مختلف، ارایه مناسب چاه‌های تزریقی و تولیدی و جهت ترک‌ها تنش‌های مکانیکی در مخزن است [۷].

از فرآیند تزریق آب به مخازن نفتی هم برای تثبیت فشار مخزن و هم برای ازدیاد برداشت نفت استفاده می‌شود. یکی از مهمترین مشکل در این فرآیند، تشکیل رسوب در اثر تغییر دما یا فشار و یا اختلاط آب تزریقی با آب سازند در داخل مخزن نفت و یا در لوله‌های تزریقی می‌باشد. تشکیل رسوب در فرآیند تزریق آب دریا و اختلاط آن با آب سازند به علت حضور یون‌های مشترک در دو آب می‌باشد. رسوب تشکیل شده در منافذ مخزن مانع حرکت نفت می‌شود [۸].



شکل (۱): زمان اجرای تزریق آب جهت ازدیاد برداشت ثانویه [۸].

نفت ابتدا با انرژی طبیعی مخزن برداشت می‌شود، در سازندهای دارای نفت، هیدروکربن در تخلخل‌های ماتریس سنگ، تحت فشار حبس هستند. فشار مخزن بسته به عمق و طبیعت رسوب نفت خام (سبک یا سنگین) متفاوت است. فشار و درجه حرارت یک مخزن نفت معمولاً در محدوده ۲۰۰ تا ۵۰۰۰ و ۲۵ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. با ایجاد ضربه به یک سازند فعال هیدروکربوری، نفت و گاز به دلیل فشار مخزن خارج می‌شود. این فشار که نیروی رانش نفت و گاز برای رسیدن به سطح است، به تدریج کاهش می‌یابد و به نقطه‌ای می‌رسد که برای بالا کشیدن نفت، به پمپ احتیاج است. افت فشار به تدریج با زمان به نقطه‌ای می‌رسد که انرژی لازم برای جابجایی نفت از مخزن به چاه کافی نیست و به منظور تولید نفت بیشتر می‌بایست فشار مخزن را تامین کرد. برای ترمیم فشار و سهولت در تزریق آب یا گاز به داخل مخزن، چاه‌های تزریقی جدید در اطراف چاه‌های تولیدی حفر و یا چاه‌های تولیدی مناسب به چاه‌های تزریقی تبدیل می‌شوند [۸].

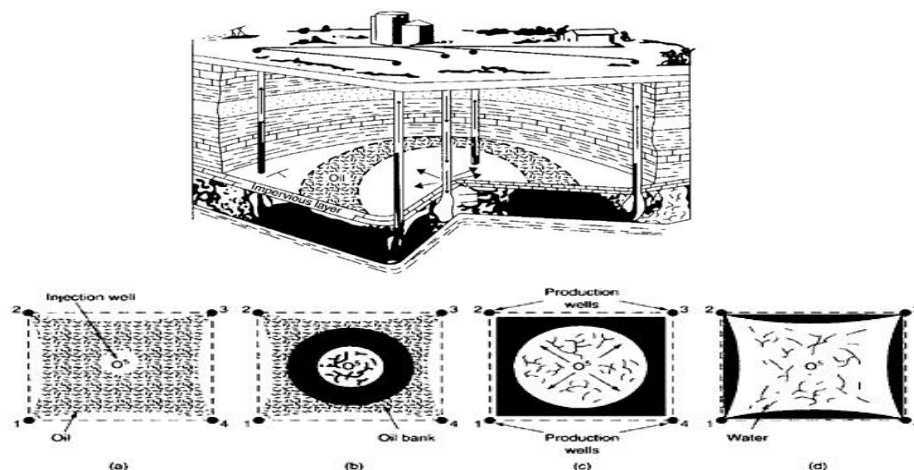


شکل (۲): نحوه تزریق و اثر آب [۸].

هدف از تزریق آب در مخزن تامین انرژی مورد نیاز برای رانش نفت به وسیله ثابت نگه داشتن فشار یا به وسیله جارو کردن نفت در شرایطی که تخلیه طبیعی جوابگوی میزان تولید مورد نیاز نیست، می باشد [۸]. تزریق آب به دو صورت تزریق در سفره های آبی موجود و تزریق در ستون نفتی در مخازن کاربرد دارد. راندمان تزریق آب در مخازن نفتی آب دوست^۱ بسیار بیشتر از بازدهی آن در مخازن نفتی نفت دوست^۲ می باشد. توجه به این نکته ضروری است فعال بودن سفره آبی و یا تزریق آب در مخازن گازی در تولید این مخازن تاثیر منفی دارد [۸]. پارامترهای مهم در مطالعه راندمان تزریق آب عبارتند از:

- بازده میکروسکوپی و ماکروسکوپی،
- نسبت تحرک پذیری، الگوی تزریق،
- فشار بهینه برای تزریق
- زمان شروع تزریق.

پارامتر مهم در راندمان بازدهی سطحی الگوی چاه های تولید و تزریق می باشد که نحوه طراحی این الگوها با توجه به پارامترهای زمین شناسی و اقتصادی می تواند به فرم های ۵ نقطه (یک چاه تزریقی در مرکز مربع و چهار چاه تولیدی در رئوس آن)، الگوی خطی، تزریق محیطی، ۷ نقطه، ۹ نقطه معمولی و معکوس و الگوی ویژه (۳، ۲ و ۴ نقطه) باشد [۸].



شکل (۳): جابجایی نفت در مخزن توسط سیلاب زنی شیمیایی یا سیلاب زنی با آب [۸].

برای مخزن با شیب قابل قبول و تراوایی بالا الگوی محیطی و برای مخزن با شیب و تراوایی کم الگوی دیگر توصیه می شود. در مخزن با سفره آبی فعال هنگامی که فشار مخزن در حین تولید کاهش می یابد به علت ایجاد فضای خالی، آب به سمت ناحیه هیدروکربن دار (ستون نفتی) حرکت می کند. تراوایی و اندازه سفره آبی، مهم ترین پارامترهایی هستند که باید در ارزیابی فعال بودن یا فعال نبودن سفره آبی در نظر گرفت. همان طور که می دانیم تولید میدان نفتی با مشاهده آب در چاه تولیدی قطع نخواهد شد. عوامل موثر بر تزریق آب (سیلاب زنی):

- شکل هندسی مخزن
- خواص سیالات مخزن
- عمق مخزن
- سنگ شناسی و خواص سنگ مخزن
- یکنواختی مخزن و پیوستگی ضخامت مفید آن

¹ Water wet

² Oil wet

برای تعیین بهترین زمان برای شروع تزریق آب باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

- میزان پیش بینی شده بازیافت نفت
- دبی تولید نفت
- میزان سرمایه نقدی
- وضعیت دسترسی به تجهیزات آماده سازی آب تزریقی و کیفیت آن‌ها
- هزینه تصفیه و تزریق آن‌ها
- هزینه مربوط به تسهیلات نگهداری آب
- هزینه های حفاری چاههای تزریقی آب با تبدیل برخی از چاههای تولیدی به تزریقی

برخی از عوامل ذکر شده فوق مخالف یکدیگر عمل می کنند، بنابراین برای انجام عملیات انتخاب زمان شروع تزریق آب این است، که مقدار نفت باقیمانده در مخزن پس از پایان دوره بازیافت اولیه به اندازه ای باشد که انجام بازیافت ثانویه از نظر اقتصاد بصره باشد. البته بالا بودن اشباع نفت باقیمانده فقط به این معنا نیست که حجم نفت باقیمانده زیاد باشد بلکه شرایط نفوذپذیری نسبی سیالات را نیز شامل می شود [۹].

سیلابزنی با گاز

این روش شبیه روش سیلابزنی با آب می باشد و برای نگهداری فشار گنبد گازی بکار می‌رود. حتی اگر نیازی به جاروب نفت توسط گاز نداشته باشیم. اینجا نیز نیاز به طراحی و تصمیمات درست در مورد جایگاه و آرایه مکانی چاه های تزریقی و تولیدی و تنش های مکانیکی موجود در قله و سنگ مخزن می‌باشد. علاوه بر این یک مسئله وجود دارد که بر پیچیدگی مطلب می‌افزاید و آن عبارت است از اینکه با تزریق مجدد گاز خشک شده بدرون مخزن، برش های سبک نفت جذب گاز می شوند. ممکن است این مسئله چندان مشکل به نظر نرسد و تصور شود که در سطح می توان ترکیب ها را از گاز جدا کرد ولی مسئله در توافق در مورد نسبت های مختلف برش ها در شرکت ها می باشد. بنابراین تصمیم گیری در مورد انجام چنین عملیاتی مستلزم در نظر گرفتن چنین نکاتی می باشد [۷].

ج) روش های ازدیاد برداشت

روش های برداشت اولیه و ثانویه معمولاً تنها در حدود ۳۵ درصد از نفت اولیه درجا را استخراج می کنند. بدیهی است که افزایش میزان برداشت مسئله قابل توجهی است. چندین روش برداشت بهبود یافته طراحی شده اند و اندکی از آن‌ها در اینجا مرور می‌شوند [۷].

ازدیاد برداشت حرارتی: این روش شامل اعمال حرارت به مخزن توسط تزریق انواع بخار، آب داغ، روش الکترومغناطیس و غیره می باشد و سبب کاهش ویسکوزیته نفت سنگین و خروج آن از مخزن می گردد.

ازدیاد برداشت با استفاده از تزریق گاز: در این روش با استفاده از تزریق گاز های نامحلول مانند گاز طبیعی، دی اکسید کربن و نیتروژن که در مخزن منبسط شده و باعث حرکت سیال به دهانه چاه می گردند و نیز با استفاده از تزریق گاز های محلول در نفت که سبب کاهش ویسکوزیته آن می گردند، سبب افزایش ازدیاد برداشت از چاه می شوند.

ازدیاد برداشت با استفاده از تزریق مواد شیمیائی: در این روش که به (CEOR=Chemically Enhanced Oil Recovery) نیز شهرت دارد، با استفاده از تزریق مواد و ترکیبات شیمیائی سعی می شود تا میزان برداشت از مخازن افزایش

یابد. از آنجائیکه علم نانو توانائی بهبود بخشیدن به خواص ماده و ایجاد ترکیبات نوین شیمیائی را دارا می باشد، تاثیرات چشمگیر آن را می توان در CEOR مشاهده نمود.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانو مواد: در این حالت بصورت کلی استفاده از نانو سیالات، نانو ذرات، نانو سورفکتانت ها و هیدروژل های نانو کامپوزیتی سبب بهبود فرآیند بهره وری از چاه می گردد.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانو سیالات: امروزه نسل جدیدی از سیالات مورد توجه محققین در صنایع نفت و گاز قرار گرفته اند که نانو سیالات و یا سیالات هوشمند نام دارند و از افزودن نانو ذرات با غلظت های حجمی کم به سیالات به منظور افزایش و بهبود خواص آن ها بدست می آید. از مهمترین خواص نانو سیالات می توان به این امر اشاره نمود که خواص آن ها شدیداً تابع ابعاد نانو ذرات موجود در آن هاست [۵]. چنین سیالات هوشمندی می توانند با تغییر ترشوندگی، کاهش نیروی کششی و نیز استحکام ماسه، فرآیند ازدیاد برداشت از مخازن را بهبود دهند.

ازدیاد برداشت با استفاده از نانوذرات: از جمله کاربردهای مهم نانوذرات در این زمینه می توان به استفاده از نانو مواد جهت تسهیل جدایش نفت و گاز در داخل مخزن و استفاده از نانوذرات در داخل سنگ مخزن اشاره نمود. این نانو ذرات هنگامی که با سنگ های حاوی نفت خام تماس پیدا می کنند، محموله های خود را رها کرده و باعث بازیافت نفت خام می شوند.

شرکت نانوتکنولوژی "جی پی" در هنگ کنگ یکی از پیشگامان توسعه کربید سیلیکون، یک پودر سرامیکی در ابعاد نانو می باشد. با استفاده از این پودرها می توان مواد بسیار سختی تولید نمود. این مخلوط آسیب های وارده به دیواره مخزن در چاه را حذف نموده و قابلیت استخراج نفت را افزایش می بخشد. همچنین طبق مطالعات انجام شده، یکی از کاربرد های اساسی نانو ذرات، تغییر دادن میزان ترشوندگی^۱ سنگ مخزن می باشد. ترشوندگی یک سیستم سیال- سنگ مخزن به صورت توانایی پخش شدن یک سیال بر روی سطح سنگ در حضور سیال دیگر تعریف می شود. ترشوندگی نه تنها تعیین کننده توزیع اولیه سیال است بلکه یک فاکتور اصلی در نحوه ی جریان سیال در مخزن می باشد و نقش مهمی در تولید نفت دارد. در حالت کلی سنگ مخزن آب دوست نسبت به نفت دوست ارجحیت دارد. زیرا در صورت نفت دوست بون سنگ مخزن، نفت تمایل دارد که به آن بچسبد و میزان تولید کاهش یابد. زمانی که چاه مورد بهره برداری قرار می گیرد در اثر صدماتی که به سازند وارد می شود ممکن است سنگ مخزن حالت نفت دوست پیدا کند که در این حالت با استفاده از نانو ذرات می توان به خوبی ترشوندگی سنگ مخزن را اصلاح نمود. به این منظور اثر نانو سیالات بر روی ترشوندگی سنگ کربناته به عنوان یکی از عوامل اصلی در ازدیاد برداشت در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته و از نانو ذرات SiO_2 و CaCO_3 ، TiO_2 ، ZrO_2 در این راستا استفاده می شود [۱۰].

ازدیاد برداشت با استفاده از نانوسورفکتانت ها: مواد فعال سطحی یا همان سورفکتانت در سال ۱۹۵۰ از واژه Surface Active Agent به معنای فعال کننده سطحی استخراج شده و به موادی اطلاق می شود که سبب کاهش کشش سطحی می شوند. سورفکتانت ها معمولاً ترکیبات آلی هستند که دارای گروه های هیدروفوبیک (دافع آب) که نقش دم و دنباله را دارد و گروه های هیدروفیلیک (جاذب آب) که نقش سر را دارد می باشند، بنابراین به تناسب ساختار مولکولی در حلال های آلی و آب حل شده و باعث کاهش کشش سطحی می شوند. سورفکتانت ها را می توان بر اساس ساختار و روش تولید به انواع سورفکتانت های زیستی (بیوسورفکتانت)، سورفکتانت با ابعاد نانو (نانوسورفکتانت) و سورفکتانت های پلیمری تقسیم بندی نمود. در

^۱ - Wettability

حقیقت زمانی که این مواد در حلال حل می‌شوند، ساختارهایی با ابعاد نانو تا میکرومتری پدید می‌آورند [۱۱]. اگر سورفکتانت شامل یک زنجیره هیدروکربن با کمتر از دوازده اتم کربن باشد، حلال در آب نامیده می‌شود. به این دلیل که سرگروه های قطب مغناطیسی تمام مولکول را در آب می‌کشند. به هر حال، وقتی که طول زنجیره هیدروکربن بزرگتر از چهارده اتم کربن است این ترکیب ها سورفکتانت غیر حلال در آب نامیده می‌شوند. به این دلیل که آن ها در آب به دلیل دارا بودن زنجیره بلند هیدروکربن حل نمی‌شوند. زمانی که ابعاد مواد اشاره شده در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانو متر قرار می‌گیرد، به آن ها نانو سورفکتانت اطلاق می‌شود. طبق بررسی های انجام شده توسط محققان، فعالیت مواد با اندازه آن ها و نیز میزان سطح فعال آن ها رابطه دارد. این پدیده می‌تواند بیانگر این امر باشد که خواص سورفکتانت ها (که همان فعالیت های سطحی آن ها می‌باشد) نیز با کاهش ابعاد به گونه بسیار چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در حالت عادی می‌توان گفت که پوشاندن یک سطح با سورفکتانت های کلاسیک، نسبت به نانوسورفکتانت ها حدود ۱۰۰ برابر ماده بیشتری می‌طلبد. همچنین خودآرایی مولکول ها در نانوسورفکتانت ها به گونه بسیار بهتری صورت می‌پذیرد. یکی از مهم ترین خواص سورفکتانت ها، محلول امولسیون ها یعنی قطرات و حباب های کوچکی است که از یک مایع در مایع دیگر تشکیل می‌شود [۱۲]. بر اساس خاصیت دم خود به دسته های غیریونی^۱ یا بدون بار، آنیونی^۲ یا دارای بار منفی، کاتیونی^۳ یا دارای بار مثبت و آمفوتریک^۴ که هم بار مثبت و هم بار منفی دارد، تقسیم بندی می‌شوند [۱۳].

یکی از مهم ترین خواص سورفکتانت ها، محو امولسیون ها یعنی قطرات و حباب های کوچکی است که از یک مایع در مایع دیگر تشکیل می‌شود. برای مثال زمانیکه از عملیات سیلاب زنی با سورفکتانت و پلیمر در مخازن استفاده می‌شود، امولسیون‌های آب-روغن شکل می‌گیرند که برای جداسازی آن ها مجدداً از انواع سورفکتانت ها استفاده می‌گردد [۱۴]. هدف اولیه از استفاده از سورفکتانت‌ها در ازدیاد برداشت از مخازن، کاهش کشش سطحی، تصحیح تر شونده گی سنگ مخزن و کاهش ویسکوزیته نفت می‌باشد. با اینحال بسیاری از این مواد در فواصل ابتدائی سازند جذب شده و یا تاثیر معکوسی بر ترشونده گی دارند. بنابراین سبب کاهش تاثیر آن ها در پائین آوردن فشار موئینگی می‌گردد. در حالیکه هدف، کاهش فشار موئینگی و افزایش تراوانی سازند در ازدیاد برداشت می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهند که نانوسورفکتانت ها سبب کاهش فشار موئینگی در ناحیه شکست مخزن شده و جریان یافتن سیال مخزن را در این ناحیه بهبود می‌بخشند. زیرا زمانی که ابعاد این مواد در محدوده نانو متری قرار می‌گیرد، توانائی آن ها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آن ها افزایش چشمگیری می‌یابد [۱۵].

ازدیاد برداشت با استفاده از هیدروژل های نانوکامپوزیتی: طبق مطالعات چنانچه مقدار تولید آب همراه نفت به دلیل

شکاف طبیعی مخزن یا افزایش تزریق آب برای ازدیاد برداشت، افزایش یابد و چاه به مرحله آب دهی برسد در این صورت، تأسیسات روزمینی (سطح الارضی) قادر به جداسازی آب از نفت نخواهد بود. لذا باید پس از شناسایی منشأ شکاف ها، از ژل ها یا روش‌های دیگر برای مدیریت آب مخزن استفاده شود. در این روش، ترک ها (شکاف‌ها) و سطح مخروطی آب مخزن با استفاده از ژل پوشیده شده و در نتیجه از افزایش و بالا آمدن بیش از اندازه آب در مخازن جلوگیری می‌شود. در حقیقت هیدروژل ها، پلیمرهای سه بعدی آبدوستی هستند که در تماس با آب متورم شده ولی حل نمی‌شوند.

امروزه از انواع این مواد که در فرآیند ازدیاد برداشت استفاده می‌شود می‌توان به ژل‌های نانوکامپوزیتی با پایه پلی اکریل آمید (Polyacrylamide-based nanocomposite gels) اشاره نمود. امروزه در جهت افزایش مقاومت شبکه ژل های پلیمری، از هیدروژل های نانوکامپوزیتی استفاده می‌گردد که به اختصار به آن ها NC gels اطلاق می‌شود. این ژل ها تمایل

1 - Nonionic
2 - Anionic
3 - Cationic
4 - Amphoteric

زیادی به جذب آب دارند در حالیکه مقاومت مکانیکی و پایداری حرارتی بالائی نیز از خود نشان می دهند. در حقیقت نانوکامپوزیت های پلیمری نسل جدیدی از مواد هستند که حاوی یک زمینه (ماتریس) پلیمری و درصد کمی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) از یک تقویت کننده نانومتری می باشند که با یک روش مناسب با هم آمیخته شده اند. ذرات نانو به علت داشتن ابعاد بسیار کوچک و سطح تماس بسیار بالا در میزان بارگذاری متری باعث بهبود خواص مورد نظر گردیده و مسائل مربوط به تقویت کننده های رایج، نظیر افزایش وزن، نقایص سطحی و مشکلات فرآیند پذیری در آن ها کمتر دیده می شود. این سیستم های ژل شونده شامل یک پلیمر محلول در آب و یک یا چند عامل اصلی اتصال عرضی هستند، همچنین این نوع پلیمرها به دلیل ویسکوزیته مشابه آب با پمپ های معمولی قابل تزریق به مخازن هستند، این مواد با رسیدن به محل مورد نظر به یک توده سفت تبدیل می شوند و نقش خود را به عنوان عامل تغییر دهنده مسیر یا مسدود کننده ایفا می کنند. در این روش به علت تشابه ویسکوزیته آب و ژل های پلیمری هزینه تزریق به چاه بسیار کمتر از سایر روش ها است، همچنین عمق نفوذ این نوع ژل ها به علت تشابه ساختاری با آب بسیار بیشتر از سیمان است؛ از سوی دیگر استحکام و ماندگاری این نوع ژل ها در قیاس با ژل های معمولی و در شرایط مشابه بیش از ده برابر است. همچنین باید توجه داشت که این نوع ژل ها دائمی نیستند و در صورت تزریق اشتباه، می توان با عامل شیمیایی دیگر اثر آن ها را خنثی کرد [۱۶ و ۱۷].

نتیجه گیری

در این مقاله روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا به اختصار روش های مرسوم تولید و استخراج و نیز ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار گرفت و در هر زمینه نیز جنبه های بهبود هر روش شرح داده شد. این امر بدان معنی است که مشکلات موجود در صنایع، به ویژه صنعت نفت را می توان با استفاده از فناوری نانو - که نگرشی نوین در چینش و ساختار ماده می باشد و سبب بهبود خواص آن می گردد- تا حدود زیادی مرتفع نمود. همانگونه که با اشاره به منابع معتبر در متن ذکر شد، نتایج آزمایش های انجام شده توسط محققان نشان می دهد که در بخش ازدیاد برداشت، می توان با استفاده از نانو ذرات، نانو سیالات، نانو سورفکتانت ها و هیدروژل های نانوکامپوزیتی، میزان برداشت سیال درجا در مخازن را تا حد زیادی بهبود بخشید.

مراجع

- [۱] سید رامین موسوی. (۱۳۸۹). کاربرد فناوری های میکرو و نانو در صنعت نفت و گاز، *ماهنامه فناوری نانو*، شماره ۱۶۲، صفحه ۲۴-۱۸.
- [۲] قجری، زینب، وثوقی، زینب. (۱۳۸۹). استفاده از نانوذرات SiO_2 در مرحله سیلابزنی آبی و نحوه تاثیر آن روی تغییرات ترشوندگی مخازن و میزان برداشت نفت، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، صفحه ۱۱-۲۸.
- [۸] انگنایی، حجت الله، پورعبدالله، کبری. (۱۳۹۱). مطالعه ای آزمایشگاهی تاثیر سورفکتانت آمفوتری بر ازدیاد برداشت از مخازن نفتی به روش سیلابزنی آبی، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، صفحه ۲۸-۱۶.
- [۹] امیری بختیار، حسن، نورانی نژاد، خیرالله، محمدی، حسین. (۱۳۹۱). تأثیر خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن بر روند تولید مخزن آسماری میدان مارون، *ماهنامه ی اکتشاف و تولید*، شماره ۹۳، صفحه ۵۱-۴۷.
- [۱۰] علی کریمی. (۱۳۸۹). تزریق نانوسیالات به عنوان شیوه جدید ازدیاد برداشت نفت. *پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی*، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران، صفحه ۱۹-۱۰.
- [۱۱] دانشیار، کمال. (۱۳۸۱). روشهای استخراج نفت، شرکت مهندسی و توسعه نفت، واحد پژوهش و توسعه، صفحه ۲۳.
- [۱۳] میر مقتدایی، مسیح. (۱۳۸۷). شوینده ها و مواد فعال سطحی، *انتشارات هودین*، صفحه ۲۸۱-۲۹۸.
- [3] K. Wang, S. Liang, C. Wang. (2010). Research of Improving Water Injection Effect by Using Active SiO_2 Nano-Powder in the Low-Permeability Oilfield, *Advanced Materials Research*, Vol. 92 , pp. 207-212.
- [4] T. Zhang, D. Daridson, S.L. Brayant, C. Huh, (2010), Nano particles- stabilized Emulsion for application in Enhanced oil recovery, *SPE 129885*, Tulsa, pp. 26-28.

- [5] B.A Suleimanov, F.S Ismailov, E.F Veliyev. (2011). Nanofluid for enhanced oil recovery, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol.78, pp. 431–437.
- [6] B Ju, T Fan, M Ma. (2006). Enhanced oil recovery by flooding with hydrophilic nanoparticles, *China Particuology*, Vol. 4, pp. 41-46.
- [12] V.G. Izotov, L.M. Sitdikova. (2008). Nanomineral systems of oil reservoirs and their role in the development process, *Georesources international journal of science*, Vol.1, pp. 11-12.
- [14] B.Y Jamaloei. (2009). Insight into the Chemistry of Surfactant-Based Enhanced Oil Recovery Processes, *Recent Patents on Chemical Engineering*, Vol.2, pp.1-10.
- [15] V.G Izotov and L.M Sitdikova. (2008). Nanomineral systems of oil reservoirs and their role in the development process, *Georesources international journal of science*, Vol.1, pp.11-12.
- [16] P Tongwa, R Nygaard, B Bai. (2012). Evaluation of a Nanocomposite Hydrogel for Water Shut-Off in Enhanced Oil Recovery Applications: Design, Synthesis, and Characterization, *J. APPL. POLYM.* pp. 33.
- [17] R Zolfaghari, A.A Katbab, J Nabavizadeh, R.Y Tabasi, M.H Nejad. (2006). Preparation and Characterization of Nanocomposite Hydrogels Based on Polyacrylamide for Enhanced Oil Recovery Applications, *J. APPL. POLYM. SCI.*, Vol. 100, pp. 2096–2103.

استحصال روی از الکترولیت در گردش پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه به روش استخراج حلالی

سبحان سلطانی نژاد^۱، امیر صرافی^۲، حسن هاشمی پور رفسنجانی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

۲- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی

۳- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی

sobhan.soltaninejad@gmail.com

چکیده

در این کار به بررسی جداسازی و حذف روی از الکترولیت خروجی پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه پرداخته شده است. الکترولیت پالایشگاه به دلیل وجود ناخالصی در آندهای ریخته گری شده واحد ذوب شامل کاتیون های مزاحم فراوانی نظیر آهن، آرسنیک، روی و نیکل می باشد که وجود این کاتیون های مزاحم می تواند موجب ایجاد مشکلاتی در فرآیند پالایش الکتریکی مس گردد. به همین منظور جداسازی روی به عنوان یکی از کاتیون های مزاحم با روش استخراج حلالی مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از حلال آلی D2EHPA استفاده شد و آزمایش ها ابتدا در مقیاس آزمایشگاهی و سپس در مقیاس پایلوت انجام شد. در این آزمایش ها تاثیر پارامترهایی نظیر نسبت فاز آبی به آبی، میزان PH محلول، تعداد مراحل جداسازی و مولاریته اسید در مرحله دفع حلال بررسی شد و در نهایت مشخص گردید که در بهترین شرایط می توان تا ۹۷ درصد کاتیون های روی موجود در این محلول را جداسازی نمود.

واژگان کلیدی: روی، استخراج حلالی، پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه

۱- مقدمه

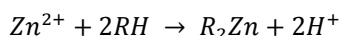
امروزه با توجه به پیشرفت روز افزون صنایع نیاز شدیدی به فلزات پر کاربرد احساس می شود. در این بین فلزاتی نظیر روی به دلیل کاربردهای گوناگون در ساخت آلیاژها نقش بسیار مهمی دارند به نحوی که همراه در بازارهای جهانی حضوری بسیار پر رنگ دارند. الکترولیت مدار پالایش الکتریکی واحد پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه، به دلیل ناخالص بودن آند مسی مورد استفاده، علاوه بر مس، حاوی یون های فلزی دیگری از جمله آهن، نیکل و روی می باشد. با توجه به اینکه غلظت عناصر نامطلوبی همچون آرسنیک و آنتیموان در این محلول پس از گذشت زمان، از حد مجاز افزایش می یابد، الکترولیت از مدار خارج شده و الکترولیت تازه جایگزین می گردد. با توجه به وجود روی در این الکترولیت و ارزش بالای این فلز و دور ریخته شدن مقدار قابل توجهی از آن به همراه الکترولیت پالایشگاه، سعی بر یافتن روشی مناسب به منظور استخراج روی از این الکترولیت مورد توجه قرار گرفت. همچنین از سوی دیگر وجود کاتیون های روی موجب می شود که میزان افت جریان الکتریسیته در مدار تصفیه الکتریکی پالایشگاه مس افزایش یابد و از سوی دیگر کیفیت و درصد خلوص کاتدهای مس تولیدی در غلظت های پایین مس کاهش پیدا می کنند. با در نظر گرفتن میزان ۱۰۰ متر مکعب الکترولیت خروجی و میزان روی موجود در آن و

مشکلات ناشی از وجود کاتیون‌های روی در محلول الکترولیت بر روند تولید کاتد مس پالایشگاه، روش‌های مختلف استحصال این فلز با ارزش مورد بررسی قرار گرفت.

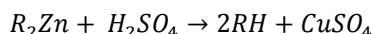
تا کنون کارهای مختلفی به منظور استحصال روی از محلول‌های الکترولیت انجام شده است. در این زمینه می‌توان به استحصال روی به وسیله رزین‌های مبادله گر یون (۴)، بازیابی روی با کمک استخراج حلالی (۵) و استخراج روی از محلول‌های سولفات کارخانه‌های باتری سازی (۶) اشاره کرد.

۲- مواد و روش‌ها

محلول ورودی در این مرحله حاوی حدود 120 ppm کاتیون روی می‌باشد. با توجه به این که وجود روی در محلول الکترووینینگ یکی از عوامل کاهش راندمان و درصد خلوص استحصال کاتدهای مس می‌باشد پس حذف آن اهمیت بسیار زیادی دارد. به منظور حذف روی از فرآیند استخراج حلالی به کمک حلال D2EHPA که از کانادا خریداری شده استفاده گردید. این حلال کاربردهای متنوعی در زمینه‌هایی نظیر استحصال اورانیوم، روی، مس، سرب و سایر فلزات واسطه دارد. تست‌ها ابتدا در مقیاس آزمایشگاهی و ۵۰ میلی لیتر محلول الکترولیت انجام گردید و پس از بدست آوردن منحنی تعادلی و پارامترهایی نظیر درصد حذف مس، میزان pH مناسب، نسبت فاز آلی به آبی و پارامترهای مربوط به بازیابی حلال، تست‌ها به کمک پایلوت ساخته شده انجام شد. ابتدا به منظور تنظیم pH از کربنات سدیم مرک استفاده گردید و به منظور بازیابی حلال از اسید سولفوریک مرک استفاده شد. در تست‌های آزمایشگاهی ابتدا میزان pH با کمک افزودن کربنات سدیم به محلول الکترولیت افزایش داده می‌شد و سپس محلول با استفاده از کاغذ صافی‌های یک میکرونی فیلتر می‌شد، سپس محلول درون ارلن ریخته می‌شد و با فاز آلی که همان D2EHPA می‌باشد در تماس قرار می‌گرفت. واکنش انجام شده در این مرحله به صورت زیر است:



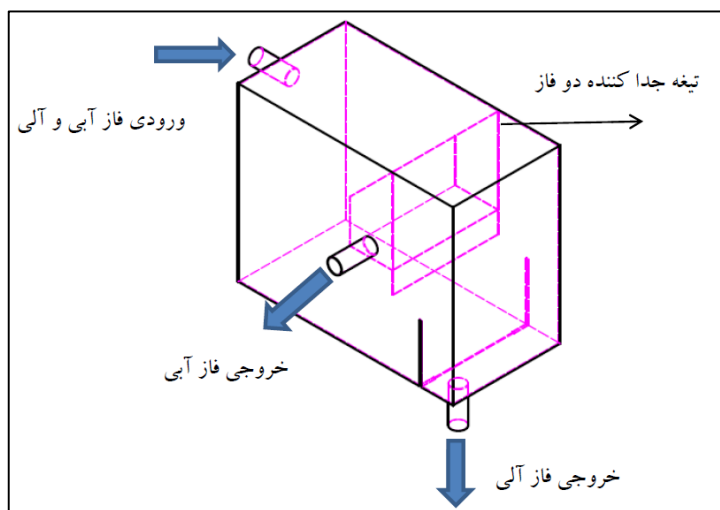
حلال مورد استفاده در این مرحله ۲۰ درصد حجمی بود که در نفت سفید رقیق شده بود. پس از تماس دو فاز حدود ۳ الی ۴ دقیقه محلول به صورت یکنواخت همزده می‌شد و پس از اتمام اختلاط درون دکانتور یا قیف جدا کننده ریخته می‌شد تا پس از جدایش فاز با باز کردن شیر خروجی قیف دو فاز آبی و آلی از یکدیگر جدا شوند. در ادامه نمونه‌ای از فاز آبی به منظور محاسبه میزان روی موجود مورد آنالیز قرار می‌گرفت و فاز آلی نیز به منظور بازیابی حلال به بخش بازیابی حلال فرستاده می‌شد. در قسمت بازیابی حلال، فاز آلی با محلول اسید سولفوریک در تماس قرار داده می‌شد تا کاتیون‌های جذب شده توسط حلال از حلال به محلول اسیدی منتقل شوند. واکنش این فرآیند به صورت زیر است:



در تست‌های آزمایشگاهی ابتدا pH محلول ورودی مورد بررسی قرار گرفت و فرآیند استخراج حلالی با pH‌های مختلفی در بازه ۰٫۵ تا ۳٫۵ مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت تا با توجه به نتایج که در بخش بعدی آورده شده است بهترین pH محلول الکترولیت برای این فرآیند بدست آید. در قسمت بعدی با توجه به این شرایط نسبت فاز آلی به آبی مورد آزمایش قرار گرفت تا بهینه‌ترین حالت ممکن که منجر به بالاترین راندمان حذف کاتیون روی را دارد مشخص شود. با توجه به این اطلاعات بدست آمده و در ادامه با انجام آزمایش‌های مختلف داده‌های تعادلی استخراج روی بدست آمد که نتایج آن به همراه منحنی مکیب تیلی که تعداد مراحل جداسازی این فرآیند را نیز نشان می‌دهد در بخش بعدی آورده شده است.

در ادامه تست‌های مربوط به بازیابی حلال انجام شد. در این قسمت ابتدا از اسید سولفوریک با مولاریته‌های مختلف استفاده شد و سپس با مشخص شدن مولاریته مناسب آزمایش‌ها با نسبت فازهای مختلف انجام شد که نتایج آن در بخش بعدی آورده شده است. پس از این آزمایش‌ها، تست‌ها در مقیاس پایلوت و در Mixer و Settlerهایی به حجم ۵۰ لیتر انجام

شد. پایلوت مورد استفاده در این بخش مشابه با بخش استخراج حلالی مس بوده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. جهت آنالیز نمونه ها از دستگاه طیف سنج جذب اتمی ساخت شرکت Varian استرالیا مدل 220Z استفاده شده است.

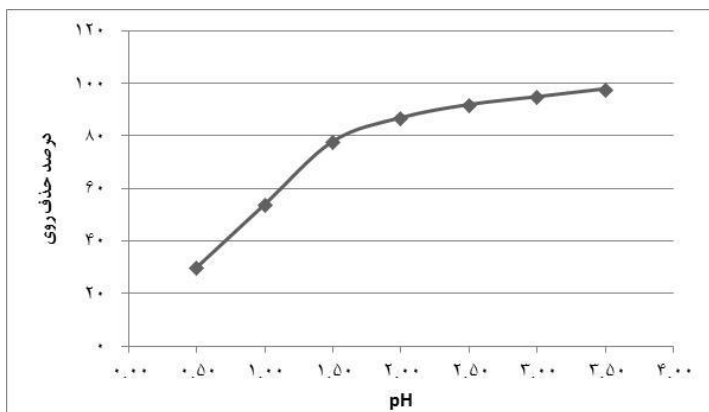


شکل ۱: شماتیک پایلوت تست های استخراج حلالی

۳- بحث و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی تاثیر تغییرات pH الکترولیت با میزان حذف کاتیون های روی:

در آزمایش های استخراج حلالی کاتیون های روی با حلال D2EHPA ابتدا تاثیر میزان pH الکترولیت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

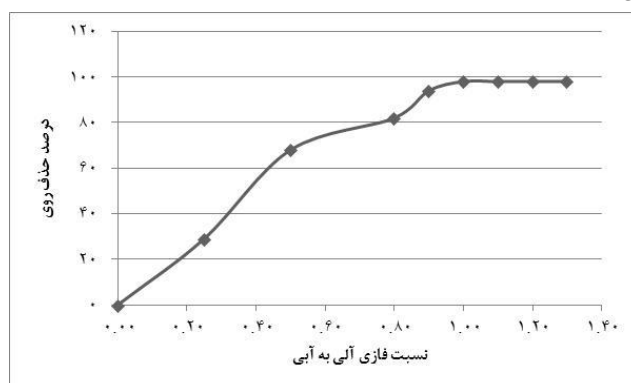


شکل ۲: نمودار تغییرات درصد جداسازی روی با تغییرات اسیدیته در نسبت فازی

با توجه به نتایج بدست آمده می توان بیان کرد که با افزایش میزان pH محلول الکترولیت، انتقال یون روی از فاز آبی به آلی بیشتر صورت گرفته و درصد استخراج یون های روی افزایش پیدا می کند. همچنین در pH های پایین فاز آلی توانایی جذب یون های روی را به خوبی ندارد که علت آن توانایی پایین حلال آلی در جانشینی یون های H^+ با یون های روی می باشد. با افزایش میزان pH الکترولیت از آنجا که توانایی جانشینی یون های H^+ با یون های روی حلال آلی افزایش پیدا می کند پس میزان جداسازی یون های روی نیز افزایش پیدا خواهد کرد و این روند صعودی تا pH حدود ۳٫۵ ادامه خواهد داشت.

۳-۲- بررسی تاثیر نسبت فاز آلی به آبی بر میزان جداسازی یون های روی:

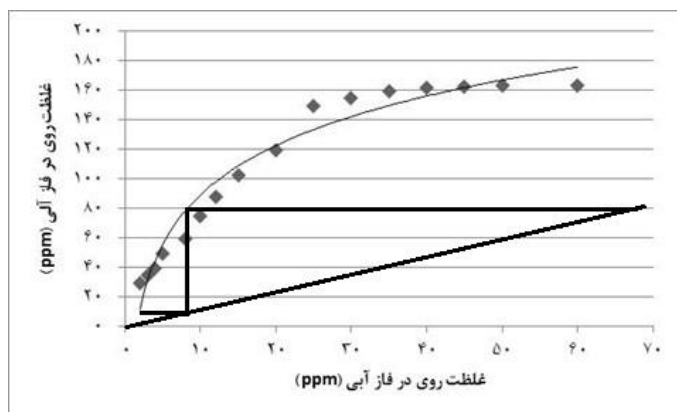
بر اساس منحنی روند جداسازی کاتیون های روی با تغییرات نسبت بازی مشخص است که با افزایش نسبت فاز آلی، میزان جداسازی کاتیون های روی نیز افزایش پیدا می نماید. با توجه به ساختار شیمیایی و ویژگی های حلال D2EHPA این حلال توانایی بالایی در جداسازی کاتیون های دیگری نظیر مس، آهن، آلومینیوم و همچنین نیکل دارد و به همین بایستی با انتخاب نسبت فاز مناسب مانع از اتلاف سایر کاتیون های فلزی در این مرحله شد زیرا این احتمال وجود دارد با افزایش نسبت فاز آلی از بالاترین حدی که در نمودار مشخص شده است، حلال از آنجا که ظرفیت خالی جهت جایگزینی یون های H^+ خود را با یون های مس فاز آبی دارد مقداری از کاتیون های نیکل را نیز جذب نماید. تاثیر و رابطه نسبت فاز آلی به آبی بر میزان جداسازی یون های مس در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار تغییرات جداسازی با نسبت فاز آلی در pH برابر با ۳٫۵

۳-۳- منحنی مک کیب تیلی استخراج روی:

با توجه به آزمایش ها و نتایج بدست آمده، منحنی مک کیب تیلی بر اساس داده های تعادلی در شکل ۴ ارائه شده است.

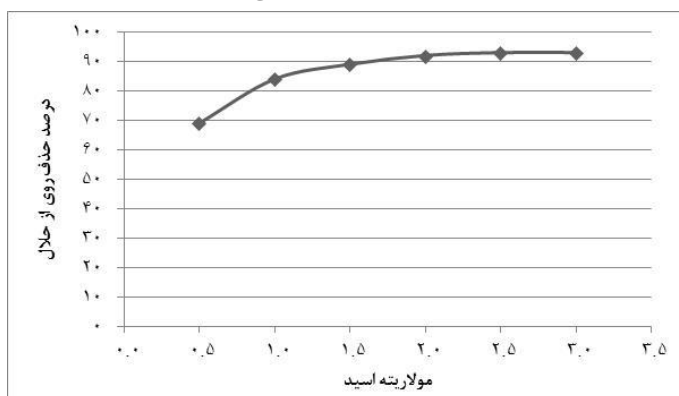


شکل ۴: نمودار مک کیب تیلی استخراج روی

با توجه به نمودار مشخص است که با انجام یک مرحله جداسازی و یا به عبارت دیگر یک مرحله تماس مستقیم دو فاز آلی و آبی می توان تا حد زیادی از یون های روی را جداسازی نمود. توانایی بالای حلال D2EHPA به دلیل وجود گروه های عاملی فسفریک اسید در آن موجب شده است که تعادل بین فازهای آبی و آلی به سرعت و در کمترین زمان ممکن رخ دهد. این امر موجب کاهش زمان انتقال جرم طی فرآیند استخراج حلالی و همچنین جداسازی با راندمان بالای کاتیون های روی موجود در الکترولیت شده است.

۳-۴- تاثیر مولاریته اسید سولفوریک بر میزان جداسازی روی از حلال:

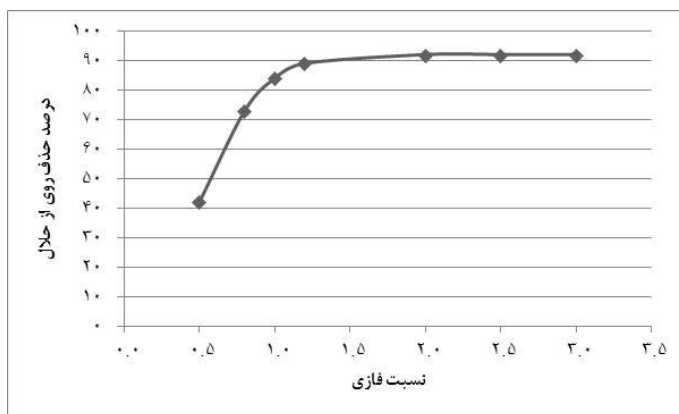
همانگونه که شکل ۵ نشان می دهد با افزایش مولاریته اسید، میزان روی جذب شده بیشتری از فاز آلی یا همان حلال جدا می گردد. با توجه به این که با افزایش میزان مولاریته اسید مصرفی، غلظت اسید نیز افزایش پیدا می نماید پس توانایی حلال در جانشینی یون های روی با یون های H^+ افزایش پیدا می نماید و در مولاریته برابر با سه بیشترین میزان جداسازی روی صورت گرفت. اهمیت جداسازی روی در این مرحله بدین علت است که با افزایش میزان روی جدا شده از حلال در این مرحله، میزان حلال بازیابی شده هم افزایش پیدا می کند و از آنجا که این حلال جهت انجام فرآیند استخراج حلالی به سیستم بر می گردد پس راندمان استحصال روی توسط حلال نیز افزایش پیدا می کند و البته با توجه به ظرفیت بالای حلال در جانشینی یون ها حتی در صورتی که راندمان دفع یون های روی کمتر هم باشد باز هم حلال این توانایی را دارد که مقدار قابل قبولی از روی را در مرحله استخراج جذب نماید و این نکته در تست های آزمایشگاهی نیز مشاهده شده است.



شکل ۵: نمودار تغییرات درصد جداسازی مس با مولاریته اسید

۳-۵- تاثیر نسبت فازی بر جداسازی روی از حلال:

با افزایش نسبت فازی از آنجا که تماس اسید با فاز آلی افزایش پیدا می کند، جایگزینی یون های مس با یون H^+ نیز افزایش پیدا می کند و به همین دلیل میزان بیشتری از کاتیون های روی از حلال آلی جدا می شوند. همچنین به دلیل وجود گروه عاملی فسفریک اسید در این حلال بازیابی این حلال بسیار سریع و با راندمان بسیار خوبی صورت می پذیرد. نتایج مربوط به این قسمت در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: نمودار تغییرات درصد حذف روی با نسبت فازی

۴- نتیجه‌گیری کلی

به منظور جداسازی روی نتایج استفاده از حلال D2EHPA به این منظور کاملاً موفقیت آمیز بود. در این قسمت و توسط فرآیند استخراج حلالی بالای ۹۷ درصد کاتیون‌های روی حذف گردیدند. جداسازی روی در یک مرحله، نسبت فاز ۱،۲ و pH برابر با ۳،۵ بیشترین راندمان ممکن را داشت. در مرحله دفع حلال نیز، با استفاده از اسید سولفوریک ۳ مولار و نسبت فاز ۱،۵ بیشتر از ۹۵ درصد از کاتیون‌های روی موجود در حلال حذف جدا سازی شدند.

مراجع

- ۱- رامز وقار (۱۳۷۸)، «هیدرومتالورژی»، چاپ اول، تهران: انتشارات شرکت ملی صنایع مس ایران
- ۲- محمد قربانی، غلامرضا مهدیان (۱۳۷۹) «بازیابی مس و نیکل از لیکور پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه»، دومین کنگره متالورژی فلزات غیرآهنی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۳- ابوالفضل اوحدی‌زاده، اسکندر کشاورزی علمداری، (۱۳۸۰) «پارامترهای مؤثر در استخراج نیکل توسط D2EHPA با اصلاح‌کننده TBP»، پنجمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
4. F.X. McGarvey, A . Siber, (1985) " Removal and Recovery of Metals by Ion Exchange", 23rd Annual Liberty Bell Corrosion Course 4.
5. Berend Wassink, David Dreisinger, Jane Howard, (2000), " Solvent extraction separation of zinc and cadmium from nickel and cobalt using Aliquat 336, a strong base anion exchanger, in the chloride and thiocyanate forms " , Hydrometallurgy, Vol. 57, pp.235-252.
6. Tadaaki Nishiki, Maiko kawabata , Masayo Hisatsune, Hidemi Nakamura, (2001) " Metal Recovery from Spent Nickel- Metal Hydride Secondary Batteries by Solvent Extraction and Liquid Membranes " , Department of Chemical Engineering, Osaka prefecture University.

تعیین عمق غرقابی برای جلوگیری از گردابه سطح آزاد در آبگیر افقی با استفاده از مدلسازی عددی

عرفان رضوی^{۱*} حسن احمدی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رشته آب و سازه هیدرولیکی

۲- استاد راهنما دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رشته آب و سازه هیدرولیکی

چکیده

گردابه سطح آزاد به عنوان یکی از مشکلات صنعت در بخش های کنترل سیلاب (جریان مازاد)، کشاورزی، برق و نیروگاه های تامین آب است که تلاش های محققین در این زمینه نشان دهنده اهمیت این موضوع است. گردابه می تواند باعث لرزش های اضافه، کاهش بهره وری، آسیب های سازه های و همچنین کاهش جریان در توربین های هیدرولیکی، پمپ ها، کالورت ها و همچنین عامل آسیب و به عنوان پتانسیل ریسک در نیروگاه ها باشد. دلیل اصلی استفاده از نرم افزار فلوتریدی در این تحلیل، بررسی دقیق آبگیر و ایجاد ارتباط بین مدل نرم افزاری و مدل آزمایشگاهی است و همچنین از آنجا که نرم افزار ظرفیت و توان ارائه مقادیر پخش سرعت در سه جهت X، Y و Z و دیگر پارامترهای هیدرولیکی در نقطه عمق بحرانی (اولین عمقی که در آن گردابه شکل نمی گیرد)، را دارد، بود. در این مقاله، مدل عددی آبگیر افقی با مخزنی از جنس پلکسی گلس با طول و عرض ۳،۱ و ۲،۲ متر و قطر لوله آبگیر با اندازه های ۰،۳، ۰،۲۵، ۰،۱۹۴، ۰،۱۴۴، ۰،۱ و ۰،۰۵ متر و طول ۲ متر در تعیین عمق لازم برای جلوگیری از گردابه توسط نرم افزار مدلسازی گردید. نتایج این تحلیل در استخراج معادله پیشنهادی درجه دو و درجه سه دقیق و کاربردی برای عمق غرقابی به کار برده گردیده شد. این معادلات پس از بررسی های نرم افزاری توسط SPSS از داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار از مقادیر عمق غرقابی، شعاع آبگیر، عدد فرود، عدد وبر و عدد رینولدز، استخراج گردید.

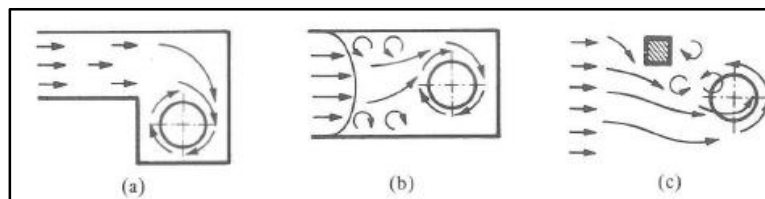
واژگان کلیدی: عمق غرقابی بحرانی، گردابه سطح آزاد، آبگیر افقی، مدلسازی عددی

مقدمه

در دنیای مدرن امروزی، تقاضای آب بیش از پیش در حال افزایش است در حالی که منابع طبیعی آب در حال پایان یافتن است. متعاقباً، این منابع می بایست با دقت در بهره بری بالا بنا به امکان بالای مواجه شدن با مشکلات در آینده، استفاده شوند. از آنجا که آب از دریا و دریاچه ها و رودخانه ها به مخازن آبگیرها در جهت استفاده در تولید نیرو، کشاورزی، مصارف خانگی و تولیدات صنعتی منتقل می گردند، بهسازی و بهینه سازی معیارهای طراحی آبگیرها اهمیت بسیاری در جهت کاهش هزینه ها و بهره وری بهتر از منابع آب دارد. علاوه بر این، بازدهی نیروگاه ها با بسیاری از مشکلات مواجه است. یکی از مشکلات اصلی روبرو در طراحی آبگیر نکات اجرایی و مشخصات دقیق عمق غرقابی و دیگر پارامترهای طراحی به منظور جلوگیری از شکل گیری گردابه سطح آزاد است. همچنین، تولید انرژی و تقاضای آب به عنوان دو موضوع اصلی و اساسی آینده بشراند. جمع آوری آب برای تولید انرژی با مدیریت آبگیرها و مخازن انجام می گردد. معیارهای طراحی و محدودیت های اقتصادی

ممکن است طراحان را مجبور کنند که از لحاظ کردن معیارهای طراحی برای شرایط نامناسب جریان، مانند گردابه، صرف نظر کنند.

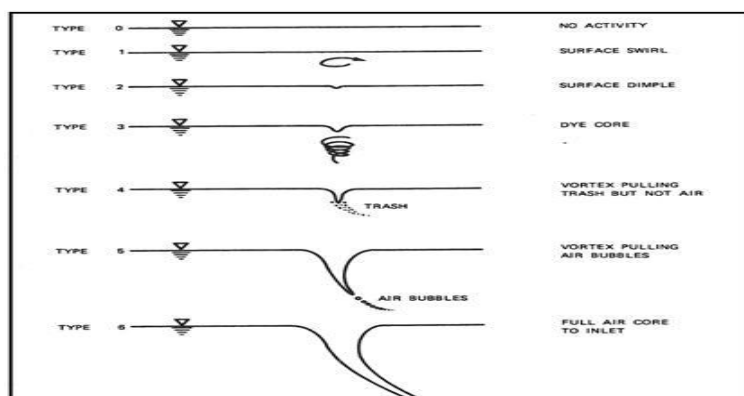
جریان‌های گردابه‌ای ممکن است که بنا به دلایل مختلف شکل گیرد، به هر حال ۳ دلیل اصلی شکل‌گیری گردابه توسط دارگین و هکر (۱۹۷۸) اشاره شده است که به عنوان هادی اصلی طراحان آبگیر نیروگاه‌های دارای سازه‌های هیدرولیکی است. (شکل ۱) ۳ دلیل اصلی: الف) جانمایی خارج از مرکز آبگیر ب) ویسکوزیته ناشی از گرادیان سرعت ج) تغییر شکل‌های مادی به دلیل وجود موانع



شکل ۱. دلایل شکل‌گیری گردابه دارگین و هکر ۱۹۷۸

به هر حال، طراحی آبگیر از لحاظ جهت، محل قرارگیری و اندازه‌ها انجام می‌گردد. همچنین برای بهینه‌سازی تحلیل‌های آبگیرها، باید هزینه‌ها، ایمنی و بهره‌وری هم لحاظ گردند. گردابه سطح آزاد، دلیل اصلی کاهش جریان، لرزه‌ها و آسیب‌های سازه‌های هیدرولیکی بنا به شکل‌گیری، استهلاک گردابه و هدررفت بهره‌وری در توربین و پمپ است. عمق غرقابی بحرانی، عمقی است که دقیقاً قبل از شکل‌گیری گردابه هست و به بیان دیگر، فاصله عمودی بین سطح آزاد آب و آبگیر است (یا مرکز آبگیر Sc^* یا سطح بالای آبگیر Sc) شکل‌گیر گردابه در مجاورت آبگیر به دلیل آن است که سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد بنه به کاهش در مقاطع عرضی به علاوه، افت موضعی فشار و اینها همگی می‌توانند مشکلاتی متعدد در زمان بهره‌برداری سیستم‌های هیدرولیکی باشند. مدل مناسب تحلیلی تعیین می‌کند که آیا گردابه سطح آزاد محتمل است یا خیر. آزمایشات و مدلسازی‌های عددی در این تحلیل به آبگیر افقی به شکل سیلندری محدود گردیده است. [1] واضح است که شکل‌گیری گردابه با ورود هوا در سازه‌های آبگیرتاثیر قابل ملاحظه‌ای در معیارهای طراحی و تجهیزات دارد.

بنابراین، محل و موقعیت جانمایی آبگیر، باید به دقت تعیین گردد و سطح آب باید به طور مناسب بالای آبگیر در جهت جلوگیری از اتفاق ورود هوا به گردابه تحت سناریوی بسیار بحرانی (وقتی که مخزن در حالت پایین‌ترین تراز آب) باشد. به هر حال، برای کاهش هزینه‌های ساخت، آبگیر باید نزدیک سطح آب تا جایی که ممکن است، قرار گیرد. بنابراین، مشکلات طراحی، بین کاهش هزینه‌ها و افزایش ظرفیت آب‌قابل استفاده در مخزن، بوجود می‌آید. متعاقباً، کل‌گیری گردابه در آبگیرها باید تداوماً جستجو گردد تا بتوان به‌روشنایی بهینه‌سازی بهتر بین آنها دست یافت. موضوع عمق غرقابی، فاصله عمودی بین سطح آزاد آب و آبگیر است [3]. در این مقاله، هدف استخراج معادله موشکافی شده و دقیق پیشنهادی برای دستیابی به یک راهنمای طراحی دقیق و مناسب است. مشکلات شکل‌گیری گردابه همراه با ورود هوا در اینجا ارائه می‌گردد: افت‌های هد، بوجود آمدن لرزه‌ها و صدا در تجهیزات هیدرولیکی، هوازائی (کاویتاسیون)، کاهش در ظرفیت دبی، واژگونی سد، کاهش در بهره‌وری پمپ، افزایش نرخ پوشش و افزایش هزینه‌های نگهداری [3] لذا برای جلوگیری از شکل‌گیری گردابه، طراحی مناسب محدوده آبگیر به عنوان محدوده‌ای که خطوط جریان ورودی به دهانه آبگیرها همراه با منحنی‌های چرخشی کوچک باشد و دابه سطح آزاد در آبگیرها در شکل شماره ۲ نشان داده شده‌اند. همچنین شیب دهی سطح باید تدریجاً از پایه معلق یا کف باشد. برای این منظور، طبقه بندی گردابه در شکل شماره ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل شماره ۲. طبقه بندی دارگین و اندرسن مقیاس قدرت گردابه سطح آزاد

بازبینی پیشینه تحقیق

انوار [۴] و [۵] و [۶] به صورت آزمایشگاهی و تئوریکالی بر روی گردابه یکنواخت با هسته هوا در ورودی لوله آبگیر و راه حل هایی برای جلوگیری از گردابه کار کرد. بلاسدل و دونلی مطالعاتی به منظور بررسی ورودی های آبگیر هود شکل انجام داد. از آنجا که ورودی های هود شکل از بریدن لوله با زاویه درست می گردد و جانمایی آن طوری است که قسمت بزرگتر در بالا قرار می گیرد. در حین انجام آزمایشات بر روی ورودی هود شکل، تعداد بسیاری از صفحات ضد-گردابه امتحان گردید تا از شکل گیری گردابه جلوگیری گردد. جین و همکاران آزمایشاتی با دو آبگیر سیلندری شکل دارای هندسه ورودی مشابه با جانمایی آبگیر در مرکز مرز پایین تانک، انجام داد. نرخ عمق بحرانی غرقابی به عنوان تابعی از عدد فرود در شکل پیش رو از داده های آزمایشگاهی موجود از عدد فرود $1.1 < Fr < 20$ ، یافت گردید. گردن [9] دریافت که بررسی تاثیرات هندسه در شکل گیری گردابه کار سختی است. بنابراین تصمیم گرفت که به پارامترهای دیگر تاثیرگذار بر شکل گیری گردابه بپردازد. بنا به داده های موجود، فرمول های پیش رو برای عمق غرقابی و نرخ تغییرات آن استخراج کرد.

$$(۱) \quad SC/Di = 1.70Fr$$

For symmetrical approach flow conditions and,

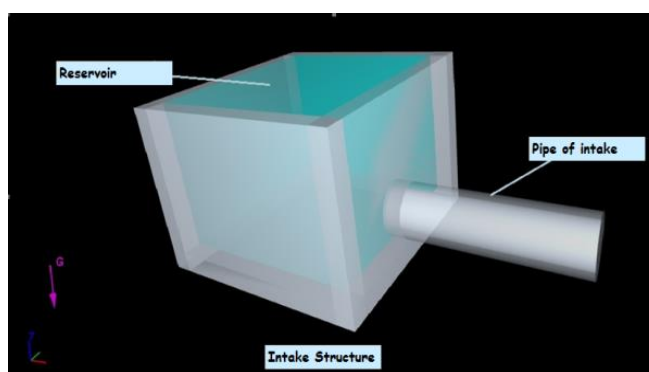
$$(۲) \quad Sc/Di = 2.27Fr$$

$$\frac{H_c}{D_i} = 0.47 F_r^{0.5}$$

در حقیقت، معادلات استخراج شده در این مقاله بسیاری جامع تر هستند در مقایسه با معادلات و فرمول های بالا. بیش از این، معادلات این مقاله شامل پارامترهای بیشتر و مهم تری از جمله، عدد وبر، عدد رینولدز و عدد فرود هست. بیلدیرین و همکاران (2009). [13], [14], [15], [16] تاثیرات ابعاد و جانمایی دو نوع افقی و عمودی آبگیر را به منظور تعیین عمق رقابی بررسی نمود و در نتایج آزمایشگاهی آن، عمق غرقابی بحرانی آبگیر دوگانه، بزرگتر از عمق بحرانی آبگیر تک است و این به دلیل سیستم لوله های آبگیر دوگانه است.

مدلسازی عددی

شکل مقایسه های کانتورهای سرعت برای وابستگی های مش بندی های مناسب در لحظه شکل گیری گردابه در حالت سه بعدی و دوبعدی نشان داده شده است (شکل ۳ و ۴)



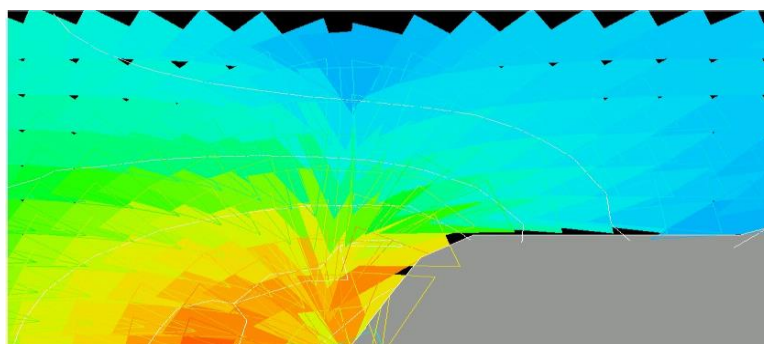
شکل شماره ۳. مدل عددی (نمای پرسپکتیو)

مدلسازی عددی طراحی شده برای پیدا کردن موارد مهم پیش رو تنظیم گردیده شده است: سطح عمق غرقابی آبگیر، جانمایی آبگیر از لحاظ فاصله از کف و کناره ها، سرعت پایین دست جریان در داخل آبگیر.

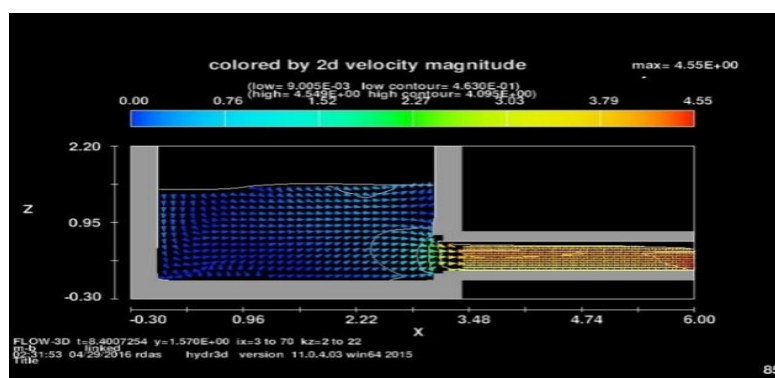


شکل شماره ۴. شکل گیری گردابه و عمق غرقابی بحرانی در آبگیر افقی با مش بندی ضخیم

گردابه به طور واضح در هر اندازه مش و درحالتی که هر دو اندازه سرعت گردابه قابل مقایسه اند، مشاهده گردیده شده. مش ضخیم تر با خروجی های دقیق تر، قابل قبول تر و مناسب تر پایان یافت، بنابراین به بهسازی و یا تغییر مش نیاز نبود. انتخاب مش درست و مناسب باعث گردید، سختی هایی که قبلا بنا به محدودیت های کامپیوتر و زمان بود از بین برود. در این مقاله، تعداد نقاط گره در مش بندی برای مدل های آزمایش اولیه از تعداد ۳۰۰,۰۰۰ تا ۱,۱۰۰,۰۰۰ متغیر بود و مقدار گره ها برای مدل اصلی از تعداد ۳,۰۰۰,۰۰۰ تا ۴,۴۰۰,۰۰۰ بنا به فاصله دیوارهای کناری و ارتفاع آب، متغیر بود. شکل ۵الف و ۵ب نشان دهنده مدل با مش بندی که در آن سایز هر مش ۰,۱ برای شبکه مش های بیرونی و ۰,۰۷ برای شبکه مش های داخلی است. صراحتا می شود به این نکته اشاره نمود که عمق غرقابی بحرانی حاصل از مدل آزمایشگاهی ali Baykara تفاوت های بسیار اندکی با عمق بحرانی حاصل از نرم افزار دارد. زمانی که برای حل آشفتگی های جریان از مدل LES به جای حل LAMINAR استفاده شد، نتیجه دقت بالاتری در صحت سنجی داشت. این بهینه سازی بنا به حل با کیفیت تر جریان در مجاورت، کناره ها و ورودی جریان به کانال آبگیر، توسط مدل LES در مقایسه با LAMINAR بود. اگر چه بکارگیری این مدل هم با مقدار اختلاف مقادیر بین مدل عددی و نرم افزاری همراه بود، برای بررسی دلایل ممکن این تناقض، شکل گیری گردابه با تفسیر دیگر روش های مقایسه ای، پیشنهاد می گردد.



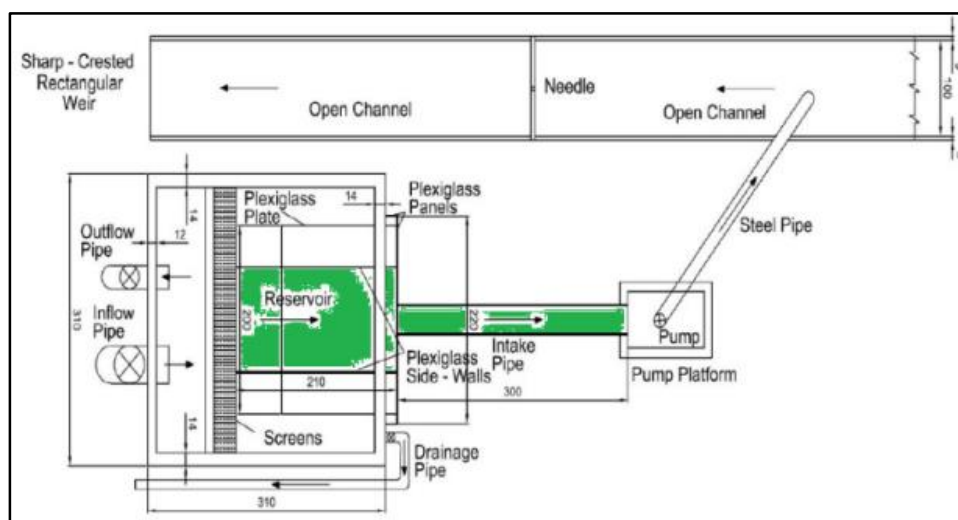
شکل ۵الف. کانتورهای بزرگی سرعت در عمق غرقابی بحرانی در آبگیر افقی



شکل ۵الف. کانتورهای بزرگی سرعت در عمق غرقابی بحرانی در آبگیر افقی (X-Z)

Flow-3D یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای محاسباتی دینامیک سیالات، بر مبنای حل معادلات ناویر استوک است. فلوتریدی از تقریب مقادیر محدود حجم، معادلان مومنوم و انرژی در سه بعد استفاده میکند تا بتواند مشکلات پیچیده سیالات را تحلیل کند. این نرم افزار همچنین، مدل هایی برای مدلسازی انتقال رسوب، حرکت صفحات صلب و جریان آب در محیط متخلخل دارد و غیره دارد. مشکلات جریان در مهندسی عمران اغلب بر روی سطح آزاد آب است. سطح آزاد آب با روش های مختلف بسیاری در نرم افزارهای کامپیوتری بررسی میگردد. فلوتریدی تکنیک حجم سیال (VOF) که اولین بار توسط هایرت و نیکول (1981) را استفاده میکند. VOF یک روش حل برای سطح آزاد آب برای ورودی های تیز است. VOF معرفی کننده هوا با شرایط مرزی و به کارگیرنده آن در سطح است. این روش تنها روش الگوریتم حل جریان نیست. در نرم افزار پنج تب اصلی و بخش های مرتبط به آن ها، برای کاربران در انجام مراحل طراحی و اجرای نرم افزار به نام های Navigatior, Model setup, General, Physicd, Fluids, Meshing and Geometry,output, Numeric, Simulation, Analyze,Display وجود دارد.

مخزن مدل آزمایشگاهی علی بایکارا در شکل نشان داده شده دارای ۳،۱۰ متر ارتفاع و طول است و عرض آن ۲،۲۰ متر و از جنس پلکسی گلس است. لوله های آبگیر دارای شعاع ۳۰، ۲۵، ۱۹، ۱۴، ۱۰ و ۵ سانتیمتر اند که در امتداد انتهایی بالاتر از تراز کف مخزن، برای هر آزمایش مجزا تعبیه می شدند.



شکل شماره ۶. نمای بالا از مدل آزمایشگاهی علی بایکارا

نتایج

در تحلیل فوق تاثیر تغییرات عدد فرود، وبر و قطر لوله آبگیر در شکل گیری گردابه سطح آزاد در آبگیر افقی، به طور عددی، بررسی گردید. داده های موجود و خروجی های نرم افزاری تحلیل شد و معادله ای دقیق و کاربردی برای عمق غرقابی استخراج گردید. معادله انالیزی توسط نرم افزار SPSS به صورت رابطه ای متغیر از عدد فرود، عدد وبر، عدد رینولدز و شعاع آبگیر ارائه میگردد:

$$Sc/Di = 0.556248 + 0.29 Fr^2 + 0.0000001 Re^2 - 0.0000001 We^2 \quad (3)$$

که در آن :

Sc = عمق بحرانی

Di = قطر آبگیر افقی

Fr = عدد فرود

Re = عدد رینولدز

We = عدد وبر

فرمول عدد وبر به صورت زیر است :

$$We = \rho \cdot \vartheta^2 \cdot l / \sigma$$

که در آن

P دانسیته سیال بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

Θ سرعت بر حسب متر بر ثانیه

تنش سطحی بر حسب نیوتن بر متر 6

L طول بر حسب متر است

عدد وبر قرار داده شده در رابطه برابر نرخ انرژی سینماتیکی بر تاثیر روی انرژی سطح است

و عدد رینولدز برای هر مدل به صورت زیر است :

$$Re = \rho \cdot \vartheta \cdot l / \mu$$

که در آن

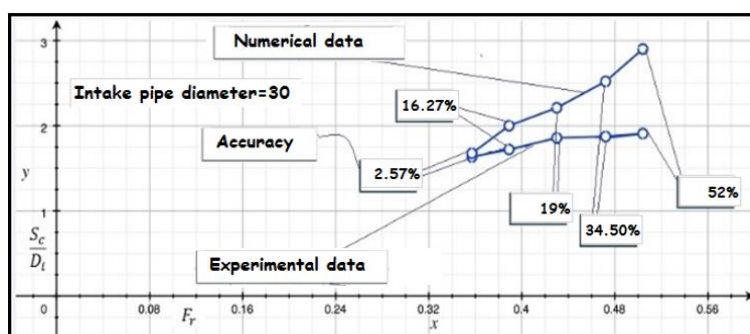
Θ سرعت سیال بر حسب متر بر ثانیه

μ ویسکوزیته دینامیکی سیال بر حسب $(Pa \cdot s \text{ or } N \cdot s / m^2 \text{ or } kg / (m \cdot s))$

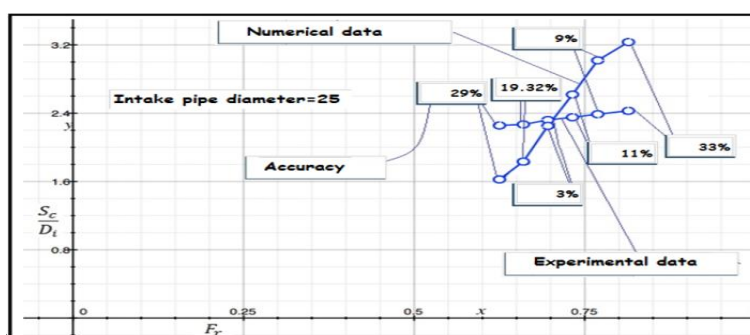
طول بر حسب متر L

دانسیته سیال بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب P

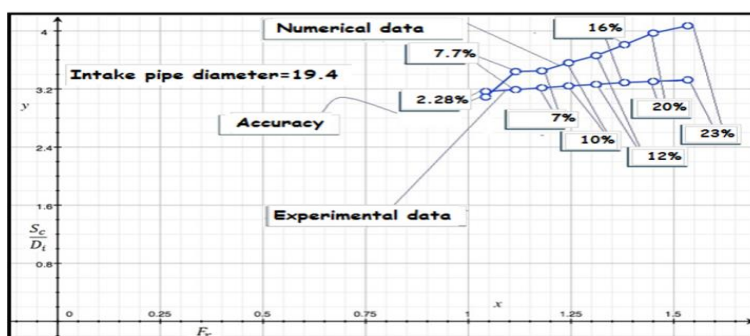
هدف از استخراج معادله پیشنهادی، بهینه سازی اولیه اطلاعات طراحی به منظور همراهی طراحان آبگیر در بخش جلوگیری از گردابه است. شکلها ارائه دهنده تفاوت محدود بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزاری عمق بحرانی بحرانی به عنوان تابعی از تغییرات آن نسبت به نرخ عدد فرود است. (شکل های شماره ۷)



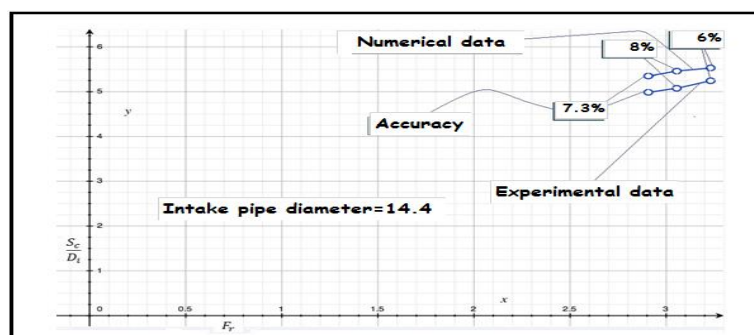
شکل شماره ۷ الف. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۳۰ سانتیمتر)



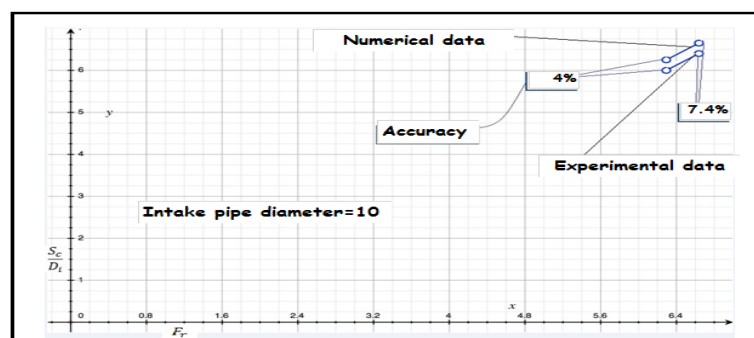
شکل شماره ۷ ب. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۲۵ سانتیمتر)



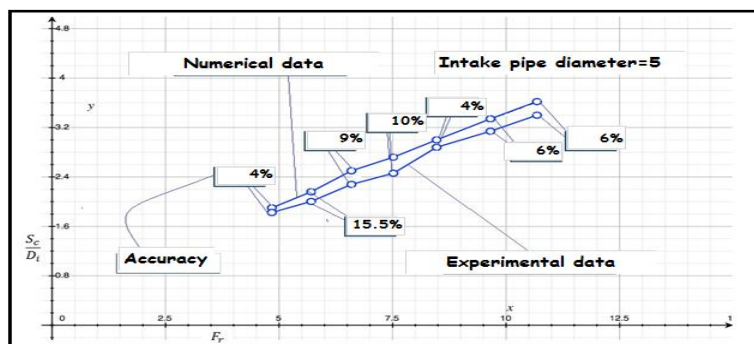
شکل شماره ۷ ج. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۱۹,۴ سانتیمتر)



شکل شماره ۵۷. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۱۴,۴ سانتیمتر)



شکل شماره ۵۸. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۱۰ سانتیمتر)



شکل شماره ۵۹. تفاوت بین داده های آزمایشگاهی و خروجی های نرم افزار عمق بحرانی غرقابی نسبت به عدد فرود (قطر آبگیر - ۵ سانتیمتر)

نتیجه گیری

در مقاله فوق، معادله پیشنهادی کاربردی برای عمق بحرانی از پارامترهای خروجی جریان توسط نرم افزار SPSS استخراج شد.

لیست نتایج این تحلیل عددی در ادامه اشاره میگردد:

- ۱- ادامه اختلاف مقادیر آزمایشگاهی و نرم افزاری ارتباط مستقیم به روابط بین مقادیر H_c/D_i و سرعت دارد. سرعت ها و نسبت عمق بحرانی به شعاع مختلف، میانگین ۱۲,۳ درصد اختلاف مقادیر را نشان میدهد.

۲- نسبت عمق بحرانی به شعاع سرریز به طور تدریجی افزایش یافت و تقریباً به طور خطی با افزایش عدد رینولدز و دبی جریان با شعاع مشخص ارتباط دارد.

ضمناً، برای مطالعات آینده، این پیشنهاد می‌تواند انجام گیرد:

بررسی و مقایسه عمق بحرانی در حالت‌های آبگیر دارای ۱ و ۲ لوله آبگیر. در صورت امکان، تاثیر تغییر در حل‌کننده‌های آشفته‌گی جریان بر روی جریان و طیف وسیعی از مقادیر عدد رینولدز و دبی بررسی گردد. همچنین بررسی خطوط جریان در مجاورت ورودی آبگیرهای افقی و عمودی مختلف موقع شکل‌گیری گردابه پیشنهاد می‌گردد.

منابع فارسی:

- [۱] اردکانی زادگان، ارسطو. (۱۳۸۷). بررسی جریان چرخشی به کمک شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES)، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] جبلی فرد، سعید، احمدی، حسن. ۱۳۹۳. هیدرولیک سدها و مخازن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۳] حسن‌زاده، مونا. شبیه‌سازی عددی گردابه سطحی در مجاورت آبگیر سدها، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۴] حسینی، سیدمحمود؛ و ابریشمی، جلیل. ۱۳۹۳. هیدرولیک کانال‌های باز، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.
- [۵] رضا پور، ر. ابراهیمی اودکلو، ف. منتظری نمین، م. خراسانی زاده، ع. (۱۳۹۰). بررسی آزمایشگاهی هیدرودینامیک جریان در آبگیری مستغرق از مخازن سدها (نمونه موردی سد سیاه‌بیشه)، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- [۶] رمی، عبدالحسین. بررسی عددی جریان گردابه‌ای روی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۷] روشن، ر. (۱۳۸۴). بررسی پدیده گرداب با استفاده مطالعات مدل فیزیکی و روشن استهلاک آن در آبگیر نیروگاه‌ها، کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی.
- [۸] روشن، ر. سرکرده، ح. زراتی، ا.ر. (۱۳۸۸). محاسبه حداقل تراز بهره‌برداری در سدهای نیروگاهی، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.
- [۹] عظیمیان، احمدرضا. (۱۳۸۷). دینامیک سیالات محاسباتی، جداول، چاپ سوم.
- [۱۰] قاسم‌زاده، ف. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW 3D، چاپ اول.
- [۱۱] موسسه تحقیقات آب (۱۳۸۹). مدل هیدرولیکی آبگیرهای نیروگاهی سد سیاه‌بیشه، گزارش نهایی، جلد دوم، ایران.
- [۱۲] نیازمند، امیررضا. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی جریان‌های داخلی به روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ، دانشگاه تربیت مدرس.

منابع انگلیسی:

- [1] RUÇHAN MÜGE TATAROĞLU (2013), "Numerical investigation of Vortex formation at intake structures using flow-3d software",
- [2] (ALAN J. RINDELS AND JOHN S. GULLIVER (1983) "AN EXPERIMENTAL STUDY OF CRITICAL SUB-MERGENCE TO AVOID FREE-SURFACE VORTICES AT VERTICAL INTAKES", UNIVERSITY OF MINESOTA). [3] (ALI BAYKARA, M.S. (2013), "EFFECT OF HYDRAULIC PARAMETERS ON THE FORMATION OF VORTICES AT INTAKE STRUCTURE", M.S. THESIS, CIVIL ENGINEERING DEPT., METU
- [4] Anwar, H.O. (1965), "Flow in a Free Vortex", Water Power 1965(4), 153-161.
- [5] Anwar, H.O., Weller, J.A. and Amphlett, M.B. (1978), "Similarity of Free-Vortex at Horizontal Intake", J. Hydraulic Res. 1978(2), 95-105.
- [6] Anwar, H.O. and Amphlett, M.B. (1980), "Vortices at Vertically Inverted Intake", J. Hydraulic Res. 1980(2), 123-134.
- [7] Blaisdell F.W. and Donnelly C.A (1958), "Hydraulics of Closed Conduit Spillways Part X.: The Hood Inlet", Tech. Paper No. 20, Series B, University of Minnesota, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory.
- [8] Jain, A.K., Kittur, G.R.R., and Ramachandra, J.G. (1978), "Air Entrainment in Radial Flow towards Intakes", J. Hydraulic Div., ASCE, HY9, 1323-1329.

- [9] Gordon, J.L. (1970), "Vortices at Intakes", *Water Power* 1970(4), 137-138.
- [10] Knauss, J. (1987), "Swirling Flow Problems at Intakes", A.A. Balkema, Rotterdam.
- [11] Padmanabhan, M. and Hecker, G.E. (1984), "Scale Effects in Pump Sump Models", *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, 110, HY11, 1540-1556
- [12] Reddy, Y.R. and Pickford, J.A. (1972), "Vortices at Intakes in Conventional Sumps", *Water Power* 1972(3), 108-109
- [13] Yıldırım, N. and Kocabaş, F. (1995), "Critical Submergence for Intakes in Open Channel Flow", *J. Hydraulic Engng.*, ASCE, 121, HY12, 900-905.
- [14] Yıldırım, N., Kocabaş, F. and Gülcan, S.C. (2000), "Flow-Boundary Effects on Critical Submergence of Intake Pipe", *J. Hydraulic Engineering*. ASCE, 126, HY4, 288-297.
- [15] Yıldırım, N. and Kocabaş, F. (2002), "Prediction of Critical Submergence for an Intake Pipe", *J. . Hydraulic Research*, 42:2, 240-250
- [16] Yıldırım, N., Taştan, K. and Arslan, M.M. (2009) "Critical Submergence for Dual Pipe Intakes", *J. Hydraulic Research*, 47:2, 242-249.
- [17] Daggett, L.L. and Keulegan, G.H. (1974), "Similitude in Free-Surface Vortex Formations", *J. Hydraulic Div.*, ASCE, HY11, 1565-1581.
- [18] Gulliver, J.S. and Rindels, A.J. (1983), "An Experimental Study of Critical Submergence to Avoid Free-surface Vortices at Vertical Intakes", Project Report No: 224, University of Minnesota, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory.
- [19] Gürbüzdal, F., (2009), "Scale effects on the formation of vortices at intake structures, M.S. Thesis, Civil Engineering Dept., METU..
- [20] Jiming, M., Yuanbo, L. and Jitang, H. (2000), "Minimum Submergence before Double-Entrance Pressure Intakes", *J. Hydraulic Div.*, ASCE, HY10, 628-631.
- [21] Li H., Chen H., Ma Z. and Zhou Y. (2008) "Experimental and Numerical Investigation of Free Surface Vortex", *J. Hydrodynamics* 2008(4), 485-491. Oakdale Engineering web site, <http://www.oakdaleengr.com/download.htm>, last accessed on 27.10.2012.
- [22] Sarkardeh, H., Zarrati, A.R., and Roshan, R. (2010), "Effect of Intake Head Wall and Trash Rack on Vortices", *J. Hydraulic Research*, 48:1, 108-112.
- [23] Taştan, K. and Yıldırım, N. (2010), "Effects of Dimensionless Parameters on Air-entraining
- [24] Vortices", *J. Hydraulic Research*, 48:1, 57-64.
- [25] Zielinski, P.B. and Villemonte, J.R. (1968), "Effect of Viscosity on Vortex- Orifice Flow", *J. Hydraulic Div.*, ASCE, HY3, 745-751.

بررسی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای با استفاده از روش تحلیل عددی دینامیک سیالات محاسباتی

ایمان مبرزی^۱، محمد افتخاری یزدی^۲

۱- دانشجوی دکتری تبدیل انرژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران،

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران

چکیده:

در چند دهه‌ی اخیر، شبیه‌سازی‌های عددی، کاربرد بسیار وسیعی در تحلیل پارامترهای موثر بر رفتار فیزیکی وسایل حمل و نقل و تجهیزات ورزشی پیدا کرده‌اند. هدف از انجام این مطالعه، بررسی نیروهای بازدارنده‌ی آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای ورزشی، به کمک روش دینامیک سیالات محاسباتی و به طور خاص، مقایسه‌ی شرایط آیرودینامیکی چرخ‌های دیسکی و چرخ‌های پره‌ای مورد استفاده در این ویلچرها بوده است. برای انجام این کار، پارامترهای فیزیکی موثر بر حرکت ویلچر مورد بررسی قرار گرفت و معادلات عددی حاکم بر مسئله استخراج شد. با استفاده از نرم‌افزار طراحی SOLIDWORKS مدلی شبیه به یک ویلچر مسابقه‌ای، طراحی شد. و شبکه‌بندی شد. سپس برای شبکه‌بندی و تعیین شرایط مرزی متناسب با مسئله، نرم‌افزار Gambit مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت برای تعیین نیروهای پسای لزجی و فشاری وارد بر دو مدل ویلچر با چرخ‌های دیسکی و پره‌ای، از نرم‌افزار حلگر FLUENT استفاده شد. نتایج به دست آمده برای چهار سرعت متفاوت از ویلچرها، مورد بحث و مقایسه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، ویلچر مسابقه‌ای، پسای آیرودینامیکی، چرخ دیسکی، چرخ پره‌ای

مقدمه

نخستین مسابقات دو و میدانی با ویلچر، در سال ۱۹۴۸ برگزار شد و از سال ۱۹۶۰ نیز این مسابقات، در رقابت‌های پارالمپیک جای گرفت. ویلچرهای مسابقه‌ای اولیه، کاملاً شبیه ویلچرهای معمولی بودند. و تا سال ۱۹۷۵ نیز تغییر چندانی در طراحی آنها مشاهده نمی‌شد. اما با پیشرفت علوم مهندسی و پیدایش ابزارهای فنی مورد نیاز برای تحلیل پارامترهای موثر بر حرکت ویلچرهای مسابقه‌ای، تغییراتی نیز در طراحی این ویلچرها ایجاد شد. این تغییرات، کمیته ملی پارالمپیک (IPC) را بر آن داشت که مقرراتی را برای طراحی ویلچرهای مسابقه‌ای وضع نماید.

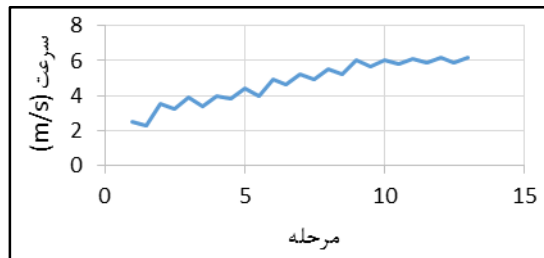
هر ویلچر مسابقه‌ای باید حداقل شامل سه چرخ باشد که قطر چرخ‌های عقب نباید از ۷۰ سانتی‌متر تجاوز کند و قطر چرخ کوچک جلوی ویلچر نیز حداکثر ۵۰ سانتی‌متر است. هیچ یک از قسمت‌های بدنه‌ی ویلچر، نباید از محور چرخ جلو تجاوز کنند و عرض آنها نیز نباید از فاصله‌ی بین دو محور چرخ‌های عقب، بیشتر شود. در طراحی ویلچرهای مسابقه‌ای استفاده از هر گونه دنده‌ی مکانیکی یا اهرمی که سبب افزایش نیروی محرکه شود، جایز نیست [1].

به طور کلی، در ویلچرهای مسابقه‌ای، یک چرخه‌ی حرکتی^۱، شامل دو مرحله‌ی رانش^۲ و بازگشت^۱ می‌شود. مرحله‌ی رانش، از اعمال نیروی فیزیکی بر دسته‌های ویلچر، حاصل می‌شود. در آغاز مسابقه، این مرحله باید با قدرت بیشتر و مدت زمان

^۱ stroke cycle

^۲ propulsion

تماس طولانی‌تری انجام شود. به طوریکه ۳۳٪ تا ۳۵٪ از کل زمان چرخه‌ی حرکتی را به خود اختصاص می‌دهد. ۶۵٪ تا ۶۷٪ زمان باقیمانده‌ی چرخه حرکت نیز به مرحله‌ی بازگشت مربوط می‌شود [2]. در این مرحله، بین دست ورزشکار و دسته‌ی ویلچر، تماسی برقرار نمی‌شود. هدف ورزشکاران در حین مسابقه این است که در کوتاه‌ترین زمان ممکن به سرعت حداکثری خود برسند و در فاصله‌ی باقیمانده تا خط پایان، سرعت حداکثری خود را حفظ کنند. این اتفاق، تنها در صورتی رخ می‌دهد که تفاضل بین نیروهای رانشی یا محرک سیستم ویلچر-ورزشکار، و نیروهای بازدارنده یا مقاومتی، به حد مطلوبی برسد. در مسابقات حرفه‌ای دوی سرعت با ویلچر، ورزشکاران معمولاً پس از طی نمودن ۱۰ چرخه‌ی حرکتی، به سرعت بیشینه‌ی خود نزدیک می‌شوند. [3] (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار تغییرات سرعت در چرخه‌های اولیه‌ی مسابقه

همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، در ابتدای هر چرخه، در نتیجه‌ی اعمال نیرو از طرف ورزشکار، یک جهش سرعت اتفاق می‌افتد که ناشی از شتاب مثبت مربوط به مرحله‌ی رانش می‌باشد. در ادامه‌ی چرخش نیز شاهد یک کاهش سرعت جزئی (مربوط به مرحله‌ی بازگشت) هستیم.

پارامترهای طراحی ویلچر مسابقه‌ای:

در طراحی یک ویلچر مسابقه‌ای، عوامل متعددی همچون وزن، ابعاد فیزیکی، آمادگی ورزشکار، زاویه و موقعیت چرخ‌ها و... بر میزان کارایی آن، نقش دارند [4]. اما در طراحی مهندسی ویلچرهای مسابقه‌ای، همواره دو اولویت را باید در نظر داشته باشیم [5]:

- به حداکثر رساندن انرژی اعمال شده توسط ورزشکار، از طریق راهکارهایی همچون کاهش وزن سیستم و...
- به حداقل رساندن اتلافات انرژی.

انرژی جنبشی سیستم ویلچر-ورزشکار با استفاده از رابطه‌ی زیر ارائه می‌شود:

$$E = E_{in} - E_{loss} \quad (1)$$

E_{in} برابر است با انرژی تولید شده توسط ورزشکار و E_{loss} نیز برابر است با مجموع انرژی تلف شده. در حرکت ویلچرهای مسابقه‌ای، دو منبع اصلی اتلاف انرژی، اصطکاک غلتشی^۲ و کشش یا پسای آیرودینامیکی^۳ می‌شود.

با توجه به ارائه‌ی انرژی جنبشی به صورت معادله (۱)، سرعت حرکت سیستم را نیز به صورت زیر معرفی می‌کنیم:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2(E_{in} - E_{loss})}{m}} \quad (2)$$

همانطور که در معادله‌ی (۲) مشاهده می‌شود، با کاهش جرم (m) و همچنین کاهش انرژی تلف شده، سرعت سیستم (v) افزایش می‌یابد. در ویلچرها (و همچنین دوچرخه‌ها)، بخشی از انرژی جنبشی سیستم، در چرخ‌ها ذخیره می‌شود که این مقدار،

1 recovery phase

2 rolling friction

3 Aerodynamic drag

به سرعت زاویه‌ای و ممان اینرسی^۱ (I) چرخ‌ها بستگی دارد. بنابراین جرم معادل (M) سیستم ورزشکار-ویلچر را می‌توان با معادله‌ی زیر ارائه نمود:

$$M = m + \sum_{i=1}^3 \frac{I_i}{r_i^2} \quad (3)$$

I_i و r_i به ترتیب نشان دهنده‌ی ممان اینرسی و شعاع چرخ i می‌باشند [6].

حال با در نظر گرفتن اتلافات انرژی و انرژی اعمال شده از سوی ورزشکار، می‌توان نتیجه‌گیری که در وضعیت تعادل (سرعت ثابت)، معادله‌ی زیر برقرار است:

$$F_A + F_D + F_R = 0 \quad (4)$$

F_A برابر است با نیروی اعمال شده از طرف زمین به چرخ‌های عقب ویلچر (عکس‌العمل نیروی وارد شده از طرف ورزشکار)، F_D برابر است با نیروی پسای آیرودینامیکی و F_R نیز برابر است با نیروی اصطکاک غلتشی. مقادیر نیروهای مقاومتهای F_D و F_R را می‌توان با بکارگیری معادلات زیر، محاسبه نمود:

$$F_R = \mu_R mg \quad (5)$$

$$F_D = 0.5 C_D \rho A_d v^2 \quad (6)$$

μ_R برابر است با ضریب اصطکاک غلتشی، ρ نشان دهنده چگالی هوا، C_D برابر است با ضریب پسا^۲ و A_d نیز برابر است با مساحت سطح جبهه^۳. البته در حالت کلی، نیروی اصطکاک لغزشی، به سرعت سیستم نیز وابسته است. اما مطالعات پیشین [6] نشان می‌دهند که میزان این وابستگی، بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

برای ارزیابی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای مطالعات تجربی و آزمایشگاهی متعددی انجام گرفته است. به عنوان نمونه در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی [13]، نیروی پسای وارد بر ویلچر، در آزمایشگاه تونل باد^۴ و در محدوده‌ی سرعت های بین ۵۴٫۸۶ تا ۱۶۴٫۶۰ کیلومتر بر ساعت، برای دو مدل ساخته شده، مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش، نتایج بدست آمده برای ضریب پسا، با یکای گرم (gt) معرفی شد و در محدوده‌ی بین ۲۶ گرم تا ۳۶۰ گرم قرار داشت.

طی چند دهه‌ی گذشته، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی عددی همچون دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به میزان قابل توجهی، رواج یافته است. نرم‌افزارهایی همچون FLUENT، CFX و STAR-CD که امروزه در مقیاس تجاری، در دسترس قرار دارند، در طراحی‌های مهندسی و صنعتی، کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده‌اند. دانشمندان و مهندسان حوزه‌های ورزش‌های رقابتی، با بهره‌گیری از این روش شبیه‌سازی عددی، در بهبود عملکرد تجهیزات ورزشی، به ورزشکاران کمک می‌کنند.

این روش شبیه‌سازی عددی، شامل گسسته‌سازی^۵ معادلات ناویر استوکس^۶ با روش حجم محدود^۷ می‌باشد. این معادلات از قانون دوم نیوتن سرچشمه می‌گیرند و سرعت سیال را در نقطه‌ی مشخصی از فضا و زمان، تعیین می‌کنند. روش CFD، بر اساس یک حجم محدود تقریبی عمل می‌کند. در این تقریب، فضا به تعداد بسیار زیادی المان یا سلول ریز تقسیم می‌شود که اصطلاحاً به این عمل، مش^۸ کردن گفته می‌شود. سپس با اعمال یک الگوریتم حلگر^۱ بر روی معادلات سیال، به نتایج مورد نظر می‌رسیم.

¹ Moment of inertia

² Drag coefficient

³ Frontier area

⁴ wind tunnel

⁵ discretization

⁶ Navier-Stokes

⁷ Finite volume

⁸ mesh

با وجود ساده‌تر شدن فرآیند تحقیقات به کمک دینامیک سیالات محاسباتی، مطالعات بسیار معدودی در حوزه‌ی ویلچرهای مسابقه‌ای و با بکارگیری روش دینامیک سیالات محاسباتی، انجام شده است. در یک مطالعه که با هدف مقایسه‌ی بین حالت‌های قرارگیری ورزشکار بر روی ویلچر مسابقه‌ی و با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیک سیالات انجام گرفت [14]، این نتیجه بدست آمد که حالت استقرار ورزشکار بر روی ویلچر، می‌تواند بیشتر تاثیر را بر روی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر سیستم ایفا نماید.

۲- روش‌ها و ابزار مورد استفاده

معادلات حاکم بر جریان آیرودینامیکی حول ویلچر

از تجزیه‌ی مقادیر آنی، به اجزای متوسط یا نوسانی، میانگین‌گیری رینولدز^۲ معادله ناویر استوکس (RANS) حاصل می‌شود که به این روش می‌توان معادلات مربوط به رفتار جریان سیال (V) و تنش رینولدز (A) را تعیین نمود:

$$\frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2S_{ij}v - \overline{\mu_j \mu_i}) \quad (8)$$

در معادلات بالا، μ_i برابر است با سرعت آنی، x_i برابر است با موقعیت، P و t نشان دهنده‌ی فشار و زمان هستند. ρ برابر است با چگالی سیال. v برابر است با ویسکوزیته سیال و S_{ij} نیز نشان دهنده‌ی تانسور نرخ کرنش^۳ می‌باشد.

عبارت $\overline{\mu_j \mu_i}$ نیز که تنش رینولدز^۴ نام دارد، نشان دهنده‌ی میزان آشفتگی جریان اصلی یا میانگین می‌باشد که از تبادل تکانه، ایجاد می‌شود. در رژیم آرام، این تبادل تکانه توسط مولکول‌ها و در رژیم درهم نیز از طریق گردابه‌ها، ایجاد می‌شود.

در صورتی که بخواهیم معادله‌ی (۸) را در الگوی جریان آشفته مورد استفاده قرار دهیم، غالباً از مدل‌های ساده شده و استاندارد نظیر مدل آشفتگی k-ε استاندارد، مدل تنش رینولدز (RSM) و مدل Spalart-Allmaras استفاده می‌شود [7]. این مدل‌های آشفتگی، در نرم‌افزار FLUENT موجود می‌باشند. در تحقیقات پیشین [8] برای شبیه‌سازی محاسباتی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر کلاه کاسکت یک دوچرخه‌سوار، از مدل آشفتگی k-ε استاندارد استفاده شده است. بنابراین، در مورد ویلچر مسابقه‌ای نیز می‌توان از این مدل استفاده نمود. در این مدل، برای تعیین انرژی جنبشی (k) از معادله‌ی (۹):

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial (kV_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (9)$$

و برای تعیین هدر رفت^۵ انرژی جنبشی (ε)، از معادله‌ی (۱۰) استفاده می‌شود.

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial (\epsilon V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (10)$$

نرم‌افزار FLUENT، برای محاسبه‌ی مقادیر انرژی جنبشی (k)، از معادله‌ی (۹) استفاده می‌کند. با توجه به اینکه، مقادیر k تنها در نواحی نزدیک به سطح جبهه، حائز اهمیت می‌باشند. FLUENT برای بدست آوردن k در سایر نواحی مدل گرافیکی، معادله‌ی (۸) را بکار می‌برد.

¹ solver

² Reynolds-averaged

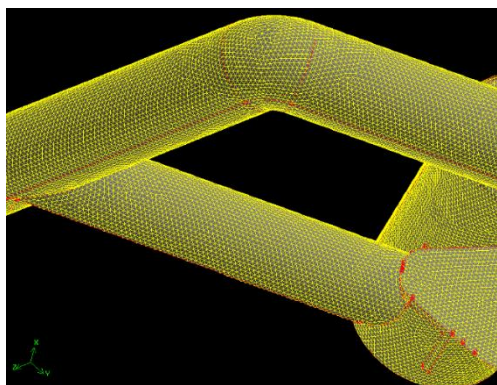
³ strain-rate tensor

⁴ Reynolds tension

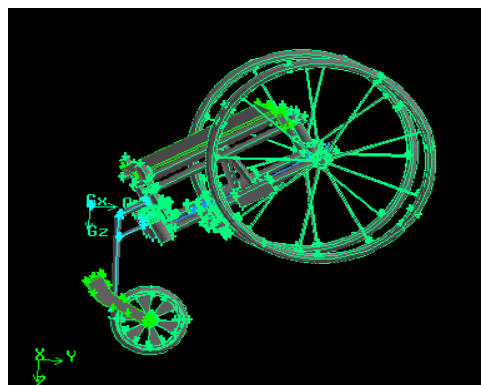
⁵ dissipation

هندسه مساله، شبکه بندی و شرایط مرزی

برای شبیه سازی ویلچر مسابقه ای، ابتدا با استفاده از نرم افزار SOLIDWORKS یک ویلچر سه چرخ طراحی شد که قطر چرخ های عقب آن ۶۷ سانتی متر و قطر چرخ جلو نیز ۳۶ سانتی متر است (شکل ۲). سپس با استفاده از نرم افزار Gmabit، این مدل با المان های مثلثی و ابعاد ۱ میلی متر شبکه بندی شد (شکل ۳).

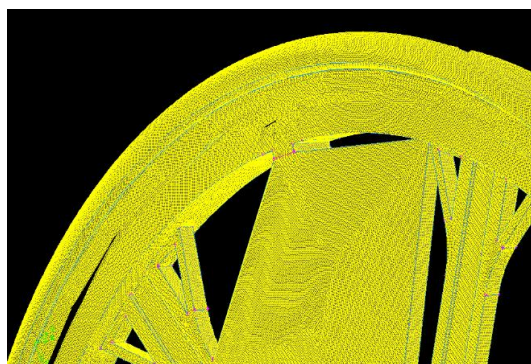


شکل ۳ شبکه بندی انجام شده توسط GAMBIT



شکل ۲ ویلچر طراحی شده با استفاده از SOLIDWORKS

علاوه بر این، یک طراحی دیگر برای ویلچر مسابقه ای، به گونه ای در نظر گرفته شد که فضای بین پره های چرخ ها، پوشانده شود تا نیروهای آیرودینامیکی وارد بر سیستم ویلچرهای مسابقه ای مجهز به چرخ های دیسکی^۱ و چرخ های پره ای^۲، با یکدیگر مقایسه شوند.



شکل ۴ نمونه مش مدل طراحی شده برای چرخ دیسکی.

جهت نمایش رفتار جریان سیال در اطراف ویلچر، در نرم افزار Gambit مکعبی به ابعاد ۱ متر در ۱،۵ متر در ۲ متر، حول ویلچر ترسیم شد و با استفاده از المان های چهار وجهی شبکه بندی شد. این شبکه بندی به گونه ای انجام گرفت که در موقعیت هایی از این دامنه مکعبی که نزدیک به ویلچر بودند، اندازه ی المان ها بسیار ریز (۱ میلی متر)، و با دور شدن از ویلچر، اندازه ی المان ها نیز بزرگتر می شوند.

در تعیین شرایط مرزی دامنه، وجوه هم راستا با جهت حرکت ویلچر، به عنوان شرایط مرزی ورودی فشار^۳ و خروجی فشار^۴ و سایر وجوه نیز به عنوان تقارن^۱ در نظر گرفته شدند.

^۱ Disk wheel

^۲ Spoke wheels

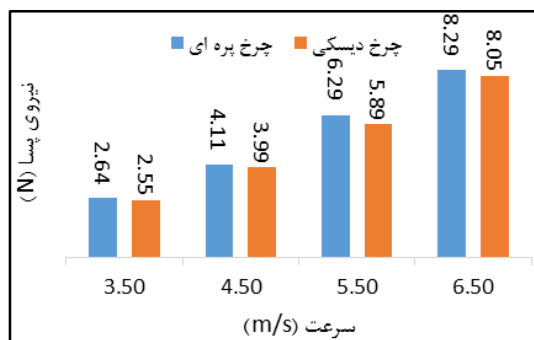
^۳ pressure_inlet

^۴ pressure_outlet

برای حل مسئله، از نرم‌افزار FLUENT 6.3.26 استفاده شد. با توجه به شرایط سرعت در مسابقات دو و میدانی ویلچر، مسئله را در ۴ سرعت متفاوت ۳،۵، ۴،۵، ۵،۵ و ۶،۵ متر بر ثانیه حل نمودیم. معادله‌ی انتخابی برای حل مسئله، معادله $k-\epsilon$ استاندارد بود که ضرایب C_1 و C_2 به ترتیب برابر با ۱،۴۴ و ۱،۹۲ در نظر گرفته شدند. نتایج بدست آمده از محاسبات انجام شده توسط نرم‌افزار FLUENT، شامل نیروها و ضرایب پسای لزجی و فشاری در سرعت‌های مورد نظر و همچنین در دو حالت متفاوت در نظر گرفته شده برای چرخ‌ها می‌باشد.

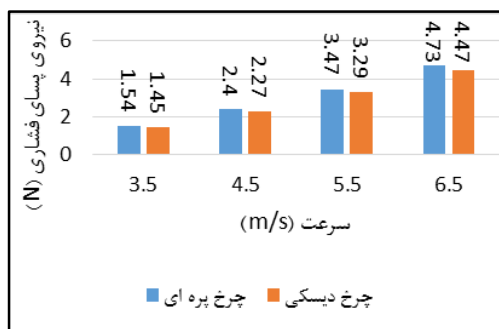
۳- نتایج و بحث

نیروهای پسای کل وارد بر مدل گرافیکی مسئله، در بازه سرعت ۳،۵ m/s تا ۶،۵ m/s، در محدوده‌ی ۲،۵۵ N تا ۸،۲۹ N قرار گرفتند. با توجه به نمودار شکل ۵ مشاهده می‌شود که نیروی پسای کل وارد شده بر سیستم، با افزایش سرعت ویلچر، افزایش یافت و در هر سرعت، نیروی پسای وارد بر ویلچر مجهز به چرخ‌های پره‌ای، در حدود ۳٪ تا ۶٪ بیشتر از نیروی پسای آیرودینامیکی وارد بر ویلچر دارای چرخ دیسکی بود.

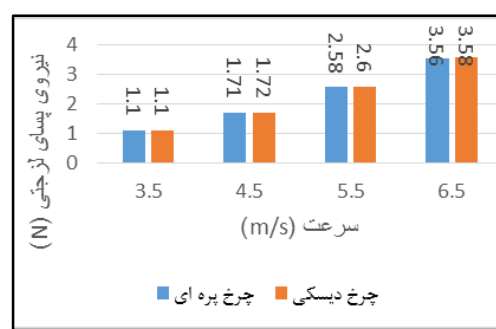


شکل ۵ نیروهای پسای کل وارد بر سیستم، در سرعت‌های مختلف.

نرم‌افزار FLUENT، توانایی محاسبه‌ی جداگانه‌ی نیروهای پسای لزجی^۲ و نیروهای پسای فشاری^۳ را نیز دارد. نمودارهای شکل‌های ۶ و ۷ مقادیر نیروهای پسای لزجی و فشاری مربوط به چرخ‌های دیسکی و پره‌ای را با یکدیگر مقایسه می‌کنند.



شکل ۷ نیروی پسای فشاری وارد بر سیستم در سرعت‌های مختلف



شکل ۶ نیروهای پسای لزجی وارد بر سیستم در سرعت‌های مختلف

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که استفاده از چرخ‌های دیسکی، تاثیر چندانی بر میزان نیروی آیرودینامیکی پسای لزجی نداشته و تا حدودی نیز سبب افزایش آن شده است. اما نمودار شکل ۷ بیانگر این موضوع است که این چرخ‌ها در

¹ symmetry

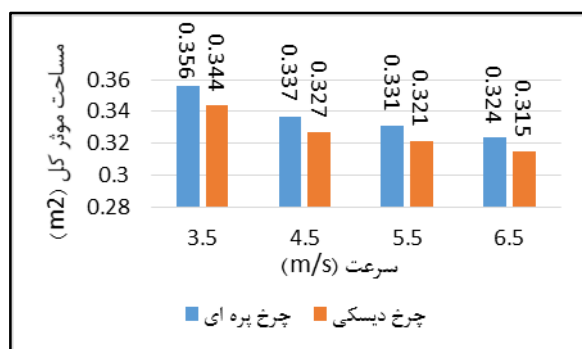
² viscous drag force

³ pressure drag force

کاهش مقاومت آیرودینامیکی فشاری، تا حدود زیادی موثر بوده و حدودا ۵ تا ۷ درصد از میزان نیروهای پسای فشاری کاسته‌اند.

علاوه بر این، از داده‌های موجود در شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان دریافت که در صورت بکارگیری هر یک از چرخ‌های دیسکی و پره‌ای، نیروی پسای فشاری، سهم بیشتری در مقاومت آیرودینامیکی کل ایفا کرده است و در حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد از نیروی پسای لزجی بیشتر می‌باشد.

اطلاعات دیگری که نرم‌افزار FLUENT پس از حل معادلات ذکر شده در اختیار ما قرار داده، ضرایب پسای مربوط به نیروهای آیرودینامیک است. غالبا برای درک بهتر شرایط فیزیکی مسئله، این ضریب در مساحت سطح جبهه، ضرب شده و در قالب کمیتی به نام مساحت موثر^۱ (ACd) ارائه می‌گردند [10]. شکل ۸ مقادیر مساحت‌های موثر مربوط به مدل مورد نظر را نمایش می‌دهد.



شکل ۸ مساحت موثر مربوط به سیستم در سرعت‌های مختلف

نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که مقدار مساحت موثر با افزایش سرعت، کاهش می‌یابد. و با وجود اینکه استفاده از چرخ‌های دیسکی در ویلچر، ظاهرا باید مساحت ویلچر را افزایش دهد، اما با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که مساحت موثر مربوط به ویلچر دارای چرخ‌های دیسکی، حدودا ۳٪ کمتر از مساحت موثر ویلچر مجهز به چرخ پره‌ای است. در مطالعات مشابهی که بر روی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای انجام شده‌اند، غالبا مقادیری در حدود ۰,۲۴ تا ۰,۳۴ متر مربع را برای مساحت موثر ویلچرها گزارش نموده‌اند [11,12] که با نتایج حاصل از این مطالعه، همخوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله که به بررسی نیروهای آیرودینامیکی مقاوم در برابر حرکت ویلچرهای مسابقه‌ای پرداخته شد، مشخص گردید که استفاده از چرخ‌های دیسکی به جای چرخ‌های پره‌ای، می‌تواند تا حدودی در کاهش نیروی پسای وارد بر ویلچر، موثر باشد. همچنین معلوم شد که نیروی پسای آیرودینامیکی ناشی از اختلاف فشار، نقش مقدم‌تری نسبت به نیروی پسای لزجی ایفا می‌نماید. بنابراین برای افزودن یا حذف نمودن اجزای جدید به ویلچرهای مسابقه‌ای، جهت کاهش مقاومت آیرودینامیکی، بهتر است به اختلاف فشار ایجاد شده به علت افزودن این عامل، توجه بیشتری شود. پارامترهای دیگری وضعیت استقرار نیز اجمالا مورد بررسی قرار گرفتند که شایسته است در آینده، با بهره‌گیری از روش دینامیک سیالات محاسباتی، مطالعات مفصل‌تری در این زمینه انجام شود.

منابع

¹ effective area

- [1] IPC Athletics Classification Handbook. Paralympics. Retrieved 2008-03-13.
- [2] Bymes, D.P. (1983). APlm and EMG drive phase analysis of the competitive wheelchair stroke. Unpublished master's thesis, University of Alberta.
- [3] Chow, J. W., Chae, W. (2007). Kinematic analysis of the 100 m wheelchair race. J Biomech, 40: 2564–2568.
- [4] Michael S. MacLeish, MS ; Rory A Cooper, PhD ; Joe Harralson, MS ; James F. Ster III Design of a composite monocoque frame racing wheelchair.
- [5] Franz Konstantin Fuss, Aleksandar Subic, Martin Strangwood, Rabindra Mehta Routledge Handbook of Sports Technology and Engineering
- [6] Fuss, F. K. (2009). Influence of mass on the speed of wheelchair racing. Sports Engineering, 12(1): 41-53.
- [7] White, F. (1999). Mecanica dos Fluidos, Ed. McGraw -Hill, 4 edicao. ISBN : 85-86804-24-X.
- [8] Caboz, E. B. (2010). Simulação computacional do escoamento em torno de um capacete de ciclista usado nas provas de contra-relógio. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [9] Pedro Forte, Tiago M. Barbosa and Daniel A. Marinho. Technologic Appliance and Performance Concerns in Wheelchair Racing – Helping Paralympic Athletes to Excel.
- [10] Hoffman MD, Millet GY, Hoch AZ & Candau RB. Assessment of wheelchair drag resistance using a coasting deceleration technique. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 2003;82 (11): 880-889.
- [11] Winkler A & Pernpeintner A. Automated aerodynamic optimization of the position and posture of a bobsleigh crew. Procedia Engineering. 2010; 2(2): 2399±405.
- [12] Ridgway M, Pope C & Wilkerson J. A kinematic analysis of 800-meter wheelchair racing techniques. Adapted Physical Activity Quarterly. 1988; 5(2): 96±107.
- [13] MacLeish, M. S., Cooper, R. A., Harralson, J., & Ster, J. F. (1993). Design of a composite monocoque frame racing wheelchair. Journal of rehabilitation research and development, 30, 233-233
- [14] Pedro Forte, Daniel A. Marinho¹, Jorge E. Morais, Pedro G. Morouço. The variations on the aerodynamics of a world-ranked wheelchair sprinter.

به کارگیری مخزن یخ در سیستم CCHP، منافع و محدودیت‌ها

پوریا کرمی^۱، فرید قدمی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، Pouria73@gmail.com

۲- مربی گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، Mania.farid@gmail.com

چکیده

در دهه‌های اخیر در تمامی دنیا مقدار زیادی از مصارف انرژی در زمان‌های پرمصرف با استفاده از انواع گوناگون مخازن ذخیره انرژی به زمان‌های کم مصرف انتقال داده شده است. در این مقاله به بررسی تأثیر مخزن یخ در بهینه‌سازی مصرف انرژی و هزینه‌های اقتصادی یک CCHP پرداخته شده است. مخزن یخ با انتقال زمانهای مصرف انرژی از زمانهای پرمصرف به ساعات کم‌مصرف موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. الگوریتم MINLP نیز برای بدست آوردن و بررسی روش‌های بهینه‌سازی CCHP مورد استفاده قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: CCHP، مخزن یخ، بهینه‌سازی مصرف انرژی

۱- مقدمه

بهینه‌سازی انرژی به عنوان یک راه‌کار اساسی برای کاهش مصرف انرژی و نیز کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشورهای پیشرفته دنیا مطرح شده است. امروزه این کشورها به بهینه‌سازی و مدیریت انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می‌نگرند. انرژی منابع جدایی‌ناپذیر برای تمام فعالیت‌های مبتنی بر انسان در مفهوم حیاتی است و تقریباً ورودی لازم برای تمام کالاها و خدمات است که در هر مرحله از توسعه جامعه، مدیریت بر مصرف و نگهداری از آن ضروری است (Kalaiselvam & Parameshwaran, 2014). در جوامع مدرن سطح توسعه و رفاه اقتصادی یک جامعه به طور مستقیم توسط تولید و مصرف انرژی اندازه‌گیری می‌شود. (Onar & Khaligh, 2015)

انرژی در حیات اقتصادی صنعتی جوامع کشورها نقش زیربنایی را ایفا می‌کند. به این معنا که، هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد توسعه اقتصادی کشورها نیز میسر خواهد بود. تحریم نفتی اعراب در سال ۱۹۷۳ و تأثیر شگرف آن بر اقتصاد کشورهای توسعه یافته، علاقه به بهره‌وری اقتصادی بهتر در زمینه انرژی را افزایش داده است. (Sioshansi, 2013).

ساختار فعلی تولید انرژی و قدرت عمدتاً در صنایع حرارتی بزرگ با راندمان کلی ۳۰ تا ۵۰ درصد است و انرژی باید در مسافت‌های طولانی منتقل شود که این مسئله نیز ۲۰ درصد تلفات را در پی دارد. (Gu, Ren, Gao, & Ren, 2012). علاوه بر این حرارت زیادی در خروجی محرک‌های اولیه تولید بر موجود است که در صورت عدم بازیابی حرارتی در محیط زیست رها می‌شود و علاوه بر ضرر رسانی اقتصادی، مشکلات زیست محیطی نیز به دنبال خواهد داشت. (Martinez-Lera & Ballester, 2010).

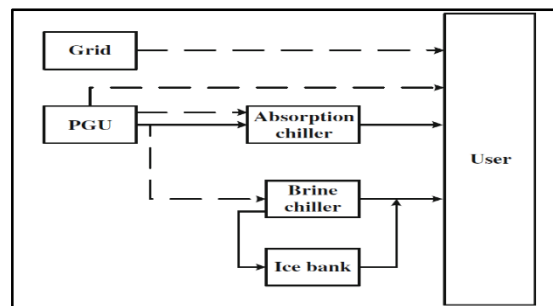
سیستم‌های CCHP به عنوان جایگزین کلیدی و مناسبی برای تولید گرما، و برودت شناخته می‌شوند. عملکرد این سیستم‌ها شامل همزمانی تولیدات گرما و برق است که باعث صرفه‌جویی بسیار زیادی در مصرف انرژی در مقایسه با سیستم‌های تامین انرژی سنتی می‌شود و خود این امر نیز موجب مصرف کمتر سوخت تولید شده و همچنین آلودگی و خطر

کمتری را برای محیط‌زیست به دنبال دارد. تکنولوژی‌های ذخیره انرژی از جمله این عوامل هستند که به سرعت تبدیل به تکنولوژی‌های محبوب و کاربردی شده‌اند [۱]. آن‌ها می‌توانند انرژی را در زمان‌هایی که کاهش تقاضای مصرف وجود دارد ذخیره کرده و در زمان‌های اوج مصرف از آن استفاده کنند. از این رو اهمیت ذخیره انرژی موجب شده است که تکنولوژی‌های ذخیره ارزان، ذخیره انرژی گرمایی و مخازن انرژی‌های گرمایشی و سرمایشی با یکدیگر در سیستم CCHP ادغام شده‌اند [۱]. سیستم ذخیره انرژی گرمایشی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای مدت زمان بازپرداخت را کاهش و سوددهی پروژه به سرمایه‌گذاران آن را با استفاده از تکنولوژی‌های ارزان و ساده افزایش دهد. اگر چه سیستم‌های CCHP نیازمند به سیستم‌های ذخیره انرژی گذرا هستند و فرآیند ذخیره‌سازی نیز در آنها گذرا است. بنابراین ایجاد یک استراتژی عملیاتی تاثیر گذار برای ذخیره انرژی گرمایی در سیستم‌های CCHP بسیار با اهمیت است.

مدلسازی MINLP نیز مدلی است که برای برطرف کردن مشکلات عملیات‌های کوتاه مدت با هدف کاهش هزینه‌های اقتصادی یک سیستم CCHP انتخاب شده است (Cui, et al. 2015)

۲- سیستم CCHP، با مخزن یخ

سیستم CCHP با مخزن یخ متشکل از بخش تولید قدرت، سیستم بازیافت انرژی هدر رفته، سیستم خنک کننده و سیستم مخزن یخ است که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مقاله از سیستم تهویه مخزن یخ به عنوان سیستم خنک کننده استفاده شده است که این سیستم خود از چیلرهای دو منظوره و مخزن یخ تشکیل شده است [۱]. این سیستم شامل بارهای برودتی و الکتریکی است که به ترتیب با خطوط توپر و خط چین مشخص شده‌اند (Cui, et al. 2015). سیستم تولید قدرت که سوخت مصرفی آن گاز طبیعی است زمانی که با دیماندهای الکتریکی و حرارتی مواجه می‌شود به طور همزمان به تولید گرما و الکتریسیته می‌پردازد، اگر در این شرایط انرژی مازادی وجود داشته باشد در مخزن یخ به کار گرفته شده در سیستم ذخیره خواهد شد. اگر بار حرارتی بیشتر از حدی باشد که سیستم تولید قدرت توانایی تولید آنرا دارد، مخزن یخ باقی‌مانده انرژی مورد نیاز را برای سیستم فراهم می‌آورد.



شکل ۱: جریان انرژی در یک سیستم CCHP [1]

۳- مدلسازی MINLP

Michael R. Bussieck و دوستان مدل MINLP را به صورت برنامه ریاضی با استفاده از متغیرهای گسسته و پیوسته غیر خطی در توابع و قیود آنها تعریف نموده‌اند. استفاده از این مدلسازی به صورت طبیعی برای فرمول‌بندی مسائلی است که در آن‌ها همزمانی بهینه‌سازی ساختار سیستم (به عنوان متغیر گسسته) و پارامترها (به عنوان متغیر پیوسته) حائز اهمیت است. حالت عمومی این مدلسازی به صورت زیر است:

$$\text{minimize } x \text{ subject to } = \begin{cases} f(x,y) \\ g(x,y) \leq 0 \\ x \in X \\ y \in Y \end{cases}$$

که در آن تابع $f_{(x,y)}$ تابع هدف و $g_{(x,y)}$ نیز تابع محدودیت است که هر دو آنها غیر خطی هستند. متغیرهای x و y نیز متغیرهای تصمیم گیری هستند که y باید عددی صحیح باشد. X و Y نیز حدود متغیرها هستند [4]. برای دستیابی به اصول بیشتر از این مدل سازی می توان به [5] مراجعه کرد.

Cui و دوستان قیود و توابع مورد استفاده در مدل سازی CCHP با استفاده از MINLP را به صورت زیر بیان نموده اند:

۱. مدت زمان بهینه سازی انرژی به عنوان $[t_0, t_f]$ در نظر گرفته می شود، بازه زمان بندی انرژی نیز T است. بازه زمان بندی انرژی T شامل N_t مرحله است به گونه ای که $t_i = [t_0 + (i-1)T, t_0 + iT], i = 1, \dots, N_t$.
۲. در نظر گرفتن حرف j برای انواع انرژی $N_j, j = 1, \dots, N_j$ شامل تمامی انرژی ها است. به عنوان مثال $j = 1$ برای قدرت، $j = 2$ برای گرما و $j = 3$ را برای برودت در (CCHP) در نظر گرفته اند.
۳. برای شماره دستگاه ها نیز k در نظر گرفته شده است به طوریکه $k = 1, \dots, N_k$ و N_k نشان دهنده تمامی دستگاه ها است. N_s نشان دهنده تعداد دستگاه های مبدل انرژی است. N_c نشان دهنده دستگاه های مکمل چند انرژی ای است. N_m نشان دهنده دستگاه های دینامیکی است و N_n نیز بیان کننده دستگاه های ذخیره انرژی است.
۴. U به عنوان دستگاه ها و Q برای انرژی تولید شده و یا مصرفی آنها در نظر گرفته می شود. برای یک دستگاه می توان U_k را در نظر گرفت و برای انرژی تولیدی یل مصرفی نیز می توان از $Q_{k,j}$ استفاده کرد. به عنوان مثال موتور احتراق داخلی می تواند به عنوان U_1 در نظر گرفته شود، هنگامیکه برق تولید کند با $Q_{1,1}$ و در زمان تولید گرما با $Q_{1,2}$ و در زمان برودت $Q_{1,3}$ نشان داده شود.

۳-۱- پارامترها و متغیرها

پارامترهای تغییر زمان:

متغیرهای زمانی پارامترهایی هستند که ممکن است در طول یک بازه زمانی به عنوان نوسانات تقاضا و یا دمای محیط دچار تغییر شوند از این رو دارای مقدارهای متفاوتی در هر دوره زمانی t هستند:

$$p_j(i): \text{تقاضاهای انرژی در زمان } t$$

$$pb_j(i): \text{قیمت خرید انرژی در زمان } t$$

$$ps_j(i): \text{قیمت فروش انرژی در زمان } t$$

ثابت:

$$cm_{k,j}: \text{هزینه های تعمیر و نگهداری دستگاه ها، که متناسب است با میزان انرژی تولیدی}$$

$$cs_k: \text{هزینه های راه اندازی اولیه که متناسب است با تعداد شروع ها}$$

$$ch_{k,j}: \text{مقدار انرژی هدر رفته از دستگاه های ذخیره سازی که متناسب است با مدت زمان}$$

متغیرهای پیوسته:

$$Q_{k,j}(i): \text{انرژی } j \text{ مصرف شده و یا عرضه شده در دستگاه } k \text{ در زمان } i$$

$$\Delta Q_{k,j}(i): \text{نشان دهنده میزان انرژی } j \text{ ذخیره شده در دستگاه های ذخیره سازی انرژی متفاوت در فاصله زمانی } i \text{ و } i-1$$

$$s_{k,j}(i): \text{انرژی } j \text{ ذخیره شده در دستگاه های ذخیره انرژی } k \text{ در زمان } i$$

متغیرهای دوتایی:

$$z_k(i): \text{متغیر های حالت دستگاه } k \text{ در زمان } i$$

$m_j(i)$: متغیرهای حالت نشان دهنده اینکه انرژی ز خریداری شده است.

۳-۲- هدف

مقصود مدلسازی Cui و دوستان به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\min \sum_{i=1}^{N_t} C_b(i) - \sum_{i=1}^{N_t} C_s(i) + \sum_{i=1}^{N_t} C_{on}(i) + \sum_{i=1}^{N_t} C_l(i) \quad (۱)$$

$C_b(i)$ هزینه انرژی تمام دستگاه‌ها در زمان i است، که از مجموع مقدار سوخت هر دستگاه ضرب در هزینه‌های خاص خود به دست می‌آید.

$$C_s(i) = \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{N_k} p_s(i) Q_{k,j}(i) \quad (۲)$$

$C_{on}(i)$ هزینه راه اندازی تمامی دستگاه‌ها در زمان i است که از هزینه‌های اضافی همراه با روند شروع به کار بدست می‌آید.

$$C_{on}(i) = \sum_{k=1}^{N_k} c_{sk}(i) Z_k(i) \quad (۳)$$

$C_s(i)$ از طریق ضرب مقدار انرژی الکتریکی خریداری شده و یا فروخته شده از شبکه در هر ساعت بدست می‌آید.

$$C_s(i) = \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{N_k} p_s(i) Q_{k,j}(i) \quad (۴)$$

۳-۳- قیود

قید تعادل بار انرژی:

قید تعادل این اطمینان را می‌دهد که نیازهای متقاضی انرژی همیشه توسط دستگاه‌های تولیدکننده انرژی ز در زمان i به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

$$\sum_{k=1}^{N_s} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_c} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_m} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_n} \Delta Q_{j,k}(i) = P_j(i) \quad (۵)$$

به‌طوریکه $Q_{k,j}(i)$ انرژی ز تولید شده و یا مصرف شده توسط دستگاه k است و $\Delta Q_{k,j}(i)$ متغیر انرژی ز ذخیره شده در دستگاه k در طول زمان i است.

طبق مدل Cui و دوستان، برای آسان تر شدن عملکرد، متغیر sl_j تعریف می‌شود تا باعث سادگی و حل قیود شود.

$$\sum_{k=1}^{N_s} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_c} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_m} Q_{j,k}(i) + \sum_{k=1}^{N_n} \Delta Q_{j,k}(i) + sl_j = P_j(i) \quad (۶)$$

قید راه اندازی دستگاه:

قیدهای راه اندازی برای بدست آوردن حداکثر روشهای راه اندازی، که هر دستگاه به دور از خراب شدن می‌تواند تحمل کند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\sum_{i=1}^{N_T} \Delta T_{k,i} \leq N_k \quad (۷)$$

برای اینکه متغیرها مقدار ۱ را در زمان i داشته باشند تنها راه این است که دستگاه k در زمان i خاموش باشد که موجب

قیود زیر می‌شود:

$$\begin{aligned} \Delta T_{k,i} &\geq Z_k(i) - Z_k(i-1) \\ \Delta T_{k,i} &\leq 1 - Z_k(i-1) \\ \Delta T_{k,i} &\leq Z_k(i) \end{aligned} \quad (۸)$$

قید عملکرد:

قید عملکرد کارایی دستگاه را تضمین می‌کند. برای هر دستگاه متغیرهای ورودی (برق و سوخت مصرفی) از طریق تابع عملکرد به متغیرهای خروجی (گرمای تولیدی، برق و برودت) مرتبط می‌شود.

توربین گاز: کارایی توربین گازی به طور مستقیم به عنوان محرک اصلی بر روی کارایی سیستم (CCHP) تاثیر خواهد داشت. فاکتورهای اصلی که بر روی عملکرد توربین گازی تاثیر خواهند داشت عبارتند از دما، رطوبت مطلق، ارتفاع، افت فشار ورودی هوا و میزان بار تخلیه شده از دریچه خروجی. برای سهولت در مدل ایجاد شده توسط Cui و دوستان قدرت خروجی توربین گازی، مصرف سوخت و گرمای خروجی متناظر قابل بازیافت در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ضرایب مدل متناسب با داده‌های کارکرد توربین گازی توسط Cui و دوستان انتخاب شده‌اند.

قیود سوخت مصرفی:

$$Q_{k,0}(i) = \sum_{j=1}^m a_n^j Q_{k,j}^n(i) + \dots + a_2^j Q_{k,j}^2(i) + b_j \quad (9)$$

قیود بازیافت حرارت:

$$Q_{k,j'}(i) = c_n^j Q_{k,j}^n(i) + \dots + c_2^j Q_{k,j}^2(i) + c_1^j Q_{k,j}(i) + b_j \quad (10)$$

چیلر: در سیستم (CCHP) اکثر اوقات به صورت بارگذاری موقت کار می‌کند. بارهای متفاوت دستگاه بستگی به ضریب عملکردهای متفاوت دارد. چیلرهای دو کاره (dual-mode) با استفاده از الکتريسيته مصرفی مدل سازی شده‌اند به طوریکه مدل سازی آنها به دو شرایط برودت و یخ تقسیم می‌شود. ضریب برگشت پذیری هر مدل نیز با یکدیگر تفاوت دارد.

$$Q_{k,j'}(i) = a_n Q_{k,j}^n(i) + \dots + a_2 Q_{k,j}^2(i) + a_1 Q_{k,j}(i) + b \quad (11)$$

سیستم مخزن یخ: سیستم تهویه هوا با مخزن یخ از سیستم‌های تهویه هوای معمولی متفاوت است. مخزن یخ یک دستگاه تولید قدرت نیست اما عملکرد ذوب شدن یخ تاثیر بسیار زیادی بر روی این سیستم دارد. برای سادگی حداکثر عملکرد ذوب شدن یخ توسط Cui و دوستان ثابت فرض شده است.

قید مخزن یخ:

$$Q_{min,j} \leq Q_{k,j}(i) \leq Q_{max,j} \quad (12)$$

بطوریکه $Q_{k,j}(i)$ یخ ذخیره شده در دستگاه در زمان i و $Q_{min,j}$ و $Q_{max,j}$ مقدارهای حداقل و حداکثر یخ ذخیره شده در دستگاه هستند.

قید میزان ذوب شدن یخ:

$$Q_{k,j}(i) - Q_{k,j}(i-1) \leq \Delta Q_{max,j} \quad (13)$$

به گونه‌ای که $\Delta Q_{max,j}$ حداکثر مقدار ذوب شدن در فاصله زمانی i و $i-1$ است.

قیود متغیر:

$$Q_{k,j}(i) = Q_{k,j}(i-1) + \Delta Q_{k,j}(i) \quad (14)$$

۴- منافع اقتصادی حاصل از به کارگیری مخزن یخ

مخزن یخ یکی از تکنولوژی‌های ذخیره حرارتی است که به طور گسترده در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است تا از طریق انتقال زمان استفاده از انرژی از زمان‌های اوج مصرف به زمانهای کم مصرف موجب کاهش برق مصرفی و هزینه‌های اقتصادی شود. اگر بار برودتی مورد نیاز بیشتر از بار برودتی مجاز به استفاده در زمان‌های اوج و عادی مصرف برق

باشد، محرک اصلی تحت شرایط متغیری عمل می‌کند. همچنین محرک اصلی در زمانیکه تقاضای بار برودتی بیشتر از بار اسمی محرک باشد نیز همین شرایط را دارا است. مخزن یخ در زمانیکه بار برودتی بیشتر از بار اسمی محرک و کمتر از مجموع بارهای محرک اصلی و سیستم در حالت ذوب شدن باشد و همچنین در زمانی که بار برودتی کمتر از بار اسمی محرک اصلی که در شرایط عادی خود کار می‌کند قرار داشته باشد به عنوان مکمل محرک اصلی در حالت ذوب کار می‌کند که این عملکرد سیستم یخ می‌تواند هزینه‌های اقتصادی را در یک CCHP تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد [۱].

مقایسه عملکرد سیستم در هنگامی که مخزن یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد با هنگامی که در سیستم لحاظ نمی‌شود، نشان می‌دهد که میزان مصرف ماهانه انرژی در سیستم بالا می‌رود، از دلایل اصلی این اتفاق می‌توان به کارکرد کمتر چیلر برای خنک کردن آب با دمای پایین‌تر اشاره کرد و چون بخش عمده‌ای از این انرژی نیز در زمانهای کم مصرف مورد استفاده قرار گرفته است، هزینه انرژی مصرفی به طور چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند [۱].

۵- مروری بر مطالعات موردی

مخازن ذخیره انرژی گرمایی شامل تعداد زیادی از تکنولوژی‌هایی هستند که انرژی را در این مخازن برای اسفاده در زمان‌های دیگر ذخیره می‌کنند. تکنولوژی مخزن یخ نیز یکی از همین تکنولوژی‌ها است که در بسیاری از کشورها برای مصرف کمتر انرژی الکتریکی و در نتیجه آن کاهش هزینه‌های اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است. در مواردی از این تکنولوژی در یک ساختمان‌های اداری نیز استفاده شده است [۲] که در مقایسه با زمانیکه مخزن یخ بر روی سیستم آن نصب نشده است می‌توان مشاهده کرد که به میزان ۴٪ انرژی کمتری در سیستم استفاده شده است، هم چنین مقدار دی‌اکسیدکربن تولید شده نیز با استفاده از مخزن یخ کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

برای بهبود اقتصادی سیستم انرژی مخزن یخ در CCHP مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مدلسازی MINLP نیز می‌توان این فرآیند را مورد بررسی قرار داد و بررسی کرد. با بررسی عملکرد بخش‌ها به صورت غیر خطی و مشاهده‌ی نتایج می‌توان این موضوع را دریافت که استفاده از مخزن می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های اقتصادی یک CCHP شود.

منابع

- [1] Cheng-gang Cui, et al. Optimization of Combined Heat and Power Generation System with Ice Thermal Storage. Springer verlag Berlin Heidelberg, Pp 13-23.2015
- [2] Christopher L. Hall, Dante Freeland and Nabil Nassif. Optimizing Ice Thermal Storage to reduce Energy cost. Springer International Publishing Switzerland. pp195-202.2016
- [۳] کریمی علویچه، سعید؛ کامبیز رضاپور و رامین کرمی، ۱۳۸۹، به کارگیری چیلر جذبی در سیستم تولید همزمان سرما، گرما و الکتریسیته (CCHP)، نخستین همایش چیلر و برج خنک کن ایران، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا،
- [4] Michael R. Bussieck, Armin Pruessner. Mixed Integer Nonlinear Programming. GAMS Development corporation. NW Washington. 2003
- [5] C.A. Floudas, nonlinear and Mixed Integer Optimization: Fundamentals and applications. Oxford University Press. New York NY. 1995
- [۶] زارع، غلامرضا و مجتبی میرزایی، ۱۳۹۴، بررسی سیستم CCHP با محرک اولیه میکروتوربین گازی در بهره‌وری انرژی و بهره‌وری اقتصادی سوخت مصرفی، کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، تهران، موسسه سرآمد همایش کارین.

مقایسه عملکرد تاریخچه زمانی قاب‌های فولادی با مهاربندهای زیپر در مقایسه با مهاربندهای شورون در ساختمان‌های ۱۶ طبقه

احمد رئیسی دهکردی، محمدصادق رئیسی دهکردی، ابراهیم شریفی تشنیزی

طراحی شناورهای کوچک و بهینه‌سازی طراحی بدنه شناور برای دریاهای بزرگ
احسان قاقیش پور

طراحی زیر لایه فوتونی مربعی و دایره‌ای شکل برای آنتن میکرواستریپ
حبیب الله ناصری

بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی
شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده

استحصال روی از الکترولیت در گردش پالایشگاه مجتمع مس سرچشمه به روش استخراج حلالی
سبحان سلطانی نژاد، امیر صرافی، حسن هاشمی پور رفسنجانی

تعیین عمق غرقابی برای جلوگیری از گردابه سطح آزاد در آبگیر افقی با استفاده از مدل‌سازی عددی
عرفان رضوی، حسن احمدی

بررسی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر ویلچرهای مسابقه‌ای با استفاده از روش تحلیل عددی دینامیک سیالات محاسباتی
ایمان مبرزی، محمد افتخاری یزدی

بهکارگیری مخزن یخ در سیستم CCHP، منافع و محدودیت‌ها
پوریا کرمی، فرید قدمی

پژوهش‌های نوین
مهندسی

۰۲۱ ۳۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷



۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱ ۲۴

۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۷

۰۲۶ ۳۲۷۴ ۷۱۵۸

تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفتتیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف