

نشریه علمی-تخصصی

# پژوهش‌های نوین مهندسی

ماهنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی  
سال سوم، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷، شماره ۱۵ و ۱۶

بررسی کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان با  
استفاده از میراگرهای ویسکوز در حوزه‌ی فرکانس  
امیر شاه محمدیان، محمد رضا منصوری، میرحمید حسینی

بررسی نقش بافرزون در حفاظت از تالاب استیل آستارا  
لیلا اوشک سرائی، محدثه آخسته

نقش مدیریت بحران در کاهش آسیب‌های زلزله در استان  
سیستان و بلوچستان  
علی ریگی، سپیده زوار براشکی

بررسی رفتار چرخ‌های قاب مهاربندی کمان شتاب با پارامتر  
تقاضای شکل‌پذیری تجمعی  
احسان دهقانی، نرگس بابایی

مطالعه آزمایشگاهی نحوه شستشوی نفت از سنگ مخزن  
در سیلاب‌زنی با استفاده از سی.تی.اسکن چرخشی  
شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده

طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک برای  
طی مسیر خاص با استفاده از روش پرواز کور  
سید محمد سیدمهدی، مجید محمدی مقدم

روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و نقش  
شبکه‌های عصبی در کاهش مصرف انرژی آن‌ها  
جواد نیک افشار

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

# پژوهش‌های نوین مهندسی

ماهنامه علمی-تخصصی پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،  
سال سوم، شماره پانزده و شانزده، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:  
امیرحسین یوسفی  
سر دبیر: میلاد فتاحی  
مدیر داخلی: منیژه ملائی

## اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی  
جناب آقای دکتر شهرورز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی  
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی  
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک  
سرکارخانم دکتر ساغر جازچی، 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 ربودار، 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 هفت تیر، 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](http://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    | بررسی کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان با استفاده از<br>میراگرهای ویسکوز در حوزه‌ی فرکانس<br>امیر شاه محمدیان، محمد رضا منصوری، میرحمید حسینی |
| ۱۵   | بررسی نقش بافرزون در حفاظت از تالاب استیل آستارا<br>لیلا اوشک سرائی، محدثه آخسته                                                                         |
| ۲۹   | نقش مدیریت بحران در کاهش آسیب‌های زلزله در استان سیستان و<br>بلوچستان<br>علی ریگی، سپیده زوار براشکی                                                     |
| ۳۷   | بررسی رفتار چرخه‌ای قاب مهاربندی کمانش‌تاب با پارامتر تقاضای<br>شکل‌پذیری تجمعی<br>احسان دهقانی، نرگس بابایی                                             |
| ۴۵   | مطالعه آزمایشگاهی نحوه شستشوی نفت از سنگ مخزن در سیلاب‌زنی با<br>استفاده از سی تی اسکن چرخشی<br>شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده                     |
| ۵۷   | طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک برای طی مسیر خاص<br>با استفاده از روش پرواز کور<br>سید محمد سیدمهدی، مجید محمدی مقدم                       |
| ۷۱   | روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و نقش شبکه‌های عصبی در<br>کاهش مصرف انرژی آن‌ها<br>جواد نیک افشار                                               |
| ۸۵   | بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی<br>شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده                                                                    |



## بررسی کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان با استفاده از میراگرهای ویسکوز در حوزه‌ی فرکانس

امیر شاه محمدیان<sup>۱\*</sup>، محمد رضا منصوری<sup>۲</sup>، میرحمید حسینی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه عمران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه عمران، تهران، ایران

a.shahmohammadian@srbiau.ac.ir

### چکیده

مطالعه زمین لرزه‌های گذشته نشان داده است که وجود نامتقارنی در پلان سازه یکی از دلایل اصلی گسیختگی سازه‌ها می‌باشد. وجود نامتقارنی در پلان سازه باعث می‌شود که سازه در هنگام وقوع زلزله علاوه بر تغییر مکان جانبی دچار تغییر مکان پیچشی نیز بشود. همبستگی پیچشی جانبی در پلان سازه باعث ایجاد تقاضای تغییر شکل‌های نابرابر در قاب‌های مقاوم لرزه‌ای سازه می‌شود. به همین دلیل در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به منظور کاهش پاسخ ناشی از نامتقارنی در سازه صورت گرفته است. یکی از روش‌های ارائه شده استفاده از میراگرهای ویسکوز الحاقی می‌باشد. میراگرهای ویسکوز الحاقی نه تنها پاسخ لرزه‌ای کلی سازه را کاهش می‌دهند بلکه با توزیع متناسب این میراگرها در پلان سازه میتوان اثرات ناشی از نامتقارنی سازه را کاهش داد. بدین منظور در این تحقیق تلاش شده است که با حل معادلات دینامیکی سازه یک طبقه در حوزه فرکانس و همچنین استفاده از مفهوم تعادل پیچشی، توزیع مناسبی از میراگرهای ویسکوز به منظور کاهش همبستگی پیچشی-جانبی و در نتیجه بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن بدست آید. نتایج نشان می‌دهد که توزیع مناسب میراگرها نه تنها پاسخ لرزه‌ای سازه را کاهش می‌دهد بلکه باعث تغییر شکل تقریباً یکسان قاب‌های مقاوم لرزه‌ای سازه می‌شود. هم‌چنین مشاهده شده که توزیع مناسب میراگرها در پلان سازه تحت تاثیر زمان تناوب سازه، اندازه‌ی خروج از مرکزیت سختی، نسبت فرکانس پیچشی به جانبی غیر همبسته و همچنین درصد میرایی الحاقی می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** سازه نامتقارن، خروج از مرکزیت سختی، میراگرهای ویسکوز، دیدگاه تعادل پیچشی،

تحلیل حوزه فرکانس

### ۱. مقدمه

نامتقارنی در پلان یکی از دلایل اصلی گسیختگی در سازه‌ها هنگام وقوع زلزله می‌باشد. نامتقارنی در سازه می‌تواند به دلیل منطبق نشدن مرکز جرم بر روی مرکز سختی و یا مقاومت سازه باشد. یکی از راه‌کارهای کاهش خسارت ناشی از نامتقارنی سازه، کاهش خروج از مرکزیت‌های نام‌برده می‌باشد که به دلیل مسائل معماری و سازه‌ای (وجود جعبه پله، دیوار برشی و ...) این کار امکان‌پذیر نمی‌باشد. یکی دیگر از روش‌های مطالعه شده توزیع مناسب میراگرهای ویسکوز الحاقی در پلان سازه به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای چنین سازه‌هایی می‌باشد.

Goel (۱۹۹۸) [1] اثر میراگرهای ویسکوز الحاقی را بر پاسخ سازه‌های نامتقارن مورد بررسی تحلیلی قرار داده است. مدل مورد بررسی، مدل الاستیک یک طبقه با خروج از مرکزیت یک جهته سختی بوده است. پارامترهای ضریب میرایی، خروج از مرکزیت میرایی و شعاع ژیراسیون میرایی نیز به عنوان پارامترهای کنترل کننده ی میراگرها مطالعه شده اند که این پارامترها در بخش‌های بعدی تعریف می گردند. نتایج به دست آمده نشان می دهند که میراگرهای ویسکوز الحاقی می توانند دریافت سازه را در مقایسه با سازه‌های بدون سیستم میراگر کاهش دهند. هم چنین در صورتی که مرکز میرایی در سمت مخالف مرکز سختی نسبت به مرکز جرم و با فاصله ای برابر با خروج از مرکزیت سختی باشد، تغییر مکان‌های لبه‌های سخت و نرم در حد بهینه ای کاهش می یابد. از طرفی هرچقدر شعاع ژیراسیون میراگرها بیشتر باشد پاسخ در هر دو لبه ی سخت و نرم کاهش می یابد.

Goel (۲۰۰۰) [2] در تحقیق دیگری بر روی یک سازه ی یک طبقه ی نامتقارن تحت شتاب نگاشت زلزله به این موضوع اشاره کرد که مقدار میرایی مود اول با افزایش فاصله ی مرکز میرایی از مرکز جرم در سمت مخالف مرکز سختی، افزایش می یابد و از آنجا که تغییر مکان لبه ی نرم توسط مود اول کنترل می شود چنان توزیعی از میراگرها موجب بیشترین کاهش در تغییر شکل لبه ی نرم می شود.

De La Llera و همکاران (۲۰۰۴، ۲۰۰۵) [3,4] در تحقیقات خود مفهوم تعادل پیچشی را جهت تعیین توزیع میراگرها برای بهینه کردن رفتار پیچشی سازه‌های نامتقارن ارائه نمودند. تعادل پیچشی وضعیتی از توزیع میراگرها (شامل میراگرهای ویسکوز، ویسکوالاستیک و اصطکاکی) در پلان است که موجب یکسانی مقدار مربع میانگین یک پاسخ سازه (نظیر شتاب، سرعت و تغییر مکان) در طول زلزله در نقاطی از دیافراگم می باشد که دارای فاصله ی برابر از مرکز سطح دیافراگم هستند. بررسی‌های این محققان بر روی پاسخ تغییر مکان سازه یک طبقه نشان داده که چنین توزیعی از میراگرها، بیشینه چرخش دیافراگم و تغییر مکان جانبی را به حداقل می رساند. همچنین در حالت خاص قرار گیری مرکز جرم در وسط دیافراگم، نتایج این محققان با نتایج Goel [۲] مطابقت دارد.

منصوری و سروقد مقدم (۲۰۰۹) [5] امکان کنترل هم زمان تغییر مکان و شتاب سازه‌های نامنظم را با بکارگیری میراگرهای ویسکوز مورد ارزیابی قرار دادند. مدل مورد بررسی یک سازه ی یک طبقه با سیستم قاب خمشی فلزی و خروج از مرکزیت یک جهته سختی و مقاومت بود. نتایج بدست آمده نشان می دهد که توزیع میرایی می تواند تاثیر قابل توجهی بر روی مشخصات مودی و پاسخ لرزه ای سازه بگذارد. هم چنین چندین توزیع بهینه از میراگرها با هدف کنترل تغییر مکان جانبی، شتاب و چرخش دیافراگم پیشنهاد دادند.

Almazan و De La Llera (۲۰۰۹) [6] به بیان کاملتر مفهوم تعادل پیچشی در سازه‌های یک طبقه با نامتقارنی تک جهته و در نظر گرفتن رفتار الاستیک سازه پرداختند و اثرات زمان تناوب سازه، نسبت فرکانس پیچشی به جانبی غیر هم بسته، خروج از مرکزیت استاتیکی و شعاع ژیراسیون میرایی را بررسی کردند. علاوه بر این معیارهایی برای تعادل پیچشی ارائه دادند. Almazan و همکاران (۲۰۱۳) [7] یک روش بهینه سازی برای کنترل پاسخ لرزه ای سازه‌های نامتقارن در پلان با نامتقارنی یک جهته، با در نظر گرفتن رفتار خطی و غیر خطی سازه با تکیه بر مفهوم تعادل پیچشی ارائه دادند. آنها با استفاده از این الگوریتم نه تنها تغییر مکان دو لبه پیرامون سازه را کاهش دادند بلکه مقدار این تغییر مکان‌ها را برابر کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که موقعیت خروج از مرکزیت میرایی، به طور محسوس تحت تاثیر رفتار غیر خطی سازه نمی باشد و نتایج دو مدل خطی و غیر خطی نزدیک می باشند.

رحیم زاده رفویی و همکاران (۲۰۱۶) [8] به بررسی بهبود رفتار پیچشی لرزه ای سازه‌های نامتقارن در پلان با قاب خمشی بتن مسلح با بهره گیری از میراگرهای ویسکوز پرداختند. آنها یک مدل یک طبقه با خروج از مرکزیت تک جهته سختی به همراه چیدمان‌های مختلفی از میراگرها را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که توزیع مناسب میراگرها در پلان سازه در کنترل رفتار پیچشی سازه‌های بتنی بسیار موثر می باشد.

با توجه به این که در این تحقیق از مفهوم تعادل پیچشی به منظور کنترل پاسخ لرزه ای سازه های نامتقارن در پلان استفاده شده است، در ادامه به توضیح این مفهوم می پردازیم.

## ۲- مفهوم تعادل پیچشی در حالت خروج از مرکزیت یک طرفه: [3,4]

تعادل پیچشی به عنوان یک ویژگی سازه های نامتقارن تعریف می شود که منجر به تقاضای تغییر مکان (سرعت و یا شتاب) یکسان در المان های سازه ای با فاصله ی مساوی از مرکز هندسی پلان سازه میگردد. تعادل پیچشی در دو حالت تعادل قوی و تعادل ضعیف تعریف می شود. تعادل قوی نشان دهنده ی غیر همبسته بودن حرکت جانبی و پیچشی است و منجر به تقاضای تغییر مکان یکسان در کلیه ی المان های مقاوم برابر جانبی می شود. حالت تعادل پیچشی ضعیف که در آن اجازه ی چرخش به پلان داده می شود تنها نشانگر یک معیار برابر از تقاضای تغییر مکان در المان های مقاوم است که نسبت به مرکز هندسی متقارن هستند. مفهوم تعادل پیچشی غالباً با وجود میراگر ها بیان می شود، دلیل این امر امکان استفاده از میراگر ها برای رسیدن به این وضعیت می باشد اما این امکان وجود دارد که بدون استفاده از میراگر ها نیز به این مفهوم دست یافت.

به منظور بررسی تعادل پیچشی، دیافراگم یک طبقه که مرکز جرم آن در یک نقطه ی دلخواه قرار دارد و تنها در جهت  $x$  نامتقارن می باشد، مطابق شکل ۱ مدنظر قرار می گیرد. مقدار خروج از مرکزیت یک جهته سختی در جهت  $x$  برابر  $e_{sx}$  می باشد. محل مبدا مختصات در محل مرکز جرم در نظر گرفته می شود. در اینجا معادلات تنها برای حالت تغییر مکان جانبی بدست آمده اند، اما برای سرعت و شتاب جانبی نیز با الگوریتم ارائه شده می توان حالت تعادل پیچشی را بدست آورد. درجات آزادی در مرکز جرم شامل درجه آزادی غیر هم بسته در جهت  $x$  ( $u_x$ ) و درجات آزادی همبسته تغییر مکان جانبی در جهت  $y$  ( $u_y$ ) و چرخش ( $u_\theta$ ) می باشند. عناصر مقاوم جانبی (الاستیک و غیرالاستیک) به صورت فنر مدلسازی شده اند. مرکز ثقل میراگر ها نیز با خروج از مرکزیت  $e_d$  در نظر گرفته می شود. در اینجا بردار تغییر مکان در مرکز جرم به صورت تابعی از زمان ( $t$ ) و  $e_d$  در نظر گرفته شده و فرایند پاسخ ارگودیک فرض می شود.

فرایند ارگودیک فرایندی است که مقدار تابع خود همبستگی موضعی آن با تابع خود همبستگی عمومی یکسان است. خود همبستگی موضعی برای یک تابع دلخواه  $x(t)$  عبارت است از :

$$\Phi_X(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau)dt \quad (1)$$

هم چنین تابع خود همبستگی عمومی برابر است با:

$$R_X(\tau) = \iint_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)P(x(t), x(t+\tau))dx(t)dx(t+\tau) \quad (2)$$

در این روابط  $P$  تابع چگالی احتمال،  $x$  تابع فرایند و  $T$  مدت زمان فرایند می باشد. با فرضیات فوق با حذف تغییر مکان غیر

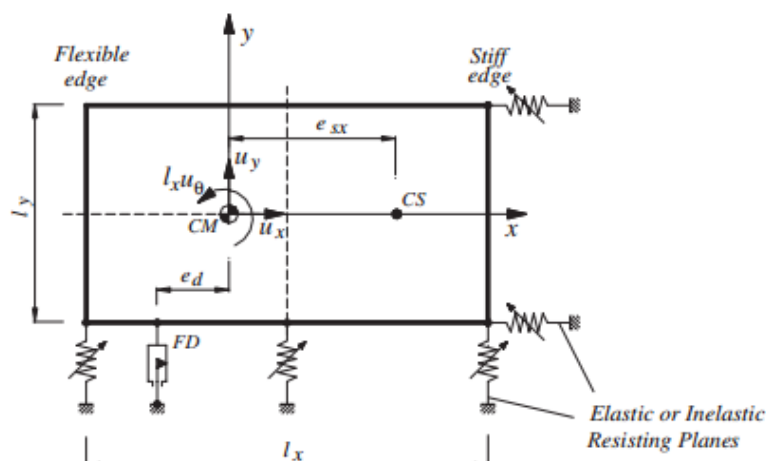
هم بسته  $u_x$  داریم :

$$u(t)^T = [u_y(t, e_d), L_x u_\theta(t, e_d)] \quad (3)$$

در این صورت بردار تغییر مکان در نقطه با فاصله  $P$  از مرکز جرم برابر است با :

$$u_y^{(p)}(t, e_d) = u_y(t, e_d) + p u_\theta(t, e_d) \quad (4)$$





شکل ۱: مدل یک طبقه با نامتقارنی تک جهته مطرح شده با خروج از مرکزیت سختی  $e_{sx}$  [7]

مقدار مربع میانگین مورد انتظار تغییر مکان در نقطه ای با فاصله  $p$  از مرکز جرم برابر است با:

$$E[u_y^{(p)}(t, e_d)^2] = E[u_y(t, e_d)^2] + 2PE[u_y(t, e_d)u_\theta(t, e_d)] + P^2 E[u_\theta(t, e_d)^2] \quad (5)$$

در نقطه ای با فاصله  $p^*$  از مرکز جرم، مینیمم مربع پاسخ مورد انتظار رخ می دهد که به طریق زیر محاسبه می شود:

$$\frac{\partial E[u_y^{(p)}(t, e_d)^2]}{\partial p} = 2E[u_y u_\theta] + 2PE[u_\theta^2] = 0 \quad (6)$$

$$p^* = - \frac{E[u_y u_\theta]}{E[u_\theta^2]} = - \rho y \theta \frac{\sigma_y}{\sigma_\theta} \quad (7)$$

که در آن  $\rho y \theta$  ضریب همبستگی خطی بین حرکات جانبی و پیچشی در مرکز جرم بوده و  $\sigma_y$  و  $\sigma_\theta$  به ترتیب انحراف معیار تغییر مکان جانبی و تغییر مکان دورانی می باشند. نقطه  $p^*$  که با مشخصات بالا تعیین شده است همان نقطه ایست که در آن ضریب همبستگی بین دو حرکت جانبی و دورانی صفر می باشد زیرا:

$$E[u_y^{(p)} u_\theta] = E[u_y(t, e_d) u_\theta(t, e_d)] + pE[u_\theta(t, e_d)^2] = 0 \quad (8)$$

$$p^* = - \frac{E[u_y u_\theta]}{E[u_\theta^2]} = - \rho y \theta \frac{\sigma_y}{\sigma_\theta} \quad (9)$$

مربع پاسخ تغییر مکان جانبی در نقطه  $p^*$  که مقدار مینیمم این پاسخ در طول دیافراگم می باشد، برابر است با:

$$E[u_y^{(p^*)}(t)^2] = E[u_y^2] - \frac{E[u_y u_\theta]^2}{E[u_\theta^2]} \quad (10)$$

نقطه  $p^*$  با مشخصات فوق را به عنوان "مرکز تجربی تعادل" یا  $ECB$  شناخته می شود. حال اگر مقدار مربع پاسخ تغییر مکان جانبی را در نقطه با فاصله  $d$  از مرکز تجربی تعادل بدست آوریم، داریم:

$$E[u_y^{(d)}(t, e_d^*)^2] = E[u_y^{*2}] + 2(\pm d)E[u_y^* u_\theta^*] + d^2 E[u_\theta^{*2}] \quad (11)$$

$$E(u_y^* u_\theta^*) = 0 \Rightarrow E[u_y^{(d)}(t, e_d^*)^2] = E[u_y^{*2}] + d^2 E[u_\theta^{*2}] \quad (12)$$

رابطه فوق نشان میدهد که تابع "مربع پاسخ مورد انتظار جانبی" به صورت یک سهمی می باشد که مقدار آن در  $ECB$  مینیمم است. بنابراین اگر  $ECB$  در نقطه میانی دیافراگم (مرکز هندسی سطح در حالت دیافراگم مستطیلی) قرار گیرد، برای المانهای مقاوم با فاصله یکسان مقدار مربع پاسخ جانبی، یکسان می گردد. هر چند که مورد فوق به معنی چرخش مینیمم سازه نامتقارن نیست ولی به دلیل وجود حداکثر تغییر مکان مورد انتظار یکسان در دو لبه، حالت بهینه ای را از عملکرد المان های مقاوم نشان می دهد.

از آنجا که تئوری تعادل پیچشی بر اساس پاسخ سازه تحت زمین لرزه استوار است و در تعیین روابط تئوریک آن اثرات مواد و رفتار سازه دخیل نمی باشد، قابل استفاده برای حالات مختلف رفتار الاستیک و غیر الاستیک می باشد. در صورت توزیع مناسب میراگر ها در پلان سازه به گونه ای که خروج از مرکزیت میرایی در فاصله ی  $e_d^*$  از مرکز جرم قرار گیرد امکان انتقال مرکز تعادل به مرکز هندسی پلان سازه و در نتیجه رسیدن به حالت بهینه (حالت تعادل ضعیف) وجود دارد. با توجه به فرایند تصادفی زلزله، بررسی موارد فوق در حوزه فرکانس از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل در ادامه به توضیح مختصر مفهوم تحلیل حوزه فرکانس پرداخته شده و با استفاده از این تحلیل، پاسخ لرزه ای سازه ی یک طبقه نامتقارن کنترل شده است.

### ۳- تحلیل حوزه ی فرکانس

در طراحی لرزه ای سازه ها، تجزیه و تحلیل محتوای فرکانسی امواج ارتعاشی زمین از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور مطالعه ی محتوای فرکانسی، آنالیز طیفی با استفاده از تبدیل فوریه یکی از ابزار های کار آمد در مهندسی زلزله به شمار می رود. طیف فوریه اهمیت فرکانس های موجود را بدون اطلاعاتی در زمینه ی زمان وقوع این فرکانس ها نشان می دهد. از طرفی طیف فوریه میزان انرژی امواج ناشی از ارتعاشات زمین را در فرکانس های مختلف بیان می کند. در ادامه توضیحی در مورد تبدیل فوریه و کاربرد آن در مهندسی زلزله بیان می شود.

#### ۳-۱- تبدیل فوریه [۹]

ایده نمایش یک تابع بر حسب مجموعه ای از توابع، اولین بار توسط ژوزف فوریه، ریاضیدان و فیزیکدان بین سال های ۱۸۰۶-۱۸۰۲ برای نمایش توابع به کار گرفته شد. فوریه نشان داد که یک تابع  $f(x)$  را می توان به صورت حاصل جمع بینهایت تابع سینوسی و کسینوسی به شکل  $\sin(ax)$  و  $\cos(ax)$  نمایش داد. همواره در مهندسی زلزله، اهمیت این تکنیک مطرح بوده است. به همین دلیل در ادامه به صورت خلاصه کاربرد مهم طیف فوریه بیان خواهد شد.

یک روش مناسب برای مشخص کردن محتوای فرکانسی یک تکانه ی ثبت شده ی زمین، بیان محدوده فرکانسی ارتعاش با استفاده از طیف فوریه می باشد. این طیف، ویژگی های فرکانسی مهمی را از تکانه های ثبت شده زمین نشان می دهد. طیف فوریه شتاب زمین،  $a_g(t)$ ، به صورت رابطه زیر بیان می شود.

$$F(\omega) = \int_0^{T_0} a_g(t) e^{-i\omega t} dt \quad (13)$$

که  $F(\omega)$  تبدیل فوریه شتاب زمین،  $\omega$  فرکانس زاویه ای بر حسب رادیان،  $T_0$  مدت زمان و  $i = (-1)^{\frac{1}{2}}$  می باشد. از طرفی می توان طبق رابطه ی زیر شتاب زمین را با توجه به تبدیل فوریه آن بدست آورد.

$$a_g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (14)$$

در صورتی که رابطه بالا را به صورت گسسته بنویسیم، رابطه ی زیر حاصل می شود.

$$a(t_k) = \sum_{n=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}} F(\omega_n) \cdot \exp(i\omega_n t_k) \quad (15)$$

در رابطه ی فوق،  $a(t_k)$  مقدار تاریخچه زمانی شتاب در زمان  $t_k$  می باشد.  $F(\omega_n)$  تبدیل فوری گسسته در فرکانس  $\omega_n$  و مرتبه تبدیل فوری گسسته می باشد. رابطه ی ۱۳ را می توان به صورت رابطه ی زیر بیان کرد.

$$F(\omega) = \int_0^{T_0} a_g(t) \cos \omega t dt - i \int_0^{T_0} a_g(t) \sin \omega t dt \quad (16)$$

$$C(\omega) = \int_0^{T_0} a_g(t) \cos \omega t dt \quad (17)$$

$$S(\omega) = \int_0^{T_0} a_g(t) \sin \omega t dt \quad (18)$$

رابطه ی ۱۶ عددی مختلط می باشد. معمولاً در کاربرد های مهندسی، طیف فوری به توسط بعد (مدول) و زاویه فاز آن مطالعه می شود.  $FAS(\omega)$  طیف بعد فوری و  $\varphi(\omega)$  طیف فاز فوری می باشد که به صورت زیر بیان می شوند.

$$FAS(\omega) = \sqrt{C^2(\omega) + S^2(\omega)} \quad (19)$$

$$\varphi(\omega) = -\tan^{-1}[S(\omega)/C(\omega)] \quad (20)$$

از جمله توابع وابسته به طیف فوری که در تکنیک های آنالیز طیفی بررسی می گردند، تابع چگالی طیفی توان (PSD) می باشد. تابع چگالی طیفی توان به صورت زیر تعریف می شود.

$$PSD = \frac{FAS^2}{T_0} \quad (21)$$

## ۳-۲- تعیین پاسخ سیستم های تک درجه آزادی در حوزه فرکانس

فرض می شود که ورودی سیستم به صورت یک نیروی هارمونیک پایدار با فرکانس زاویه ای  $\omega$  باشد، در این صورت می توان این نیرو را به صورت زیر بیان نمود.

$$x(t) = x_0 e^{i\omega t} \quad (22)$$

که در آن  $x_0$  مقداری ثابت می باشد. از طرفی مطابق تئوری اعدادمختلط می دانیم که:

$$e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t \quad (23)$$

$$x(t) = x_0 \cos \omega t + x_0 i \sin \omega t \quad (24)$$

همانطور که از دینامیک سازه می دانیم، معادلات حرکت یک سیستم یک درجه آزادی که تحت اثر یک نیروی هارمونیک می باشد به صورت زیر می باشد.

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = x_0 e^{i\omega t} \quad (25)$$

که در آن  $y$  تغییر مکان سازه،  $m$ ،  $c$  و  $k$  به ترتیب جرم، میرایی و سختی سازه یک درجه آزادی می باشد. می دانیم که اگر بخش گذرای اولیه پاسخ سیستم، فرصت کافی برای میرا شدن داشته باشد، در آن صورت بخش پایدار پاسخ سیستم خود هارمونیک با همان فرکانس ورودی خواهد بود. فرض می شود که بتوان پاسخ را به صورت زیر بیان نمود.

$$y(t) = H(\omega) x_0 e^{i\omega t} \quad (26)$$

که در آن  $H(\omega)$  تابع پاسخ مختلط فرکانس سیستم نامیده می شود. با جایگذاری رابطه ی ۲۶ در رابطه ۲۵ داریم.

$$\{m(i\omega)^2 + c(i\omega) + k\}H(\omega) = 1 \quad (27)$$

و بنابراین

$$H(\omega) = \frac{1}{m(i\omega)^2 + c(i\omega) + k} \quad (28)$$

اگر فرکانس طبیعی سیستم  $\omega_n$  و نسبت میرایی  $\xi$  به صورت زیر تعریف شود.

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (29)$$

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_n} \quad (30)$$

آنگاه می توان  $H(\omega)$  را به صورت زیر بیان نمود.

$$H(\omega) = \frac{1}{m[(i\omega)^2 + 2\xi\omega_n(i\omega) + \omega_n^2]} \quad (31)$$

حال میتوان پاسخ سیستم یک درجه آزادی را تحت تاثیر یک بار  $x(t)$  تعیین کرد. طبق تئوری تبدیل فوریه میدانیم که  $x(t)$  را میتوان بر حسب تبدیل فوریه آن  $X(\omega)$  همانند زیر بیان نمود.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (32)$$

بنابراین با توجه به جمع اثرقوا و رابطه ی ۳۲ می توان  $x(t)$  را ترکیبی از مولفه های آن با فرکانس های مختلف  $\omega$  دانست، می توان نوشت.

$$dx(t) = X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (33)$$

دیده شد که اگر سیستم تحت بار واحد هارمونیک واحد قرار بگیرد پاسخ آن برابر است با :

$$y(t) = H(\omega)x(t) = H(\omega)e^{i\omega t} \quad (34)$$

لذا اگر همین سیستم تحت اثر  $dx(t)$  در رابطه ۳۳ قرار بگیرد، پاسخ آن برابری باشد با:

$$dy(t) = H(\omega)dx(t) = H(\omega).X(\omega)e^{i\omega t}d\omega \quad (35)$$

و بنابراین، با توجه به برقراری اصل اجتماع اثر قوا برای این سیستم خطی داریم:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega)X(\omega)e^{i\omega t}d\omega \quad (36)$$

همچنین میدانیم که  $y(t)$  را می توان با استفاده از تبدیل فوریه معکوس آن به شکل زیر تعیین نمود.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Y(\omega)e^{i\omega t}d\omega \quad (37)$$

لذا با مقایسه روابط ۳۶ و ۳۷ رابطه ی انتقال در حوزه ی فرکانس به صورت زیر بدست می آید.

$$Y(\omega) = H(\omega)X(\omega) \quad (38)$$



بنابراین در حوزه ی فرکانس، برای تعیین پاسخ یک سیستم خطی تک درجه آزادی که تحت تاثیر یک بار خارجی  $x(t)$  قرار گرفته است، پس از تعیین  $H(\omega)$  و تبدیل فوریه  $x(t)$  یعنی  $X(\omega)$  می توان با استفاده از رابطه ی ۳۸ تبدیل فوریه پاسخ سیستم یعنی  $Y(\omega)$  را تعیین نموده و سپس با تبدیل فوریه معکوس آن  $y(t)$  را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Y(\omega) e^{i\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \right\} e^{i\omega t} d\omega \quad (39)$$

### ۳-۳- تحلیل در حوزه فرکانس سیستم های چند درجه آزادی فاقد خاصیت تعامد مود ها

معادله حرکت سیستم های چند درجه آزادی (MDOF) به صورت زیر می باشد.

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + [K]\{y(t)\} = \{x(t)\} \quad (40)$$

که در آن  $M$ ،  $C$  و  $K$  به ترتیب ماتریس های جرم، میرایی و سختی سازه می باشد. با استفاده از روش آنالیز مودال استاندارد، معادله بالا قابل حل نمی باشد، زیرا در این حالت مودهای نرمال سیستم به دلیل عدم تعامد نسبت به ماتریس میرایی  $[C]$  به هم وابسته (کوپله) می باشند، لذا تبدیل دستگاه معادلات ۴۰ به  $n$  معادله ی وابسته (معادله مودال) امکان پذیر نمی باشد. به همین دلیل از روش زیر استفاده می شود که به طور مستقیم و بدون استفاده از خاصیت تعامد مدها این دستگاه معادلات را حل می نماید. برای به دست آوردن این روش، ابتدا باید دستگاه معادلات ۴۰ را در حوزه ی فرکانس نوشت. برای این منظور ابتدا تبدیل فوریه سرعت حرکت  $\dot{y}(t)$  سیستم یعنی  $\dot{Y}(\omega)$  را به صورت زیر به دست می آوریم.

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) e^{-i\omega t} dt = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{y(t)}{-i\omega} e^{-i\omega t} \Big|_{-\infty}^{+\infty} + \frac{1}{i\omega} \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{y}(t) e^{-i\omega t} dt \right] \\ &= 0 + \frac{1}{i\omega} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{y}(t) e^{-i\omega t} dt = \left( \frac{1}{i\omega} \right) \dot{Y}(\omega) \end{aligned} \quad (41)$$

در نتیجه داریم:

$$\dot{Y}(\omega) = (i\omega)Y(\omega) \quad (42)$$

$$\ddot{Y}(\omega) = (i\omega)\dot{Y}(\omega) = (i\omega)^2 Y(\omega) = -\omega^2 Y(\omega) \quad (43)$$

حال با گرفتن تبدیل فوریه از طرفین معادله ۴۰ داریم:

$$(-\omega^2[M] + (i\omega)[C] + [K])\{Y(\omega)\} = \{X(\omega)\} \quad (44)$$

$$[I(\omega)] = -\omega^2[M] + (i\omega)[C] + [K] \quad (45)$$

$$[I(\omega)]\{Y(\omega)\} = \{X(\omega)\} \quad (46)$$

$$\{Y(\omega)\} = [I(\omega)]^{-1}\{X(\omega)\} \quad (47)$$

$$\{Y^*(\omega)\}^T = \{X^*(\omega)\}^T ([I^*(\omega)]^{-1})^T \quad (48)$$

از ضرب طرفین روابط ۴۷ و ۴۸ در یکدیگر داریم :

$$\{Y(\omega)\}\{Y^*(\omega)\}^T = [I(\omega)]^{-1}\{X(\omega)\}\{X^*(\omega)\}^T ([I^*(\omega)]^{-1})^T \quad (49)$$

از آنجا که ماتریس چگالی طیفی توان بردار پاسخ  $\{y(t)\}$  سیستم به صورت زیر بدست می آید:

$$[S_{yy}(\omega)] = [I(\omega)]^{-1} [S_{xx}(\omega)] ([I^*(\omega)]^{-1})^T \quad (50)$$

می توان نشان داد که:

$$[I(\omega)]^{-1} = [H(\omega)] \quad (51)$$

$$[I^*(\omega)]^{-1} = [H^*(\omega)] \quad (52)$$

در نهایت ماتریس چگالی طیفی توان پاسخ سیستم از رابطه ی زیر محاسبه می شود.

$$[S_{yy}(\omega)] = [H(\omega)][S_{xx}(\omega)][H^*(\omega)]^T \quad (53)$$

که در آن  $[S_{xx}(\omega)]$  ماتریس چگالی طیفی توان بردار بارهای وارده بر سیستم  $\{x(t)\}$  و  $[S_{yy}(\omega)]$  ماتریس چگالی طیفی توان بردار خروجی سیستم  $\{y(t)\}$  می باشند. با داشتن ماتریس چگالی طیفی توان پاسخ سیستم، واریانس پاسخ  $y_i(t)$  طبق رابطه ی زیر بدست می آید..

$$\sigma_{yi}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} S_{yiyi}(\omega) d\omega \quad (54)$$

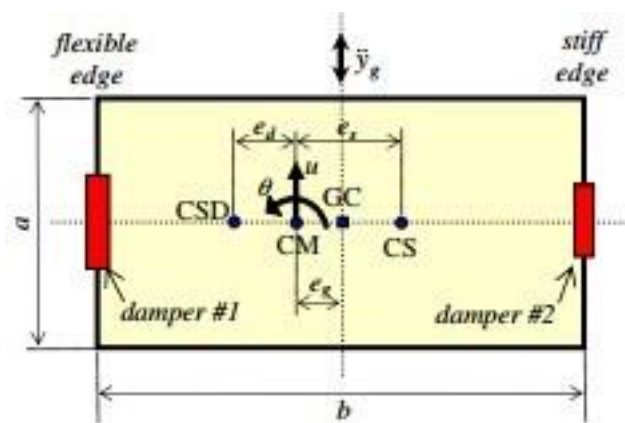
#### ۴- مدلسازی

دستیابی به شرایط تعادل پیچشی ضعیف در طراحی ساختمان ها با بکارگیری میراگر های ویسکوز خطی و غیر خطی امکان پذیر می باشد. به منظور ساده سازی یک سیستم دو درجه آزادی با میراگر های ویسکوز در این مقاله مد نظر قرار گرفته است. شکل ۲ یک نمای شماتیک از مدل را نشان می دهد، که دارای پلان مسطییلی شکل به ابعاد  $a$  و  $b$  ( $b > a$ ) می باشد. مرکز هندسی (GC) در مرکز مختصات بر روی مرکز جرم (CM) واقع شده است. میراگر ها در دو لبه سخت و نرم سازه قرار داده شده اند. مرکز میرایی الحاقی میراگر های ویسکوز (CSD) با توجه به میانگین وزنی ظرفیت میراگر های ویسکوز دو لبه سازه تعریف شده است که دارای فاصله ی  $e_d$  از مرکز جرم می باشد.

معادلات حرکت سازه که در معرض تحریک زمین یک جهته قرار می گیرد به صورت زیر می باشد.

$$M\ddot{\mathbf{q}} + (\mathbf{C} + \bar{\mathbf{C}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = -\mathbf{M}\mathbf{R}\ddot{y}_g(t) \quad (55)$$

$$\mathbf{M} = m \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & r^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K} = k_s \begin{bmatrix} 1 & e_s \\ e_s & r_s^2 + e_s^2 \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{C}} = c_d \begin{bmatrix} 1 & e_d \\ e_d & r_d^2 + e_d^2 \end{bmatrix} \quad (56)$$



شکل ۲: نمای پلان یک سازه ی نامتقارن با توزیع میراگر ها در دو لبه سازه

که  $\mathbf{q} = [u(t) \quad \theta(t)]^T$  بردار درجه آزادی سازه،  $u(t)$  تغییر مکان جانبی مرکز جرم در جهت  $Y$  و  $\theta(t)$  دوران پلان سازه حول محور قائم می باشد.  $\ddot{y}_g(t)$  شتاب زمین در جهت  $Y$  و  $\mathbf{R} = [1 \ 0]^T$  بردار تاثیر درجه آزادی  $\mathbf{q}$  می باشد.  $\mathbf{M}$  ماتریس جرم سازه که در آن  $m$  جرم لرزه ای انتقالی سازه و  $r = \sqrt{(a^2 + b^2)/12}$  شعاع ژیراسیون جرمی نسبت به مرکز جرم می

باشد.  $\mathbf{K}$  ماتریس سختی سازه، که در آن  $k_s = \omega_s^2 m$  سختی جانبی،  $\omega_s$  فرکانس جانبی غیر هم بسته و  $e_s$  خروج از مرکزیت استاتیکی که به عنوان فاصله ی بین مرکز سختی (CS) و مرکز جرم (CM) تعریف می شود.  $r_s = \Omega_s r$  شعاع ژیراسیون سختی حول مرکز سختی می باشد که در آن  $\Omega_s = \omega_\theta / \omega_s$  نسبت فرکانس پیچشی به جانبی غیر هم بسته سازه می باشد.  $\mathbf{C}$  ماتریس میرایی کلاسیک سازه ( بدون میراگر) می باشد که در این مطالعه میرایی مودال  $\xi_s = 0.05$  برای هر دو مود ارتعاشی در نظر گرفته شده است. هم چنین در ماتریس میرایی الحاقی  $\bar{\mathbf{C}}$ ،  $c_d$  کل ظرفیت میراگر های الحاقی و  $e_d$  خروج از مرکزیت میرایی می باشد. شعاع ژیراسیون میرایی  $r_d$  با توجه به این که میراگرها در دو لبه سازه قرار گرفته اند ماکزیمم مقدار ممکن و برابر با  $b/2$  می باشد. به دلیل سادگی در محاسبات، یک شتاب نگاشت مصنوعی منطبق بر طیف آیین نامه اروپا (EC8) و تیپ خاک B با استفاده از نرم افزار SeismoArtif تولید شده و تابع چگالی طیفی توان آن محاسبه شده و در محاسبات وارد شده است.

## ۵- روشی جهت ایجاد تعادل پیچشی

با توجه به مفهوم تعادل پیچشی، یک روش جهت توزیع میراگر های ویسکوز به طوری که از لحاظ آماری سازه نا متقارن در پیچش تعادل داشته باشد و ضریب هم بستگی پیچشی-جانبی سازه صفر گردد ارائه شده است. بردار  $\mathbf{q} = [u(t) \ \theta(t)]$  که بیان گر پاسخ درجات آزادی در مرکز جرم سازه می باشد مدنظر است. ماتریس کوواریانس پاسخ از رابطه ی زیر حاصل می شود.

$$\mathbf{V}_q = E[\mathbf{q}(t)\mathbf{q}^t(t)] \quad (57)$$

$$= \begin{bmatrix} E[u(t)^2] & E[u(t)\theta(t)] \\ E[u(t)\theta(t)] & E[\theta(t)^2] \end{bmatrix} \quad (58)$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma^2[u(t)] & \rho_{u\theta}\sigma[u(t)]\sigma[\theta(t)] \\ \rho_{u\theta}\sigma[u(t)]\sigma[\theta(t)] & \sigma^2[\theta(t)] \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{H}_q(j\omega) S_g(\omega) \mathbf{H}_q^*(j\omega) d\omega \quad (60)$$

که در آن  $\mathbf{H}_q$  تابع پاسخ فرکانسی بین درجه آزادی  $\mathbf{q}$  و تحریک  $\ddot{y}_g(t)$  می باشد و از رابطه ی زیر حاصل می شود.

$$\mathbf{H}_q(j\omega) = [(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) + j\omega(\mathbf{C} + \bar{\mathbf{C}})]^{-1} \mathbf{M} \mathbf{R} \quad (61)$$

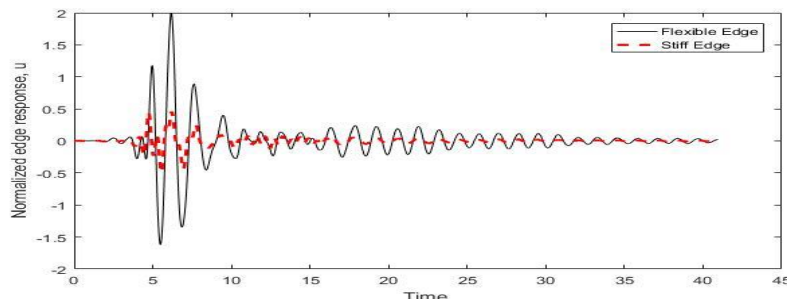
همچنین  $S_g(\omega)$  تابع چگالی طیفی توان حرکت زمین و  $\mathbf{H}_q^*$  بیانگر ماتریس ترانهاده مزدوج تابع پاسخ فرکانسی می باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا، اگر ضریب همبستگی خطی بین تغییر مکان در مرکز هندسی و چرخش پلان صفر شود، دیدگاه تعادل پیچشی حاصل می شود. بنابراین زمانی که ماتریس کوواریانس (معادله ۶۰) قطری شود شرایط تعادل پیچشی حاصل شده و به دلیل اینکه مرکز میرایی میراگر های الحاقی نمی تواند خارج از پلان سازه واقع شود، انتخاب مناسب ظرفیت و محل قرار گیری میراگرها می تواند باعث کاهش ضریب همبستگی و رسیدن به دیدگاه تعادل پیچشی شود.

$$e_d^{(*)} = \arg \min_{e_d \in [-\frac{b}{2}, \frac{b}{2}]} (\|\rho_{u\theta}(\mathbf{P}_s, S_g(\omega), c_d, r_d, e_d)\|) \quad (62)$$

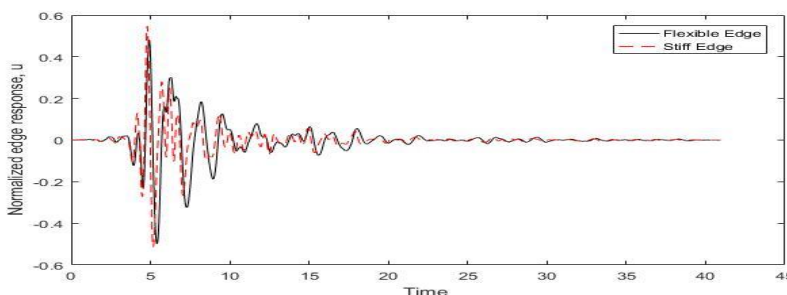
که در آن  $\mathbf{P}_s = [\omega_s, \xi_s, e_s, \Omega_s, \frac{b}{a}]$  بردار پارامتر های سازه اصلی و  $e_d^{(*)}$  خروج از مرکزیت بهینه ی میراگر های الحاقی نسبت به مرکز جرم می باشد. با توجه به موارد بیان شده، معادلات سازه در نرم افزار متلب پیاده سازی شده و معادله ی (۶۲) با استفاده از ابزار بهینه سازی fmincon در نرم افزار متلب کدنویسی شده است.

## ۶- نتایج تحلیل

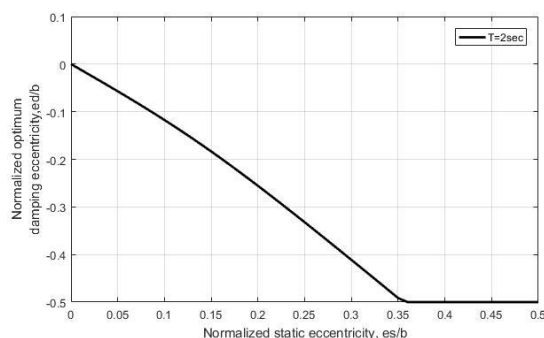
نمودار شکل ۳-الف تغییر مکان نرمال شده دو لبه یک سازه با زمان تناوب ۱ ثانیه، فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۳۵، بدون در نظر گرفتن میرایی الحاقی و برای خروج از مرکزیت سختی نرمال شده ۰/۳ رسم شده است.



شکل ۳-الف: تغییر مکان دو لبه سازه با زمان تناوب ۱ ثانیه و خروج از مرکزیت سختی ۰/۳ و بدون میرایی الحاقی مشاهده شده است که دو لبه سازه دارای تغییر مکان های غیر یکسان می باشد. در شکل ۳-ب تغییر مکان نرمال شده دو لبه سازه با میرایی ۲۰٪ و خروج از مرکزی میرایی بهینه نرمال شده ۰/۵- با استفاده از الگوریتم ارائه شده در معادله (۶۲) رسم شده است. نتایج نشان دهنده این هستند که نه تنها پاسخ کلی سازه با وجود میراگر کمتر شده بلکه تغییر مکان دو لبه سازه نزدیک به هم شده است.

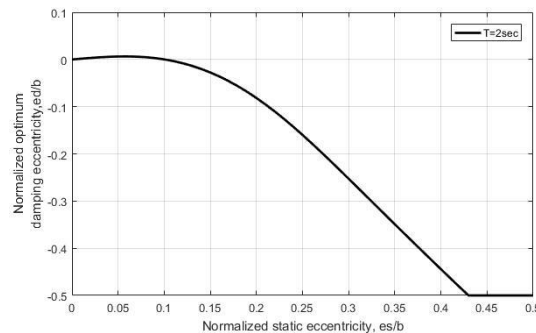


شکل ۳-ب: تغییر مکان دو لبه سازه با زمان تناوب ۱ ثانیه و بادر نظر گرفتن میرایی الحاقی بهینه ۲۰٪ در نمودار شکل ۴ خروج از مرکزیت بهینه میرایی نسبت به خروج از مرکزیت سختی در سازه ای با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۳۵ (سازه ی سخت پیچشی) و میرایی ۲۰٪ با استفاده از الگوریتم معادله (۶۲) ارائه شده است.



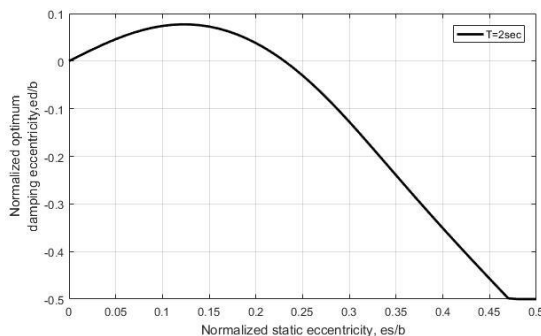
شکل ۴- خروج از مرکزیت میرایی بهینه بر حسب خروج از مرکزیت سختی نرمال شده سازه، با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۳۵ و میرایی ۲۰٪

نتایج نشان می‌دهد که برای دستیابی به میانگین مربع پاسخ یکسان در دو لبه سازه، مرکز میرایی در نقطه مقابل مرکز سختی نسبت به مرکز سطح سازه می‌باشد. همچنین برای نامتقارنی زیاد (خروج از مرکزیت سختی نرمال شده بزرگتر از ۰/۳۵) میرایی ۲۰٪ قادر به دستیابی به تعادل پیچشی نمی‌باشد. نمودار شکل ۵ نشان دهنده ی خروج از مرکزیت بهینه میرایی نسبت به خروج از مرکزیت سختی نرمال شده، در سازه ای با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۰ (سازه ی متعادل پیچشی) و میرایی ۲۰٪ می‌باشد.



شکل ۵- خروج از مرکزیت میرایی بهینه بر حسب خروج از مرکزیت سختی نرمال شده سازه، با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۰ و میرایی ۲۰٪

نتایج نشان دهنده این است که برای سازه هایی با خروج از مرکزیت سختی نرمال شده کمتر از ۰/۱، مقدار خروج از مرکزیت میرایی تقریباً برابر صفر می‌باشد. در خروج از مرکزیت سختی نرمال شده بزرگتر از ۰/۱ مشاهده شده است که مقدار خروج از مرکزیت بهینه میرایی در نقطه ی مقابل خروج از مرکزیت سختی نسبت به مرکز هندسی سازه می‌باشد. نمودار شکل ۶ نشان دهنده ی خروج از مرکزیت بهینه میرایی نسبت به خروج از مرکزیت سختی نرمال شده در سازه ای با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۰/۷۵ (سازه ی نرم پیچشی) و میرایی ۲۰٪ می‌باشد.

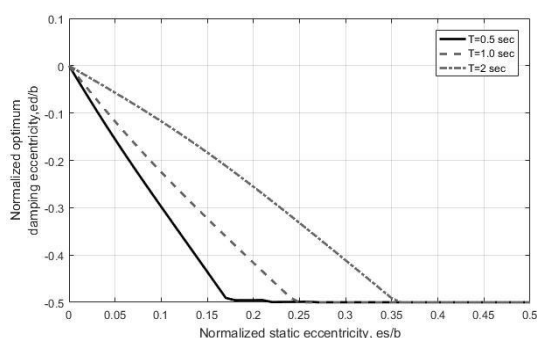


شکل ۶- خروج از مرکزیت بهینه میرایی بر حسب خروج از مرکزیت سختی سازه با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۰/۷۵ و میرایی ۲۰٪

نتایج نشان می‌دهد که در سازه های نرم پیچشی برای خروج از مرکزیت های سختی نرمالیزه شده کمتر از ۰/۲۵، خروج از مرکزیت بهینه میرایی در جهت و هم علامت با خروج از مرکزیت سختی می‌باشد. هم چنین برای خروج از مرکزیت های سختی نرمال شده بزرگتر از ۰/۲۵ خروج از مرکزیت میرایی در خلاف جهت با مرکز سختی می‌باشد. در نمودار شکل ۷ نسبت خروج از مرکزیت های میرایی به خروج از مرکزیت سختی نرمال شده در سه سازه با زمان تناوب ۰/۵، ۱ و ۲ ثانیه با نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۳۵ و میرایی ۲۰٪ رسم شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش زمان تناوب و کاهش سختی سازه به خروج از مرکزیت میرایی کمتری برای نزدیک کردن پاسخ دو لبه سازه نیازمندیم. هم

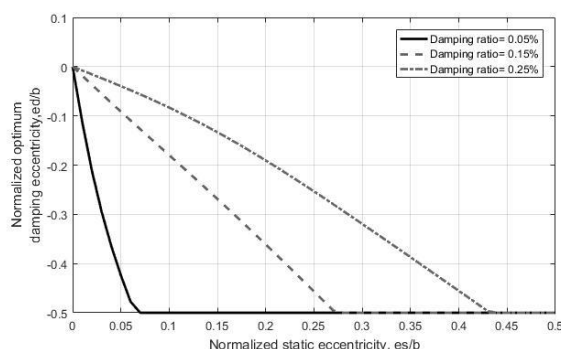


چنین مشاهده شده است که برای خروج از مرکزیت های سختی زیاد، میرایی ۲۰٪ قادر به دستیابی به شرایط تعادل پیچشی نمی باشد.



شکل ۷: نمودار خروج از مرکزیت میرایی بهینه بر حسب خروج از مرکزیت سختی برای سه سازه با زمان تناوب ۰/۵، ۱ و ۲ ثانیه

نمودار شکل ۸ نشان دهنده ی خروج از مرکزیت های بهینه میرایی به نسبت خروج از مرکزیت های سختی نرمالیزه شده، در یک سازه با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس جانبی به پیچشی ۱/۳۵ و سه درصد میرایی الحاقی ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد می باشد.



شکل ۸- خروج از مرکزیت میرایی بهینه بر حسب خروج از مرکزیت سختی سازه با زمان تناوب ۲ ثانیه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی ۱/۳۵ و میرایی الحاقی ۵، ۱۵، ۲۵٪

نتایج نشان می دهند که هر چه مقدار میرایی الحاقی سازه بیشتر باشد به خروج از مرکزیت میرایی کمتری برای دست یابی به مقدار میانگین مربع پاسخ یکسان در دو لبه سازه و در نتیجه ایجاد شرایط تعادل پیچشی احتیاج می باشد. همچنین با افزایش درصد میرایی، امکان دستیابی به شرایط تعادل پیچشی در سازه هایی با خروج از مرکزیت های سختی بزرگتر مهیا می شود.

## ۷- نتیجه گیری

در این تحقیق یک سازه ی نا متقارن تک طبقه ساده شده با نا متقارنی سختی، مدلسازی شده است و میراگر ها در پلان سازه با استفاده از تئوری تعادل پیچشی، به منظور کنترل پاسخ پیچشی سازه ها، توزیع شده اند. نتایج زیر حاصل شده است:

۱- با توزیع مناسبی از میراگر ها در پلان سازه، نه تنها پاسخ لرزه ای سازه کاهش می یابد بلکه تغییر مکان دو لبه سخت و نرم سازه به هم نزدیک می شود.

- ۲- با افزایش زمان تناوب سازه ، در یک درصد میرایی ثابت ، به خروج از مرکزیت میرایی کمتری جهت دستیابی به صفر شدن ضریب همبستگی تغییر مکان جانبی و دورانی و در نتیجه ، دست یابی به شرایط تعادل پیچشی احتیاج می باشد .
- ۳- با افزایش نامتقارنی سازه در نتیجه ی افزایش خروج از مرکزیت سختی ، به مقدار میرایی الحاقی و یا خروج از مرکزیت میرایی بیشتری جهت دستیابی به شرایط تعادل پیچشی احتیاج می باشد .
- ۴- در سازه های سخت پیچشی ، جهت کنترل پاسخ پیچشی سازه ها ، خروج از مرکزیت میرایی باید در جهت مخالف (مخالف علامت با ) خروج از مرکزیت سختی نسبت به مرکز سطح سازه قرار داشته باشد، که این نتیجه با نتیجه مطالعات Goel مطابقت دارد. هم چنین در سازه های نرم پیچشی مشاهده می شود که برای خروج از مرکزیت های سختی کوچک ، مرکز میرایی باید در جهت مرکز سختی و برای خروج از مرکزیت های بزرگتر سختی ، مرکز میرایی باید در خلاف جهت مرکز سختی ، نسبت به مرکز سطح سازه باشد .
- ۵- با افزایش درصد میرایی الحاقی در سازه مشاهده می شود که به خروج از مرکزیت میرایی کمتری جهت کنترل پاسخ پیچشی سازه ها و دستیابی به شرایط تعادل پیچشی احتیاج می باشد . هم چنین مشاهده شد که با افزایش درصد میرایی می توان رفتار پیچشی سازه هایی با نامتقارنی بیشتر ( خروج از مرکزیت سختی بیشتر ) را ، کنترل کرد و به شرایط تعادل پیچشی رساند .

### مراجع

- [1] Goel, R. K. (1998). "Effects of supplemental viscous damping on seismic response of asymmetric-plan systems." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 27, No. 2, PP. 125-141.
- [2] Goel, R. K. (2000). "Passive control of earthquake-induced vibration in asymmetric buildings." *Proceeding of 12th world conference on earthquake engineering* .
- [3] De La Llera, J. C., Almazan, J. L., Vial, I. J., Ceballos, V. and Garcia, M. (2004). "Analytical and experimental response of asymmetric structures with friction and viscoelastic dampers." *Proceeding of 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, paper No. 531.
- [4] De La Llera, J. C., Almazan, J. L. and Vial, I. J. (2005). "Torsional balance of plan- asymmetric structures with frictional dampers: Analytical results." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 34, No. 9, PP. 1089-1108.
- [5] Mansoori, M.R., Moghadam A.S. (2009). "Using viscous damper distribution to reduce multiple seismic response of asymmetric structures." *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 65, No. 12, PP. 2176-2185.
- [6] Almazán JL, De la Llera JC. Torsional balance as new design criterion for asymmetric structures with energy dissipation devices. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 38:1421-1440, 2009.
- [7] Aguirre JJ, Almazán JL and Paul CJ. Optimal control of linear and nonlinear asymmetric structures by means of passive energy dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 42: 377-395, 2013.
- [8] Rofooei Fr, Mohammadzadeh S, Improving the seismic torsional behavior of planasymmetric, single-storey, concrete moment resisting buildings with fluid viscous dampers. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*; 15: 61- 78, 2016.

[۹] گرامی، م، مهدی زاده، ک، کاربرد آنالیز فوریه در مهندسی زلزله، کنفرانس عمران و مقاوم سازی، ۱۳۹۰

## بررسی نقش بافرزون در حفاظت از تالاب استیل آستارا

لیلا اوشک سرائی<sup>۱\*</sup>، محدثه آخسته<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان،

ایران

*l.ooshaksaraie@liau.ac.ir \**

### چکیده

تالاب استیل آستارا از جمله تالاب‌های حائز اهمیت برای پرندگان مهاجر می‌باشد. تحقیق حاضر، با هدف بررسی نقش بافرزون در حفظ تالاب استیل انجام شد. به منظور تشخیص کاربری‌های اطراف تالاب از تکنیک سنجش از دور (RS)، استفاده گردید که در آن، با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده، کاربری‌های اطراف تالاب به پنج دسته مسکونی، کشاورزی، صنعتی، بایر و جنگلی تقسیم شد. در مرحله ی بعد به منظور ایجاد حریم حفاظتی دور تا دور تالاب، از نرم افزار ArcGIS<sup>10</sup> استفاده شد که با توجه به قوانین مربوط به حریم‌های حفاظتی اطراف تالاب در ایران، حریم کمی ۲۰ متر، حریم کیفی ۱۵۰ متر، حریم اکولوژیکی ۵۰۰ متر و حریم صنعتی ۱۰۰۰ متر در حاشیه تالاب پیشنهاد گردید. حریم های کمی، کیفی، اکولوژیکی و صنعتی به ترتیب به میزان ۶۸/۶۶٪، ۴۷/۳٪ و ۵۳/۰۵٪، از زمین‌های متعلق به کاربری‌های انسان ساخت زیر محدوده‌ی بافر را حذف می نماید. این دامنه حریم می تواند فشار حاصل از کلیه ی کاربری‌های انسان ساخت حاشیه تالاب را خنثی نماید و حفاظت از تالاب را بر عهده گیرد. همچنین، به منظور حفاظت از منابع آب تالاب، حوضه هیدرولوژیکی مرتبط با حوضه آبریز منطقه بررسی شد و وسعت حوضه آبریز آن مشخص گردید.

**واژگان کلیدی:** تالاب استیل، بافرزون، RS، ArcGIS، حفاظت تالاب.

### ۱. مقدمه

تالاب‌ها یکی از مهمترین زیستگاه‌های طبیعی در جهان می‌باشند که ترکیب اکوسیستم های خشکی و دریایی موجب پدیدار شدن این زیستگاه‌ها می‌گردد (طاهری آزاد و شهسواری پور، ۱۳۸۵). تالاب‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصربفرد می‌توانند مزایایی مانند حفاظت از تنوع زیستی، کاهش آلودگی هوا، به دام انداختن رسوبات و مواد مغذی، کاهش سیل، بازیافت آب، ثبات آب و هوا را تأمین نمایند (مؤمن پور، ۱۳۸۹).

در اوایل دهه هفتاد میلادی و تنظیم سند بین المللی کنوانسیون رامسر، دیدگاه و سیاست‌های جدیدی در حفظ و حراست از تالاب‌ها به وجود آمد. هر گونه تغییر در حریم تالاب‌ها و اکوسیستم آن‌ها تابع مقررات و ضوابط بین المللی گردید (مؤمن پور، ۱۳۸۹).

شدت و ضعف عوامل تهدید و معضلات تالاب‌ها به اهمیت ارزش و نقش آن‌ها در تأمین مایحتاج زندگی مردم منطقه بستگی دارد. هرچقدر نیاز مردم به تالاب و روابط اکولوژیک آن بیشتر باشد به همان اندازه نیز استفاده از منابع بیشتر می‌شود و تالاب بیشتر دچار معضل می‌گردد (بهروزی راد، ۱۳۸۵).

تالاب استیل در استان گیلان، در نزدیکی شهرستان آستارا قرار دارد و یکی از با ارزش‌ترین زیستگاه‌های گیاهی و جانوری ایران محسوب می‌شود. درخت توسکا شاخص‌ترین گونه گیاهی تالاب است. قرارگیری در کنار جاده ترانزیتی-توریستی، اکوسیستم ویژه و قرار گرفتن رشته کوه زیبا و شالیزارها در کنار این تالاب، جلوه زیبا به آن بخشیده بطوریکه امروزه تالاب استیل یکی از مهمترین جاذبه‌های طبیعی و گردشگری شهرستان آستارا است (عاشوری و عبدوس، ۱۳۹۱).

متأسفانه در حال حاضر تالاب استیل با تعداد زیادی از فشارهای انسانی مواجه است که منجر به از دست دادن و تخریب قابل توجهی از اکوسیستم تالابی می‌شود. از جمله عواملی که این زیستگاه و منظر طبیعی را مورد تهدید قرار داده است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: آلودگی بیولوژیک، افزایش جمعیت جوندگان در تالاب که با جویدن ریشه توسکا باعث خشک شدن این درختان شده‌اند، وجود یک معدن سنگ لاشه در مجاورت تالاب که بر اثر فعالیت‌های این معدن و ایجاد آلودگی صوتی و حسی منظر طبیعی و زیست بوم آن را تهدید کرده است، و ریزش آوار که بخشی از این تالاب را خشک کرده است. مجاورت بخشی از شهرستان آستارا، ناحیه عباس آباد، با ضلع شمالی این تالاب و ورود زهکش فاضلاب خانگی به تالاب، از تراکم جمعیت توسکا در این ضلع کاسته شده است. در ضلع جنوبی تالاب، جاده دسترسی روستای در بند باعث گردیده است این تالاب به دو بخش جنوبی و شمالی تقسیم گردد. متأسفانه در سالهای اخیر با تخلیه زباله این روستا به داخل تالاب و همچنین با انسداد شریان‌های زهکش تالاب که از ارتفاعات جنوبی غربی تغذیه می‌گردد از دبی ورودی این تالاب کاسته و میزان ارتفاع سطح آب تالاب کاسته شده است (مؤمن پور، ۱۳۸۹).

برای جلوگیری از عامل تخریب تالاب‌ها نیاز به زون ضربه گیر می‌باشد. این زون شامل محدوده‌ای از خشکی و پوشش گیاهی است که بر آب تالاب و پوشش‌های گیاهی داخل آن اشراف دارد. زون ضربه گیر می‌تواند از تالاب در برابر عوامل منفی ناشی از اراضی حوضه آبریز حفاظت نماید (منصوری، ۱۳۸۶). یکی از رویکردهای نوین مدیریت و طراحی زون ضربه‌گیر تالاب‌ها استفاده از روش GIS و RS می‌باشد. از GIS و RS می‌توان برای بررسی حداکثر روند تغییرات و نظارت بر تالاب استفاده نمود (گرین و همکاران، ۱۹۹۴).

فتحی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به بررسی گسترش روند تخریب از حاشیه به داخل تالاب انزلی بر اساس شاخص‌های اکولوژیک پرداختند. نتایج نشان دهنده تغییر کاربری‌های زمین و توسعه نامتناسب اطراف تالاب بود که برای کاهش سطح تخریب و فشار کاربری‌های انسانی اطراف تالاب پنج سپر در اطراف تالاب ایجاد شد.

جعفری و همکاران (۱۳۸۶) تحقیقی را تحت عنوان محدوده‌یابی سپر حفاظتی با تجزیه و تحلیل مشخصه‌های آلاینده به کمک GIS و RS در تالاب میانکاله انجام دادند که در این پژوهش عرض بافرزون را ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد.

شهریاری و همکاران (۱۳۹۱) مقاله‌ای را با عنوان بررسی تغییرات زمانی وسعت تالاب امیرکلایه با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS منتشر کرده است. یافته‌ها حاکی از کاهش زیاد مساحت تالاب امیر کلایه در بازه‌ی زمانی ۲۸ ساله می‌باشد و در پایان به اهمیت مدیریت و حفاظت از تالاب امیرکلایه اشاره شده است.

شان و همکاران (۲۰۱۴) تحقیقی را با عنوان برآورد عرض بهینه نوار بافر به منظور کنترل آلودگی منبع غیرنقطه‌ای در مخزن سه دره چین انجام دادند. در این تحقیق پهنه‌های آلودگی به خوبی بر روی نقشه‌های GIS نشان داده شد و همچنین محدوده‌ی برد آلاینده‌ها با میزان استانداردهای موجود بررسی و ارائه شد. براساس حذف اثر آلاینده‌ها از ۱۰ تا ۱۰۰ متر حریم در نظر گرفته شد. نتیجه این پژوهش حاکی از این است که میزان تأثیر پارامترهای شیب و خاک در افزایش ابعاد بافر بسیار بالا می‌باشد.

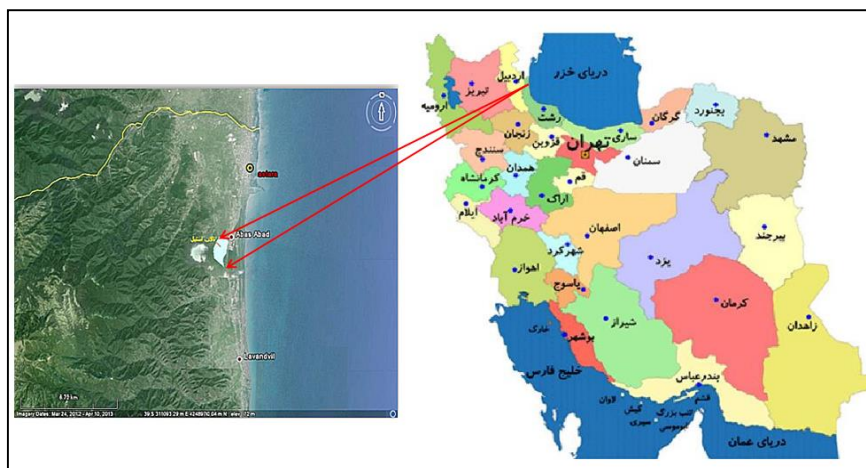
مهرینگ و استل کلیمن (۲۰۱۱) در تحقیقی با عنوان تأثیر منطقه بافر چیست؟ نقش بافرزون ر حفاظت از منطقه ای در اندونزی را بررسی نمودند. به منظور همسان سازی اطلاعات و روی همگذاری آنها از نرم افزار GIS استفاده شد. بر اساس تغییر پوشش‌های گیاهی جنگلی در بازه‌های زمانی مشخص گردید که منطقه به یک زون حفاظتی و ضربه‌گیر برای جلوگیری از جنگل‌زدایی نیاز دارد. میزان بافرزون در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۳، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۷۴، ۶۵، ۵۸، ۶۳ و ۵۳ متر

برآورد شده است. در نتیجه برای کارایی و حفظ سپر و پیشگیری از سطح تخریب هسته ذخیره گاه، مدیریت دولتی و مشارکت مردمی توأماً مؤثر دانسته شده است.

سایبر و همکاران (۲۰۱۰) تحقیقی را به منظور تعیین نمودن عرض مناسب بافر برای حذف اثر سموم کشاورزی انجام دادند. بدین منظور بر اساس مدل بخش کشاورزی RAUMIS، عرض نوار بافر ۳، ۳۰ و ۵۰ متر برآورد شده است. در این تحقیق سعی خواهد شد با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابتدا وضعیت تالاب استیل آستارا بررسی و سپس برای آن زون ضربه گیر و سپر حفاظتی تهیه گردد که بر اساس آن بتوان در روند حفاظتی تالاب استیل و نحوه مدیریت آن گامی مؤثر برداشته شود.

## ۲- مواد و روش

تالاب استیل ۱۴۲ هکتار وسعت دارد و در موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ۱۳ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی (موقعیت جغرافیایی N382146, E485106) در استان گیلان واقع شده است. این تالاب در ۷ کیلومتری شهر آستارا در حاشیه جاده لوندویل به آستارا و همچنین روبروی پناهگاه حیات وحش لوندویل واقع شده است (عاشوری و عبدوس، ۱۳۹۱). در شکل (۱) موقعیت محدوده تالاب استیل ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور.

استیل عباس آباد از جهت شمالی و جنوبی محدود به اراضی کشاورزی و از جهت شرقی مشرف به جاده ترانزیتی انزلی به آستارا است. این تالاب دائمی با آب شیرین که منبع تأمین کننده آب آن، روان آبهای سطحی، هرز آبهای اراضی کشاورزی و چشمه های زیرزمینی است. آب تالاب از طریق ۴ نهر در منطقه غربی تالاب که از ارتفاعات همجوار نشأت می گیرند، تأمین می شود. خروج آب از تالاب توسط دریاچه هایی که در قسمت شمالی و جنوبی تالاب قرار دارند، توسط کشاورزان کنترل می شود. عمق تالاب در نواحی مختلف، متفاوت می باشد و در بازه کمتر از ۱ متر تا ۳ متر متغیر است. این تالاب در نزدیکی پناهگاه حیات وحش لوندویل واقع شده که از لحاظ اکولوژیک این دو زیستگاه وابسته به یکدیگر می باشند (بهروزی راد، ۱۳۸۷).

تالاب استیل به دلیل قرار گرفتن در مسیر مهاجرت پرندگان و مجاورت پناهگاه حیات وحش لوندویل از اهمیت اکولوژیک بالایی برخوردار است که لزوم حفاظت از آن، بیش از پیش نمایان می شود. این تالاب از ارزش بالایی برای مردم بومی و کشاورزان ساکن در اطراف آن برخوردار است، زیرا بسیاری از این افراد با استفاده از آب ذخیره در آن به کشاورزی و آبیاری زمین های خود و همچنین پرورش ماهی می پردازند (عاشوری و عبدوس، ۱۳۹۱).

شاخص های اکولوژیک گیاهی تالاب، توسکا قشلاقی (Alnus glutinase) و شاخص های جانوری آن باکلان (Corax carbo phacro) و نوتریا (Nutria) می باشد (بهروزی راد، ۱۳۸۷).

به منظور تعیین حریم حفاظتی تالاب استیل به ترتیب عملیات زیر صورت گرفته است:

- مرحله اول: تهیه داده‌های سنجش از دور
- مرحله دوم: تهیه داده‌های کمکی
- مرحله سوم: تصحیح هندسی تصاویر
- مرحله چهارم: ترکیب رنگی کاذب
- مرحله پنجم: ادغام تصاویر IRS
- مرحله ششم: تعیین و طبقه بندی کاربری‌های حاشیه تالاب
- مرحله هفتم: تعیین سپر حفاظتی

## ۱-۲- تهیه داده‌های سنجش از دور

تصاویر مورد استفاده در این تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای از نوع تصویر LISS-III-P6 با قدرت تفکیک ۲۳/۵ متر و تصویر PAN با قدرت تفکیک ۵/۸ متر مربوط به سال ۲۰۱۱ حاصل از سنجنده‌ی IRS، می‌باشد که از سازمان جغرافیایی نیرو-های مسلح خریداری شده است.

## ۲-۲- تهیه داده‌های کمکی

از نقشه‌های رقومی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده، جهت تصحیح هندسی و موارد لازم دیگر استفاده شده است. همچنین نقاط کنترل زمینی، با استفاده از دستگاه GPS دستی، مدل Etrex30، به ثبت رسید که برای مختصات دار کردن تصاویر و همچنین مکان یابی صحیح کاربری‌ها مورد استفاده قرار گرفت. از نقشه حوضه آبریز شمال کشور برای تعیین حریم هیدرولوژیکی تالاب استیل استفاده گردید.

## ۳-۲- تصحیح هندسی تصاویر IRS

به منظور کاهش خطاهای موجود در تصاویر ماهواره‌ای، عملیات تصحیح هندسی توسط نرم افزار ENVI4.7 انجام شد. برای تعیین نقاط کنترل زمینی از GPS و نقشه توپوگرافی استفاده شد و نقاط قابل رؤیت و بارز در تصویر ماهواره‌ای تصحیح نشده به عنوان این نقاط انتخاب شدند (شایسته و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۴-۲- ترکیب رنگی کاذب RGB

از ترکیب رنگی کاذب جهت بهبود نحوه نمایش هر یک از کاربری‌ها و سهولت جداسازی پدیده‌ها توسط نرم افزار ENVI4.7 استفاده شد (علوی پناه، ۱۳۸۸).

## ۵-۲- ادغام تصاویر IRS

برای بالا بردن وضوح تصویر و تشخیص بهتر کاربری‌های حاشیه تالاب، ادغام تصویر PAN با تصویر کاذب صورت گرفت. به این ترتیب با شارپ کردن تصاویر و مقایسه آن‌ها با یکدیگر، بهترین ترکیب رنگی، با وضوح بالا، بصورت Color Normalized حاصل شد (فلاح یخدانی و عزیزی، ۱۳۸۹).

## ۶-۲- تعیین و طبقه‌بندی کاربری‌های حاشیه تالاب

کاربری‌های حاشیه تالاب با توجه به مشاهدات میدانی و با استفاده از دستگاه GPS و دورکاوی توسط تصویر ماهواره‌ای Quick Bird مربوط به سال ۲۰۱۲، که از نرم افزار GoogleEarth استخراج شد، به پنج دسته مسکونی، صنعتی، کشاورزی،



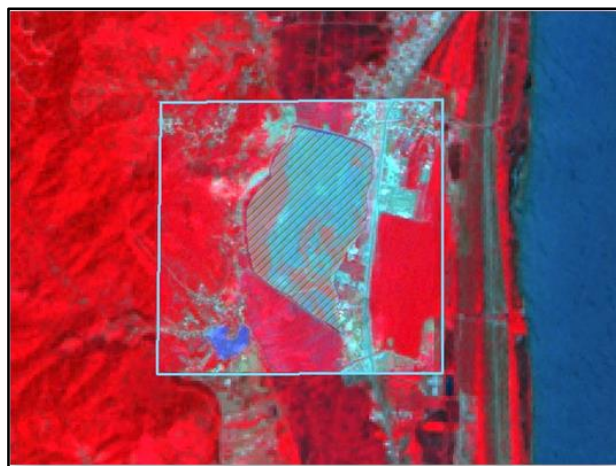
بایر و جنگلی تقسیم شد. سپس به منظور طبقه‌بندی نظارت شده، از هیستوگرام مربوط به نمونه‌های تعلیمی در هر باند برای بررسی چگونگی توزیع داده‌های هر طبقه از نرم افزار ENVI4.7 استفاده شد. در ادامه با تغییر نمونه‌های ناهمگنی که از توزیع نرمال برخوردار نبودند و یا هم پوشانی داشتند، سعی در کاهش میزان هم پوشانی و دست یافتن به توزیع نرمال تر هیستوگرام‌ها گردید (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۱).

## ۲-۷- تعیین سپر حفاظتی

در تعیین حریم حفاظتی تالاب استیل، قوانین و آیین نامه های موجود در ایران مورد استفاده قرار گرفت. برای ایجاد زون بافر و بررسی سطح کاربری اراضی زیر بافر از نرم افزار ArcGIS10 و تحلیل‌های مربوط به مجاورت و همسایگی استفاده شد. طبق مقررات ابلاغ شده، حریم کمی تالاب ۲۰ متر، سپر کیفی تالاب ۱۵۰ متر و حریم اکولوژیکی تالاب، ۵۰۰ متر و حریم صنعتی تالاب ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده است (منعم و همکاران، ۱۳۸۹). برای تعیین حریم هیدرولوژیکی تالاب کافی است که حوضه آبریز آن را بر روی نقشه‌های توپوگرافی مشخص ساخت.

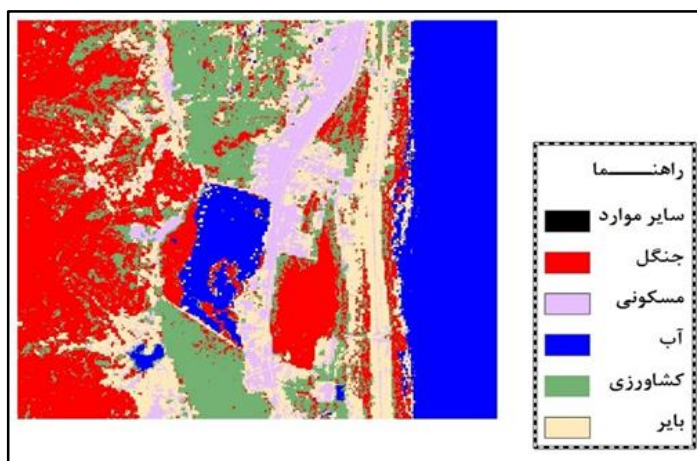
## ۳- نتایج

تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI4/7 صورت گرفته شد و میزان خطای کل RMSE، برابر ۰/۰۷ بدست آمد. برای مشخص نمودن بافت پوشش گیاهی مناسب تصاویر IRS، از ترکیب رنگی حاصل از باندهای ۳: مادون قرمز نزدیک و ۲: قرمز و ۱: سبز (این تصاویر باند آبی را در اختیار ندارند)، به ترتیب R، G و B استفاده گردید. برای بالا بردن قدرت تفکیک، با ادغام تصویر PAN و تصویر LISSIII، بهترین ترکیب رنگی، با وضوح بالا، بصورت Color Normalized حاصل شد که در شکل (۲) این تصویر نشان داده شده است.



شکل ۲- تصحیح هندسی و ادغام تصاویر PAN و RGB با روش Color Normalized به منظور افزایش وضوح تصویر و مقایسه آن با محدوده تالاب.

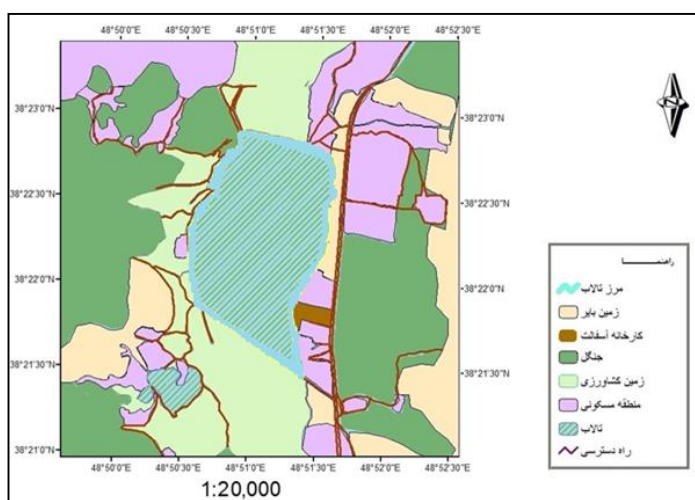
به منظور ساخت نمونه‌های تعلیمی ابتدا نقاط با استفاده از GPS ثبت گردید و هر یک از نقاط نمونه به عنوان ROI در نظر گرفته شد. سپس به منظور طبقه بندی نظارت شده بر اساس نمودار طبقی هر یک از نمونه‌های تعلیمی (ROI)، کاربری‌های مختلف از هم جدا شدند. در شکل (۳) تصویر کلاس بندی کاربری‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از طبقه بندی نظارت شده نشان داده شده است.



شکل ۳- کلاس‌بندی کاربری‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده.

### ۳-۱- انواع و مساحت کاربری‌های حاشیه تالاب استیل

همانطور که در شکل (۴) مشخص شده است ابتدا کاربری‌های حاشیه تالاب به کمک داده‌های عملیات میدانی و سنجش از دور، در سیستم نرم افزار ArcGIS10 به صورت ShapeFile استخراج گردید. سپس با استفاده از جدول اطلاعات توصیفی ایجاد شده در لایه‌ها و از طریق محاسبات گراف در نرم افزار ArcGIS10 مساحت هر یک از کاربری‌های حاشیه رسم شد.



شکل ۴- کاربری‌های تالاب استیل.

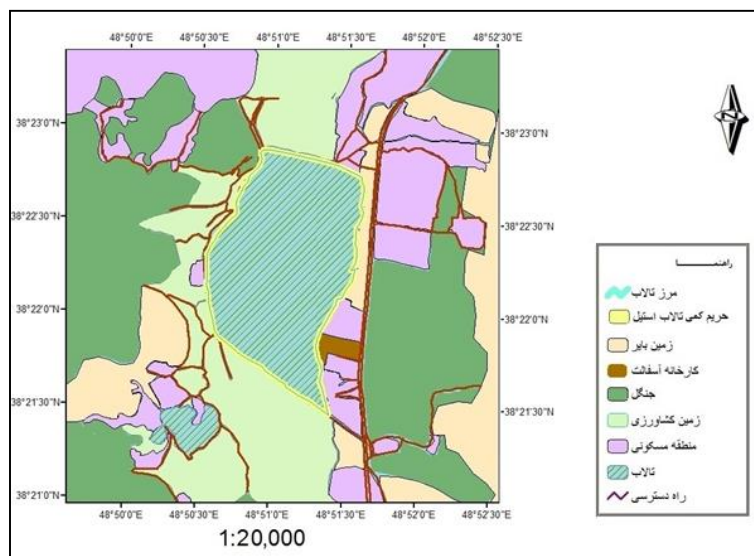
### ۳-۲- ایجاد بافرزون و بررسی نقش آن در حفاظت از تالاب استیل

بر اساس قوانین موجود در ایران در رابطه با حریم اطراف تالاب‌ها، با استفاده از تحلیل Buffer در نرم افزار ArcGIS10، زون‌های سپر در اطراف تالاب استیل ایجاد و میزان نقش هریک در کاهش سطح دسترسی و استفاده انسان از محدوده‌ی زیر سپر بررسی گردید.

### ۳-۳- بافر کمی تالاب

برای حفظ حاشیه خیزی و حفاظت روند رویشی طبیعی تالاب استیل، بافر کمی به طول ۲۰ متر در دو طرف لبه تالاب تعیین گردید که در شکل (۵) ارائه شده است. مساحت کلی کاربری‌های واقع در محدوده سپر کمی ۵۳۸۵۱۱۲ متر مربع است

که به ترتیب بیشترین مساحت مربوط به کاربری کشاورزی، جنگلی، مسکونی، بایر و صنعتی می‌باشد. در جدول (۱) میزان مساحت کاربری‌های واقع در سپر کمی تالاب نشان داده شده است.



شکل ۵- زون سپر کمی تالاب استیل آستارا با پهنای ۲۰ متر از لبه‌ی مرز آبی.

جدول ۱- میزان مساحت و درصد مربوط به کاربری‌های واقع در محدوده سپر کمی.

| کاربری  | مساحت (مترمربع) | درصد    |
|---------|-----------------|---------|
| بایر    | ۸۰۴۱۰           | ۱/۴۹۳٪  |
| جنگل    | ۱۹۰۸۲۵          | ۳/۵۴۳٪  |
| صنعتی   | ۴۰۶۵۶           | ۰/۷۵۵٪  |
| کشاورزی | ۴۸۸۷۷۵۲         | ۹۰/۷۶۴٪ |
| مسکونی  | ۱۸۵۴۶۹          | ۳/۴۴۴٪  |

### ۳-۴- بافر کیفی

برای حفظ تالاب از آلودگی آب و خاک، حریم کیفی ۱۵۰ متر در دو طرف لبه تالاب تعیین شد. محدوده بافر کیفی تالاب استیل در شکل (۶) نشان داده شده است. مساحت کلی کاربری‌های واقع در محدوده سپر کیفی ۱۰۳۴۳۶۹۶ متر مربع می‌باشد که به ترتیب بیشترین مساحت مربوط به کاربری کشاورزی، جنگلی، مسکونی، بایر و صنعتی است. میزان مساحت کاربری‌های واقع در سپر کیفی تالاب در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- میزان مساحت و درصد مربوط به کاربری‌های واقع در محدوده سپر کیفی.

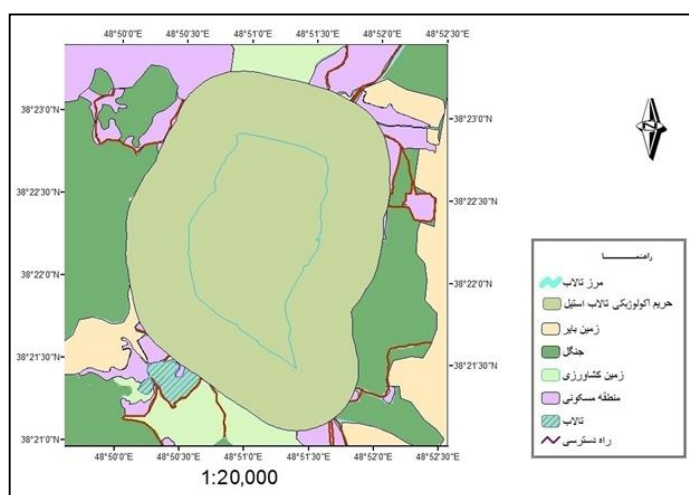
| کاربری  | مساحت (مترمربع) | درصد    |
|---------|-----------------|---------|
| بایر    | ۱۴۸۵۸۰          | ۱/۴۳۷٪  |
| جنگل    | ۴۵۷۸۱۵۱         | ۴۴/۲۶٪  |
| صنعتی   | ۴۰۶۵۶           | ۰/۳۹۳٪  |
| کشاورزی | ۴۹۴۰۵۸۰         | ۴۷/۷۶۴٪ |
| مسکونی  | ۶۳۵۷۲۹          | ۶/۱۴۶٪  |



شکل ۶- زون سپر کیفی تالاب استیل آستارا با پهنای ۱۵۰ متر از لبه‌ی مرز آبی.

### ۳-۵- بافر اکولوژیکی

سپر اکولوژیکی تالاب برای حفاظت از جوامع گیاهی و جانوری مرتبط با تالاب، ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. محدوده حریم اکولوژیکی تالاب استیل در شکل (۷) نشان داده شده است. مساحت کلی کاربری‌های واقع در محدوده سپر اکولوژیکی ۲۰۵۰۳۳۳۰ متر مربع است که به ترتیب بیشترین مساحت مربوط به کاربری جنگلی، کشاورزی، مسکونی، بایر و صنعتی می‌باشد. در جدول (۳) میزان مساحت کاربری‌های واقع در سپر اکولوژیکی تالاب نشان داده شده است.



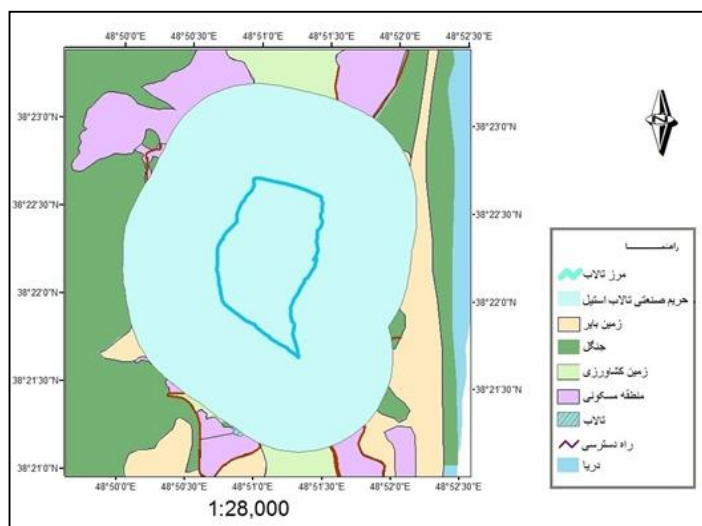
شکل ۷- زون سپر اکولوژیکی تالاب استیل آستارا با پهنای ۵۰۰ متر از لبه‌ی مرز آب.

جدول ۳- میزان مساحت و درصد مربوط به کاربری‌های واقع در محدوده سپر اکولوژیکی.

| کاربری  | مساحت (متر مربع) | درصد    |
|---------|------------------|---------|
| بایر    | ۵۸۸۰۹۳           | ۲/۸۶۸٪  |
| جنگل    | ۱۰۸۰۴۹۸۳         | ۵۲/۶۹۸٪ |
| صنعتی   | ۴۰۶۵۶            | ۰/۱۹۸٪  |
| کشاورزی | ۵۲۳۵۶۴۹          | ۲۵/۵۳۶٪ |
| مسکونی  | ۳۸۳۳۹۴۹          | ۱۸/۷٪   |

### ۳-۶- بافر صنعتی

برای جلوگیری از آسیب‌ها و صدمات وارده از کارخانه آسفالت‌سازی واقع در حاشیه تالاب، سپر حفاظتی ۱۰۰۰ متری تعیین شده است که در شکل (۸) این محدوده مشخص گردیده است. مساحت کلی کاربری‌های واقع در محدوده سپر صنعتی ۲۳۶۴۹۱۶۴ متر مربع می باشد که به ترتیب بیشترین مساحت مربوط به کاربری جنگلی، کشاورزی، مسکونی، بایر و صنعتی است. در جدول (۴) میزان مساحت کاربری‌های واقع در سپر کیفی تالاب ارائه شده است.



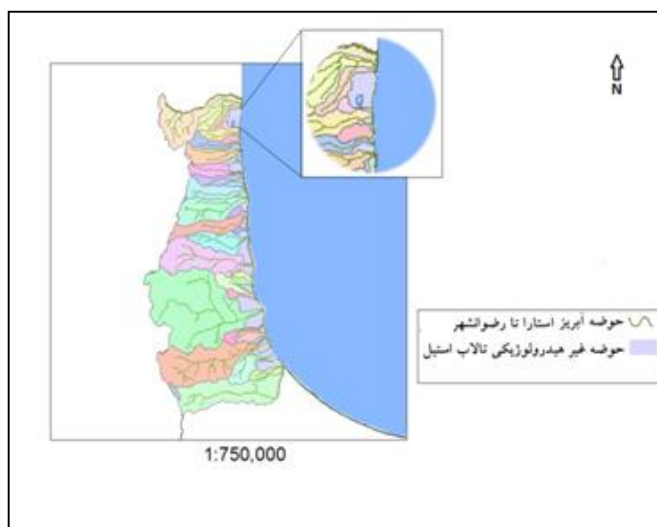
شکل ۸- زون سپر صنعتی تالاب استیل آستارا با پهنای ۱۰۰۰ متر از لبه ی مرز آبی.

جدول ۴- میزان مساحت و درصد مربوط به کاربری‌های واقع در محدوده سپر صنعتی.

| کاربری  | مساحت (متر مربع) | درصد    |
|---------|------------------|---------|
| بایر    | ۲۹۵۲۵۵۷          | ۱۲/۴۸۵٪ |
| جنگل    | ۱۱۱۰۱۲۱۹         | ۴۶/۹۴۱٪ |
| صنعتی   | ۴۰۶۵۶            | ۰/۱۷۳٪  |
| کشاورزی | ۵۲۶۶۶۶۹          | ۲۲/۲۷٪  |
| مسکونی  | ۴۲۸۸۰۶۳          | ۱۸/۱۳۳٪ |

### ۳-۷- حریم هیدرولوژیکی تالاب استیل

حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه، از شهرستان آستارا تا شهرستان رضوانشهر در استان گیلان، امتداد دارد. از آنجا که تالاب استیل در حوضه ی غیرهیدرولوژیکی قرار دارد، یعنی هیچ رودخانه یا رواناب طبیعی به طور مستقیم با تالاب ارتباط ندارد، برای حفظ منابع زیر سطحی آب تالاب و کنترل میزان بهره برداری، باید کل حوضه آبریز منطقه مورد حفاظت قرار گیرد. در شکل (۹) محدوده حریم هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۹- حوضه آبریز تالاب استیل آستارا.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

بافرزون، با ایجاد لایه‌هایی که در واقع جزئی از پهنه‌ی تالاب محسوب خواهند شد، در واقع این امکان را برای تالاب بوجود می‌آورد که تالاب سیر تکاملی خود را بطور طبیعی دنبال نموده و از دخالت انسان جلوگیری نماید. ضمن اینکه مقدار آن علاوه بر ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، وابسته به نوع کاربری و هدف آن متفاوت خواهد بود (منصوری، ۱۳۸۶). در گذشته، عوامل مختلف در تعیین پارامترهای مورد نیاز آن، با روش‌های تجربی و بصورت دستی صورت می‌گرفت که در روش تعیین بافر منصوری (۱۳۸۶) قابل مشاهده است. ولیکن امروزه با پیشرفت تکنولوژی و سیستم‌های پیشرفته‌ی پردازشگر کامپیوتری و به صورت کامل شده‌ی آن سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، علاوه بر برآورد کلی و منطقی از محدوده‌ی مورد مطالعه، می‌توان کلیه‌ی تحلیل‌ها و محاسبات را با درصد خطا و هزینه‌ای کمتر و با سرعت و دقت بالاتری انجام داد و عرض مناسب بافر برای تالاب را تعیین نمود به طوری که جعفری و همکاران (۱۳۸۶) نیز در تحقیق خود از این سیستم در تعیین بافرزون مناسب برای تالاب استفاده نمودند.

برای ایجاد بافر مناسب در حریم تالاب، هدف و نقش آن، اهمیت دارد بعنوان مثال، جعفری و همکاران (۱۳۸۶)، به منظور کاهش آلودگی حاصل از کاربری‌های اطراف تالاب میانکاله، از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) استفاده کردند که در آن با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ی Landsat عرض بافرزون ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. در تحقیق حاضر نیز با استفاده از روشی مشابه از تصاویر ماهواره‌ی IRS، سنجنده PAN به جهت قدرت تفکیک زمینی ۵/۸ متری آن و سنجنده LISS-III-P6 به علت رنگی بودن آن برای تشخیص بهتر عوارض و پدیده‌ها استفاده شد. به دلیل دقت بالاتر، از طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید که بر اساس آن انواع کاربری‌های محدوده مورد مطالعه به پنج دسته کاربری مسکونی، کشاورزی، جنگلی، صنعتی و بایر تقسیم شد. با استفاده از قوانین موجود در ایران، پنج نوع سپر حفاظتی با عرض‌های ۲۰، ۱۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر برای تالاب تعیین شد.

فتحی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق خود به بررسی گسترش روند تخریب از حاشیه به داخل تالاب انزلی پرداختند. نتایج نشان دهنده‌ی تغییر کاربری‌های زمین و توسعه نامتناسب اطراف تالاب بود که برای کاهش سطح تخریب و فشار کاربری‌های انسانی اطراف تالاب، پنج سپر در اطراف تالاب تا شعاع ۵۰۰ متری، به عرض‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ متری ایجاد شد.



شان و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از فن آوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به بررسی سیستم حفاظت اکولوژیکی برای حوضه آبخیز منطقه سه دره چین پرداختند که نتایج نشان داد برای حذف اثر آلاینده‌ها از ۱۰ تا ۱۰۰ متر حریم مورد نیاز می باشد و میزان تأثیر پارامترهای شیب و خاک در افزایش ابعاد بافر بسیار بالا است.

سایبر و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود از GIS برای محاسبه اثر عوامل طبیعی منطقه (مانند نوع خاک، استفاده از زمین‌های دور از آب، و غیره) در میزان ورود آفت‌کش‌ها به آب‌های سطحی و همچنین به منظور محاسبه پتانسیل خطر در سطح منطقه‌ای استفاده نمودند که نتایج نشان داد عرض مناسب بافر برای حذف اثر سموم، ۳، ۳۰ و ۵۰ متر، برآورد شده است. همچنین، مشخص شد سطح پراکنش آلاینده‌های سموم کشاورزی ارتباط نزدیکی با میزان درآمد و وضع مالی کشاورزان دارد.

در تحقیق حاضر به منظور حذف فشار مستقیم انسان بر تالاب، عرض بافر مناسب با استفاده از ضوابط و معیارهای موجود در ایران، برای کاربری‌های صنعتی ۱۰۰۰، حریم اکولوژیکی ۵۰۰، حریم کیفی ۱۵۰ و حریم کمی ۲۰ متر در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که هریک از سپرهای مورد استفاده، به ترتیب می تواند ۱۲۵۴۷۹۴۵ متر مربع برای حریم صنعتی، ۹۶۹۸۳۴۷ متر مربع برای حریم اکولوژیکی، ۵۷۶۵۵۴۵ مترمربع برای حریم کیفی و ۵۱۹۴۲۸۷ متر مربع برای حریم کمی، از مساحت کاربری‌های انسانی سطح زیر پوشش خود را حذف نماید.

در این تحقیق با استفاده از تکنیک سنجش از دور، کاربری‌های حاشیه تالاب و مرز آبی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد پنج کاربری شامل مناطق مسکونی، صنعتی، اراضی کشاورزی، جنگلی و زمین‌های بایر، در اطراف تالاب وجود دارد که بصورت مستقیم بر تالاب تأثیر گذار است. بر اساس نوع کاربری‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و قوانین و مصوبات موجود در ایران، برای تالاب بافرزون مناسب تعیین گردید.

مناطق مسکونی به دلیل نفوذ آلودگی‌های حاصل از فاضلاب‌های انسانی به درون تالاب، تهدید و استرس حیات‌وحش، بارگذاری و فشار بر تالاب، تخریب اراضی و پوشش گیاهی جزء مناطق آسیب رسان به تالاب قرار می‌گیرند و در آلودگی تالاب تأثیر دارند. به این منظور، بافر مناسب برای حفظ کمیّت تالاب ۲۰ و کیفیّت تالاب ۱۵۰ متر می‌باشد.

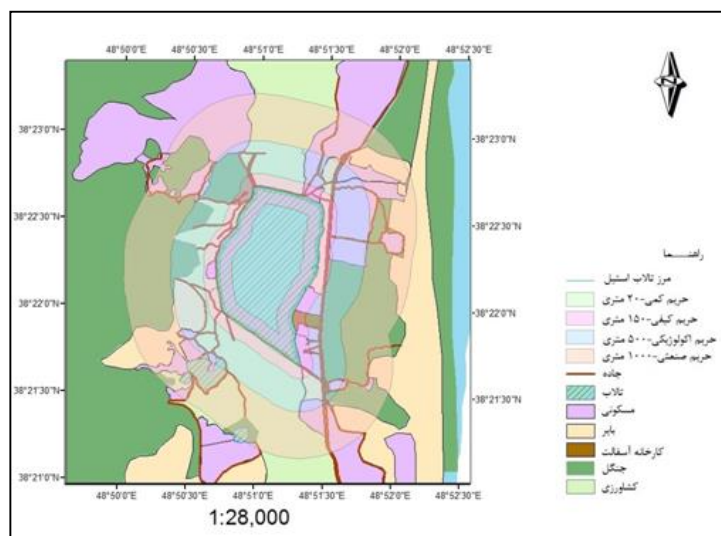
مناطق صنعتی به دلیل بالا بودن سطح تخریب و ورود فاضلاب‌های صنعتی و فلزات سنگین و ایجاد ناامنی برای حیات-وحش جزء مناطق آسیب رسان به تالاب قرار دارند. به این منظور، بافر مناسب برای کاهش اثر آن‌ها ۱۰۰۰ متر می‌باشد.

اراضی کشاورزی به دلیل زهکشی آب‌های مورد استفاده کشاورزی و نفوذ عناصر آلی و معدنی حاصل از سموم و کودهای شیمیایی و مواد جامد معلق با غلظت بالا، جزء مناطق آسیب‌رسان به تالاب قرار می‌گیرند. بدین جهت بافر مناسب برای حفظ کمیّت تالاب ۲۰ و کیفیّت تالاب ۱۵۰ متر می‌باشد.

زمین‌های بایر نیز به دو دلیل جزء مناطق آسیب رسان قرار می‌گیرند، اول به دلیل اینکه فاقد پوشش گیاهی هستند و مستعد برای فرسایش خواهند بود و بنابراین مقادیر زیادی رسوبات و مواد آلاینده را به داخل تالاب وارد می‌کنند. دوم اینکه عموماً زمین‌های بایر شامل مزارعی هستند که در آیش قرار دارند و در مجموع برای فعالیت‌های کشاورزی استفاده خواهند شد که به این منظور، بافر مناسب برای حفظ کمیّت تالاب ۲۰ و کیفیّت تالاب ۱۵۰ متر می‌باشد.

مناطق جنگلی با بیشترین وسعت به دلیل وجود پوشش گیاهی طبیعی، نقش سپر حفاظتی تالاب را دارد و اثری در آلودگی تالاب نداشته و حفاظت از کیفیّت آب تالاب را فراهم می‌کنند.

بنابر این بافر کمی تالاب استیل ۲۰ متر، بافر کیفی ۱۵۰ متر، بافر اکولوژیکی ۵۰۰ متر و حریم صنعتی ۱۰۰۰ متر، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج گردید که در شکل (۱۰) مجموعه‌ی سپرهای حفاظتی اطراف تالاب نمایش داده شده است. جدول (۵) درصد زمین‌های متعلق به کاربری‌های انسان ساخت زیر محدوده‌ی بافر را نشان می‌دهد. با مشاهده نتایج می توان دریافت حریم ایجاد شده در هر یک از چهار سطح تا چه اندازه ای می‌تواند آسیب‌های حاصل از کلیه‌ی کاربری-های انسان ساخت حاشیه تالاب را خنثی نماید و حفاظت از تالاب را بر عهده گیرد.



شکل ۱۰- بافر ایجاد شده در چهار سطح : ۲۰ متر بافر کمی تالاب، ۱۵۰ متر بافر کیفی، ۵۰۰ متر بافر اکولوژیکی و ۱۰۰۰ متر بافر صنعتی مورد نیاز تالاب استیل.

جدول ۵- درصد کاهش تعارضات انسانی در هر یک از سپرها.

| نوع بافر       | درصد کاهش تعارضات انسانی |
|----------------|--------------------------|
| بافر کمی       | ۹۶/۴۵٪                   |
| بافر کیفی      | ۶۸/۶۶٪                   |
| بافر اکولوژیکی | ۴۷/۳۰٪                   |
| بافر صنعتی     | ۵۳/۰۵٪                   |

## مراجع

- ۱- بهروزی راد ب، ۱۳۸۷. تالاب‌های ایران، چاپ اول، انتشارات سازمان جغرافیایی ارتش، ۷۹۸ ص.
- ۲- بهروزی راد ب، ۱۳۸۵. معضلات و مشکلات تالاب‌های ایران و شاخص‌های مدیریتی اکوسیستمی آن‌ها، سومین همایش ملی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها، اهواز.
- ۳- جعفری ح، کریمی س و مداح ف، ۱۳۸۶. محدوده‌یابی سپر حفاظتی با تجزیه و تحلیل مشخصه‌های آلاینده به کمک RS و GIS در تالاب میانکاله، مجله محیط شناسی، سال سی و سوم، شماره ۴۴، ص ۵۵-۶۴.
- ۴- سلمان ماهینی ع، نادعلی آ، فقهی ج و ریاضی ب، ۱۳۹۱. طبقه‌بندی مناطق جنگلی استان گلستان به روش حداکثر احتمال با استفاده از تصاویر ETM+ سال ۲۰۰۱، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره چهاردهم، شماره سه، ص ۴۷-۵۶.
- ۵- شایسته ا، سلطانی س، کریم زاده ح و سرحدی ع، ۱۳۸۷. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای IRS-1D جهت استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی حوزه آبخیز مندرجان اصفهان). همایش ژئوماتیک ۸۷ و چهارمین همایش یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی، تهران.
- ۶- شهریاری ا، اسمعیلی ورکردی م، وظیفه دوست م و یگانه فر ا، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات زمانی وسعت تالاب‌ها با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS مطالعه موردی: تالاب امیر کلاهی استان گیلان، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز.
- ۷- طاهری آزاد ل و شهسوار پور ن، ۱۳۸۵. اکوتوریسم تالاب انزلی و راهکارهای مدیریتی آن، همایش منابع طبیعی و توسعه پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر، نور.

- ۸- عاشوری ع و عبدوس ا، ۱۳۹۱. زیستگاه‌های تالابی مهم پرندگان آبی گیلان، اداره کل محیط زیست استان گیلان، انتشارات کتیبه گیل، ص ۱۰۶-۱۱۲.
- ۹- علوی پناه س ک، ۱۳۸۸. سنجش از دور حرارتی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۴۲ ص.
- ۱۰- فتحی ف، آذری دهکردی ف و باقرزاده کریمی م، ۱۳۸۹. تعیین محدوده سیر حفاظتی مجموعه تالاب انزلی بر اساس شاخص‌های اکولوژیک، فصلنامه علمی پژوهشی تالاب، سال اول، شماره چهارم، ص ۵۰-۳۹.
- ۱۱- فلاح یخدانی م و عزیزی ع، ۱۳۸۹. تعیین روش بهینه برای ادغام تصاویر با قدرت تفکیک بالای IRS-P5, IRS-P6 با استفاده از معیارهای ارزیابی کمی، همایش ژئوماتیک، تهران.
- ۱۲- منصوری ج، ۱۳۸۶. مدیریت تالاب‌ها و پرندگان آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، ص ۱۶۵-۱۹۸.
- ۱۳- منعم م، ناصری م و باقرزاده کریمی م، ۱۳۸۹. مبانی شناخت، مدل‌سازی و تعیین بستر و حریم تالاب‌ها، دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران، انتشارات ناب نگار، چاپ اول، ۱۷۳ ص.
- ۱۴- مؤمن پور م، ۱۳۸۹. تعیین ارزش اقتصادی حفاظت از تنوع‌زیستی تالاب استیل آستارا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست-زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ص ۱۳۹-۱۷۴.
- 15- Green K, Kempka D and Lackey L. 1994. Using Remote Sensing to Detect and Monitor land Cover and land Use Change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(3): 331-337.
- 16- Mehring M and Stoll-Kleemann S. 2011. How Effective is the Buffer Zone? Linking Institutional Processes with Satellite Images from a Case Study in the Lore Lindu Forest Biosphere Reserve, Indonesia. *Ecology and Society*, 16(4): 3.
- 17- Shan N, Ruan X.H, Xu J and Pan Z.R. 2014. Estimating the optimal width of buffer strip for nonpoint source pollution control in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Ecological Modelling*, Journal Ecological Modeling 276, 51-63.
- 18- Siber S, Pannll D, Muller K, Holm-Muller K, Kreins P and Gatsche V. 2010. Modelling pesticide risk: A marginal cost-benefit analysis of an environmental buffer-zone programme. *landscapes and publics, Land Use policy* 27(2): 653-661.



## نقش مدیریت بحران در کاهش آسیب‌های زلزله در استان سیستان و بلوچستان

علی ریگی<sup>۱</sup>، سپیده زوار براشکی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری

Ali.reegi724@gmail.com

### چکیده

حوادث و بلایای طبیعی هر ساله سبب خسارات جانی و مالی بسیاری در کشور می شود. با توجه به موقعیت کشور و نحوه قرارگیری شهرها در نقاط آسیب پذیر از لحاظ زلزله، ضرورت پرداختن به این مسئله امری بدیهی است. از ضروری ترین اقدامات و مسائل، به کارگیری اصول مدیریت بحران به منظور کاهش آسیب ها، آمادگی، مقابله، بازسازی و بازتوانی است. براساس پژوهش های وزارت مسکن و شهرسازی در طرح کالبد ملی، ۵۰ درصد جمعیت شهرنشین کشور در پهنه هایی زندگی می کنند که دارای بیشترین خطر زلزله خیزی است. استان سیستان و بلوچستان بر روی گسل های فراوانی قرار دارد و به دلیل تعدد بافت فرسوده در شهرهای استان، در خطر می باشد. این مقاله با رویکردی توصیفی و تحلیلی، به بررسی نقاط زلزله خیز پرداخته است. در نتیجه مهمترین عاملی که باید به آن توجه شود ساخت و ساز اصولی بافت کالبدی شهرهای استان است. در انتها راهکارهایی جهت مدیریت بحران زلزله در استان ارائه شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت بحران، زلزله، سیستان و بلوچستان.

### ۱. مقدمه

شهر اثر ماندگار تاریخی و در عین حال واحد جغرافیایی و اجتماعی تکامل پذیر است (رهنمائی، ۱۳۶۷: ۸۲)، که با گسترش بعد کالبدی و مسئله شهرنشینی و همچنین افزایش تدریجی تعداد شهرها در جهان و تداوم بارگذاری های محیطی و اقتصادی بر بستر آنها لزوم توجه بیشتر به آنها را ضروری ساخته است. در واقع شهر به عنوان یک منبع توسعه نیازمند مدیریتی پویا در تمامی ابعاد آن می باشد (شیعه، ۱۳۸۲: ۳۷). یکی از موضوعاتی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به گریبانند موضوع سوانح طبیعی است. سانحه یا بحران، رویداد یا واقعه ای ناگهانی است که با آسیب های انسانی و مادی گسترده و یا زمینه بروز این گونه آسیب ها همراه بوده و نیازمند انجام اقدامات فوری است. سوانح و حوادث متعدد، سالانه سبب خسارت های قابل توجه جانی و مالی در کشور می شود. ابعاد تخریب ایجاد شده از طریق سوانح طبیعی که به ویژه بر اثر زلزله ایجاد می شود چنان وسیع است که مناطق بسیار گسترده ای از کشور می تواند تحت تاثیر قرار گیرد. از طرفی، سوانح و بحران ها اغلب ناگهانی می باشند و در صورت تدریجی بودن نیز به بشر فرصت کافی نداده و ضایعات، خسارات و تخریب های شدید محیطی را به دنبال می آورند. به طور طبیعی، اولین اقدام انسان در برخورد با بحران و سوانح عبارت است از نجات و کاهش اثرات واقعه که با وجود زمان بسیار کم نیاز به واکنش سریع دارد. واکنش سریع که بخش بسیار مهم مدیریت بحران را تشکیل می دهد، شامل شناسایی، ارزشیابی، تصمیم گیری و اقدامات اضطراری موقت می باشد که تمام مراحل این واکنش در زمان بسیار کوتاه صورت

می‌گیرد. بنابراین آمادگی و شناخت بحران یکی از وظایف مدیریت است اما از آن مهمتر، پیش‌بینی بحران می‌باشد، چرا که بدون پیش‌بینی و قدرت نگاه به آینده آن، این بحران خواهد بود که مانند طوفانی ما را به هر سو می‌کشانند (رودینی، ۱۳۸۳: ۶۶). از طرفی بنا به شواهد و آمار، ایران در شمار ده کشور اول فاجعه خیز دنیا قرار دارد (عنبری، ۱۳۸۳: ۸۸). با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در منطقه زلزله خیز دنیا و عدم امکان پیش‌بینی زمان وقوع زمین لرزه، لزوم ارائه طرح جامع مدیریت بحران برای کاهش خطرات ناشی از بروز آن امری بسیار مهم می‌باشد (ناطق الهی و استوار ایزدخواه، ۱۳۸۳: ۱۲۰).

زلزله پدیده ای طبیعی و تنها یک بلا نیست، بلکه وجود آن یکی از اجتناب ناپذیرترین وقایع طبیعی است و باعث می‌شود که نیروهای محبوس در پوسته زمین آزاد شده و پوسته آرامش و ایستایی خود را بازابد. آن چه زلزله را تبدیل به یک فاجعه مخرب می‌نماید، تقابل پدیده‌های انسانی و عوامل انسان ساز با این پدیده طبیعی می‌باشد. یکی از استان‌هایی که در خطر زلزله می‌باشد استان سیستان و بلوچستان است. به دلیل محروم بودن این استان مرزی کشور، اغلب بافت شهرهای این استان فرسوده می‌باشند و ساختمان‌های زیادی مطابق استاندارد فنی ساخته نشده‌اند و ایستایی لازم را در برابر زلزله ندارند.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

### ۱-۲- بحران

مفهوم بحران، انحراف از وضعیت تعادل عمومی رابطه سازمان با محیط یا تعریفی از خصوصیت محیطی است که سازمان مجبور است به صورت مستمر از آن آگاهی داشته باشد. در هر یک از این دو نگرش، انجام مسائل مربوط به مدیریت بحران در یک دیدگاه مدیریت استراتژیک به بهترین وجه قابل درک است. ندر مدیریت نوین، سازمان‌ها بین بحران (CRISIS) و واقعه ناگوار (DISASTER) تفاوت قائل شده‌اند.

«برنت» بین این دو تفاوت قائل شده و می‌گوید: بحران توصیف‌کننده شرایطی است که در آن ریشه‌های پدیده می‌تواند مسائل و مشکلاتی مانند ساختارها و عملیات‌های مدیریت نامناسب و یا شکست در تطابق با یک تغییر باشد در حالی که منظور از واقع ناگوار این است که شرکت با تغییرات مصیبت بار پیش‌بینی نشده یا ناگهانی مواجه شده که کنترل کمی بر روی آنها دارد.

### ۲-۲- مدیریت بحران

مدیریت بحران ناظر بر پنج مقوله سازماندهی، ارتباطات، تصمیم‌گیری، شناخت عوامل بحران و طراحی است. کنترل بحران در مواقعی که سازمان‌دهی نیروهای مقابله‌کننده با بحران بیشتر باشد آسان‌تر است. مدیریت بحران فرایند برنامه‌ریزی و عملکرد می‌باشد که با مشاهده سیستماتیک بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آنها در جستجوی یافتن ابزاری است که به وسیله آن بتوان از بروز بحران‌ها پیشگیری نمود و یا در صورت بروز آن در خصوص کاهش آثار، آمادگی لازم، امداد رسانی سریع و بهبودی اوضاع سازمان اقدام کرد. هر اندازه میزان ارتباطات بین ارگان‌های مقابله‌کننده با بحران بیشتر باشد، مدیریت بحران از کارایی بیشتری برخوردار خواهد بود. سرعت تصمیم‌گیری در مدیریت بحران از اهمیت بسیاری برخوردار است. در واقع بین سرعت تصمیم‌گیری و سرعت کنترل بحران ارتباط مستقیم وجود دارد، به بیان دیگر هر اندازه سرعت تصمیم‌گیری از سوی مدیریت بحران بیشتر باشد، سرعت کنترل بحران نیز بیشتر خواهد بود. مسئله اصلی در مدیریت بحران، چگونگی سنجش فوریت و اولویت تهدید است. در سنجش، طبقه‌بندی و تشخیص اولویت و فوریت تهدید، عوامل بسیاری تاثیرگذار هستند. زمان تهدید، مکان و شدت تهدید، عمق و دامنه تهدید، نوع تهدید، هدف مورد آماج تهدید و ابزار تهدید از مهمترین این عوامل هستند.

امروزه عمده‌ترین نقاط ضعف مدیریت بحران عدم هماهنگی و همکاری سازمانها، کمبود ضوابط و مقررات جامع و مانع و پراکندگی و نا کافی بودن قوانین و مقررات موجود، محدودیت منابع مالی است، اما خوشبختانه نقاط قوت بسیاری نیز وجود دارد که خود شامل تجارب مفید در مدیریت بحران و روحیه تعاون و نوع دوستی در جامعه و مشارکت خوب و ارزشمند مردم



و سازمانهای NGO همچون جمعیت هلال احمر است که می توان با مرتفع نمودن نقاط ضعف و توجه بیشتر به نقاط قوت راه را برای عملکرد هر چه بهتر و قویتر در امر مدیریت بحران هموار نمود. باید تهدیدها و فرصت ها را به خوبی شناخت و خود را برای مقابله با تهدیدها و استفاده از فرصتها آماده ساخت.

| مراحل مدیریت بحران | نوع فعالیت                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| پیشگیری            | مجموعه فعالیت های سخت افزاری شامل: بازسازی و به سازی ساختمان ها، زیرساخت های حیاتی، حساس و مهم، بافت های فرسوده؛ ایجاد روش های اتکابی و جبرانی خسارت (یمنه)                                                                       |
| آمادگی             | مجموعه فعالیت های نرم افزاری شامل: برنامه ریزی، تدوین شیوه نامه ها و دستورالعمل ها، آموزش و فرهنگ سازی، جمع آوری اطلاعات، ایجاد بانک های اطلاعاتی، تامین سایر منابع و امکانات نرم افزاری، هماهنگی های ستادی دستگاهی و بین دستگاهی |
| مقابله             | مجموعه فعالیت های عملیاتی شامل: صدور فرامین، ابلاغ مأموریت ها، انجام اقدامات و ارائه اقدامات و خدمات اضطراری حین بحران؛ بر اساس مقررات و دستورالعمل های مربوطه                                                                    |
| بازسازی و بازتوانی | مجموعه فعالیت های احیاء و عادی سازی شامل: کلیه اقدامات لازم پس از وقوع بحران برای بازگرداندن منطقه بحران زده به وضعیت عادی، بر اساس مقررات و دستورالعمل های مربوطه                                                                |

شکل ۱- مراحل مدیریت بحران

## ۲-۳- دیدگاه های نظری مدیریت بحران

-دیدگاه سنتی یا بحران محور: در این دیدگاه که نگاه تقدیرگرایانه به مقوله بروز سوانح دارد دولت ها و مردم بروز سوانح را امری عادی و مشیتی تلقی می کنند و تسلیم شرایط احتمالی بروز حوادث می شوند. در واقع چنین جوامعی منتظر بروز سوانح می مانند و در صورت بروز تلاش می نمایند تا نسبت به مقابله با آن اقدام نمایند. لذا این دیدگاه با تاکید بر چارچوب های پذیرفته شده در مدیریت بحران به مجموعه اقدامات پس از وقوع سوانح بسنده می نماید.

-دیدگاه مدرن یا پیشگیرانه: این دیدگاه با پذیرش وقوع سوانح و حوادث تلاش می کند تا با بسیج امکانات و تجهیزات و آماده نمودن جامعه با حوادث احتمالی مقابله نماید. در این چارچوب نظری «زندگی با حوادث» و برنامه ریزی برای مقابله با آن به عنوان یک اصل پذیرفته شده تلقی می گردد. لذا تلاش دولت، برنامه ریزان و مدیران سوانح انجام فعالیت های پیش اندیشیده برای مقابله با حوادث احتمالی است. این دیدگاه ریسک مدار بوده و سعی دارد خطرات سوانح و حوادث غیر مترقبه را در محیط های زندگی افراد جامعه کاهش دهد و در واقع معطوف به برنامه ریزی پیش از بحران می باشد. این در حالی است که مجموعه فعالیت های حین و بعد از وقوع حوادث احتمالی را نیز مد نظر قرار می دهد.

در چارچوب دیدگاه های فوق برای دستیابی به یک سیستم جامع مدیریت بحران باید به دقت چرخه عناصر مدیریت بحران را شناسایی نمود. سپس برای مراحل مختلف این چرخه، برنامه ریزی و سیاستگذاری نمود. بدین ترتیب مراحل زمانی قبل از بحران، شروع بحران، حین بحران و پس از بحران باید مدنظر باشد. لذا در فرآیند برنامه ریزی مدیریت بحران باید سهم اصلی بر عهده اقدامات دوره پیشگیری قرار گیرد. شکل زیر دیدگاه های مختلف نظری و فلسفی در برنامه ریزی و سازماندهی مدیریت بحران را نشان می دهد.



شکل ۲- دیدگاه‌های نظری و فلسفی برنامه ریزی و سازماندهی در مدیریت بحران

## ۴-۲- بحران‌های پس از زلزله در ایران

پدیده زمین لرزه یک واقعه طبیعی است که از نظر متخصصان به هیچ وجه بخودی خود خطرناک نیست، بلکه این دست سازه‌های بشری هستند که به هنگام وقوع زلزله به دلیل سست بودن و عدم انطباق آنها با دستورالعمل‌های ساخت و ساز، باعث ایجاد خسارت‌های مالی و جانی می‌گردند. زلزله با آسیب رساندن وسیع به زیرساخت‌های شهری، جامعه را با مشکلات عمده‌ای مواجه می‌نماید که به دلیل تفاوت‌های ساختاری جوامع مختلف، در کشورهای گوناگون تعاریف مختلف دارند. به طور کلی ۲۳ بحران پس از زلزله با توجه ویژگی‌های کشور ایران طبقه‌بندی و تعریف شده است. برخی از این بحران‌ها اجتماعی است و باید از طریق جامعه‌شناسان مورد بررسی قرار گیرد. کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌هایی به شده ۵/۵ ریشتری دارد. همچنین، ایران یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد افراد کشته شده بر اثر این سانحه دارد (UNDP، ۲۰۰۴: ۳۵).

## ۳- پیشینه تحقیق

در ارتباط با بحران زلزله و مدیریت آن، پژوهش‌هایی صورت گرفته است که نتیجه برخی از آنان به شرح زیر می‌باشد:

- فرجی و قرخلو (۱۳۸۹) در مقاله‌ای تحت عنوان زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل) به این نتیجه رسیدند که معیارها و عواملی که منجر به آسیب پذیری شهرها می‌شوند تا حد زیادی در کلیه شهرها مشترک می‌باشند. از نظر آنان کیفیت دسترسی واحد‌های مسکونی به فضاهای باز همواره در میزان آسیب پذیری در مرحله وقوع بحران تاثیرگذار است و باید دو برنامه کلان در مورد پیشگیری از بحران و کاهش اثرات بحران پیش بینی شود.
- قنبری و زلفی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی آسیب پذیری شهری در برابر زلزله با تاکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر، با بررسی میزان آسیب پذیری کالبدی شهر کاشمر به این نتیجه دست یافتند که تراکم بالا سبب افزایش میزان آسیب پذیری در نواحی شهری می‌شود.
- خمر و رخشانی (۱۳۹۴) در مقاله‌ای تحت عنوان نقش راهکارهای مدیریت بحران در جهت کاهش خسارات ناشی از زلزله (مطالعه موردی: شهر خرم‌آباد) دریافتند که مدیریت صحیح و برنامه ریزی در مراحل مختلف بحران، باعث کاهش آثار و صدمات ناشی از بلایای طبیعی (زلزله) در شهر خرم‌آباد می‌شود.

#### ۴- منطقه مورد مطالعه

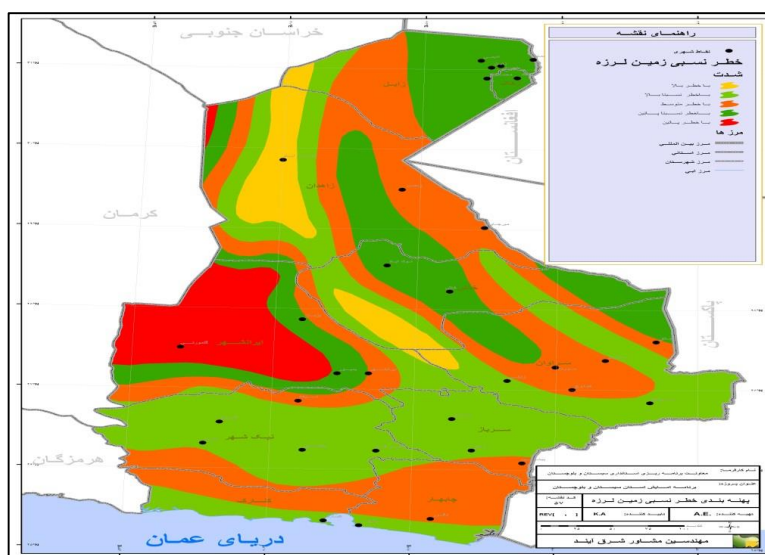
استان سیستان و بلوچستان در شرق جنوب شرقی ایران واقع است. این استان با حدود ۱۸۷،۵۰۲ کیلومتر مربع وسعت، پهناورترین استان ایران می‌باشد و بیش از ۱۱ درصد وسعت این کشور را دربرمی‌گیرد. سیستان شامل زابل و شهرهای اطرافش است و بلوچستان دربرگیرنده بقیه شهرها از زاهدان تا چابهار می‌باشد. سیستان و بلوچستان ۱۱۰۰ کیلومتر مرز با کشورهای پاکستان و افغانستان و ۳۰۰ کیلومتر مرز آبی با دریای عمان دارد.



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان و شهرستان های آن

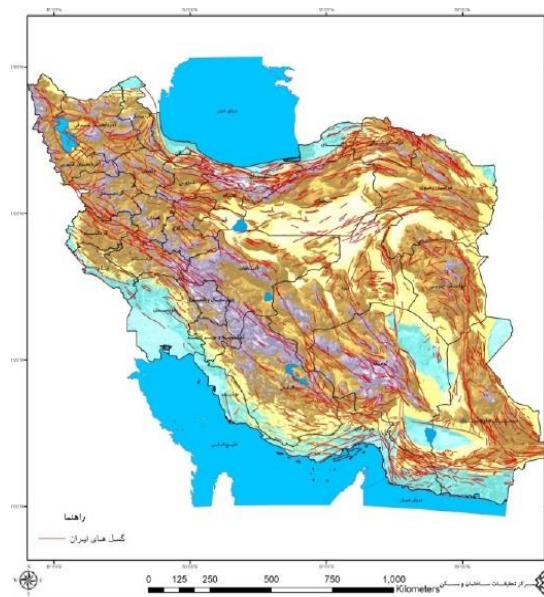
#### ۵- بحث و یافته های تحقیق

استان سیستان و بلوچستان سابقه زلزله هایی با ریشتر بالا را دارد به همین دلیل ضروری است اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تلفات این حادثه صورت گیرد. خطر نسبی زمین لرزه در نقاط مختلف استان سیستان و بلوچستان در نقشه زیر مشخص شده است؛



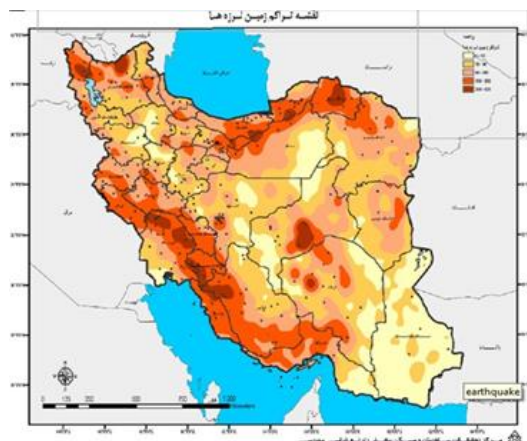
شکل ۴- پهنه بندی خطر زلزله در استان سیستان و بلوچستان

رنگ زرد بیشترین خطر و رنگ قرمز کمترین خطر زلزله را در استان نشان می دهد. مشاهده می شود که مرکز استان هم در خطر می باشد. نقاط زیادی از استان روی خط گسل می باشد. در نقشه زیر خطوط گسل را در کشور نشان می دهد که مشاهده می شود این استان نیز رو خط گسل می باشد.

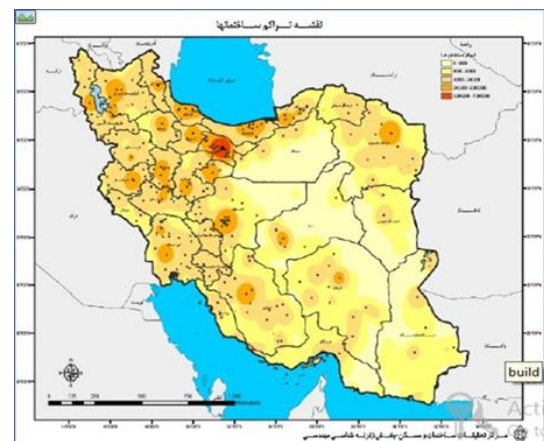


شکل ۵- خطوط گسل ایران

مهمترین عواملی که در هنگام بروز زلزله منجر به بروز بحران می شود، آسیب پذیری کالبدی ابنیه می باشد (Gharakhlou, ۲۰۰۹: ۲۵). هر چه تراکم ساختمانی بیشتر باشد این آسیب بیشتر می شود. استان سیستان و بلوچستان دارای تراکم پایین ساختمانی نسبت به کل کشور می باشد اما به دلیل اینکه بافت فرسوده فراوانی در آن وجود دارد زلزله های با ریشتر کم هم منجر به خسارت می شود. این استان از کم تراکم ترین استان های کشور است که می توان با بهسازی و نوسازی بافت های فرسوده، اقدامات لازم را برای کاهش بحران حین و پس از زلزله انجام داد. تراکم زلزله در این استان نیز نسبت به دیگر استان های کشور کمتر می باشد اما به دلیل وجود بافت فرسوده فراوان در استان، زلزله های با ریشتر پایین هم منجر به خسارت جانی و مالی می شود.



شکل ۷- نقشه تراکم زلزله های ایران

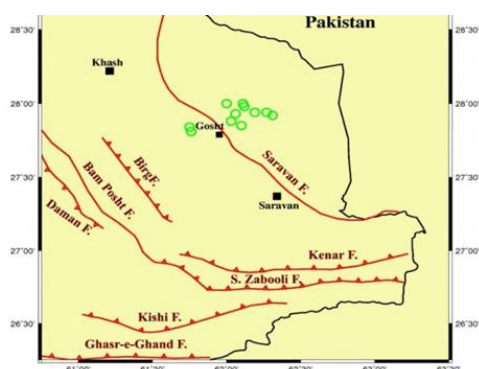


شکل ۶- نقشه تراکم ساختمانی در ایران

با توجه به تراکم کمتر زلزله در این استان، مدیریت بحران باید با سرعت بیشتری نسبت به دیگر استان ها انجام شود. این استان طی سال های گذشته زلزله های متعددی را تجربه کرده است که در این بخش به بررسی آخرین زمین لرزه شدید در استان سیستان و بلوچستان می پردازیم؛

در ساعت ۱۵:۱۴:۱۸ (به وقت محلی) سه شنبه ۲۷ فروردین ماه ۱۳۹۲، زمین لرزه ای به بزرگای ۷٫۸ در مقیاس بزرگای گشتاوری (Mw) در ۶۴ کیلومتری شمال باختری سراوان و ۱۲ کیلومتری شهر گشت استان سیستان و بلوچستان به وقوع

پیوست. رومرکز این رویداد براساس لرزه‌نگاشت‌های ثبت‌شده در شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در مختصات  $27,88$  درجه عرض شمالی و  $62,03$  درجه طول خاوری قرار داشته است و عمق کانونی این زمین‌لرزه توسط مراکز مختلف لرزه‌نگاری بین  $50$  تا  $95$  کیلومتر تعیین شده است. رومرکز این زمین‌لرزه در پهنه گسلی با روند شمال باختری-جنوب خاوری، در ناحیه فروانش خاوری-باختری شمال مکران، اتفاق افتاد. با این وجود، این پهنه گسلی دربرگیرنده روندهای ساختاری ثانویه‌ای با جهت‌گیری خاوری-باختری و شمالی-جنوبی نیز می‌باشد. به طور کلی، این طور به نظر می‌آید که شکل‌گیری سامانه گسلی شمال باختری-جنوب خاوری سراوان به صورت برایندی از فعالیت گسل‌های شمالی-جنوبی عمدتاً راستا لغز-راستگرد خاور ایران و گسل‌های خاوری-باختری عمدتاً معکوس ناحیه فروانش مکران باشد. با توجه به مکان رومرکز زمین‌لرزه، این رویداد لرزه‌ای احتمالاً در زیر سامانه گسلی سراوان رخ داده است. این گسل، گسلی بنیادین، فعال و بزرگ (به طول تقریبی  $250$  کیلومتر) با راستای شمال باختری - جنوب خاوری در جنوب خاوری ایران است. بر پایه ساز و کار نرمال گسلش ارایه شده که در حل‌های کانونی با راستای خاور شمال خاوری-باختر جنوب باختری آمده است و نیز عمق این رویداد لرزه‌ای، این زمین‌لرزه می‌تواند به سبب دگرشکلی کششی شکننده متمرکز در ناحیه Slab از صفحه در حال فروانش پهنه فروانشی مکران رخ داده باشد. تا یک روز پس از رخداد این زلزله، ۱۱ پس‌لرزه با بزرگای بین ۴ تا ۵٫۷ در منطقه رخ داد. این زمین‌لرزه در ناحیه‌ای تقریباً خالی از جمعیت اتفاق افتاد و به دلیل عمق کانونی زیاد و تراکم کم جمعیت در منطقه، در اثر این زمین‌لرزه در ایران ۱ نفر کشته (در روستای قادرآباد شهرستان خاش) و در کشور پاکستان ۴۰ نفر کشته و جمعاً بیش از ۱۸۰ نفر مجروح شدند. این زمین‌لرزه موجب تخریب صدها منزل مسکونی در پاکستان شد و تکان شدید حاصل از آن در ساختمان‌های بلند دبی، دوحه، منامه و حتی در کویت احساس شد.



شکل ۹- پس‌لرزه‌های زمین لرزه



شکل ۸- مکان وقوع زلزله

با توجه به عمق زیاد این زمین لرزه، تلفات زیادی را شاهد نبودیم اما اگر در در عمق نزدیکتری به سطح زمین این اتفاق رخ می‌داد شاهد تلفات بسیاری می‌بودیم. تلفات این زمین لرزه اغلب مالی بود و ساختمان‌های فرسوده زیادی تخریب شد.

## ۶- نتیجه گیری

امروزه یکی از مهمترین دغدغه‌های مسئولان شهرها کاهش آثار زلزله بین ساکنان شهر و محیط‌های شهری، چه قبل و چه بعد از وقوع آن است. وضعیت کالبدی بهینه ساختمان‌های شهرها، کم بودن تراکم ساختمانی و تراکم جمعیتی می‌تواند در میزان آسیب پذیری شهرهای استان موثر باشد و به کاهش میزان آسیب پذیری منجر شود. همچنین دسترسی مناسب به شبکه معابر و خدمات امداد و نجات در کاهش آسیب‌های ناشی از وقوع زلزله مخصوصاً بعد از وقوع این بلایای طبیعی، نقش مناسبی می‌تواند ایفا کند. استان سیستان و بلوچستان گسل‌های زیادی در خود دارد و در صورت بروز زلزله تلفات مالی و جانی فراوانی به بار می‌آورد و مهمترین دلیل آن فرسودگی اغلب بافت شهرهای این استان است. برنامه ریزی شهری به عنوان عاملی که نقش بسیار موثری در ضایعات زلزله دارد، مطرح است. در میان سطوح گوناگون برنامه ریزی کالبدی کارآمدترین روش برای



کاهش میزان آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله، سطح میانی یا همان شهرسازی است و مفاهیم موجود در شهرسازی مانند ساختار شهری، تراکم های شهری، تاسیسات و زیرساخت های شهری، فرم شهری، کاربری اراضی شهری، شبکه ارتباطی و... نقش مهمی در میزان آسیب پذیری شهر در برابر زلزله دارند. پیچیدگی های ساختار اجتماعی و کالبدی در شهرها نیازمند مدیریت بحران حساب شده ای است. ساختمان های این استان با توجه به اینکه از نظر بافت، اغلب فرسوده می باشند، در صورت وقوع زلزله شدید خسارات جانی و مالی فراوانی به بار می آید. لذا ضروری است برای کاهش تلفات، راهکارهایی پیش بینی شود و در شهرهایی که روی گسل قرار دارند ساخت و ساز به صورت اصولی شکل گیرد.

در این بخش راهکارهایی برای کاهش خسارات مالی و جانی بحران زلزله در استان سیستان و بلوچستان پیشنهاد می شود:

- تهیه نقشه ریزپهنه بندی برای نواحی مختلف شهرهای استان و بافت آن
- ارزیابی آسیب پذیری و آسیب رسانی تاسیسات زیربنایی موجود در بافت های شهری
- استحکام بخشی و تقویت مراکز و کاربری های اصلی بافت های تاریخی، همچون مدارس، مساجد و بیمارستان ها، در فاصله زمانی مشخص و مجهز کردن آنها به وسایل و امکانات ایمنی و پناهگاه های زیر زمینی در صورت لزوم.
- اصلاح نظام ارتباطات و تقویت دسترسی در شهرها و روستاهای استان

## مراجع

- ۱- خمر غلامعلی، رخشانی امین الله (۱۳۹۴)، نقش راهکارهای مدیریت بحران در جهت کاهش خسارات ناشی از زلزله (مطالعه موردی: شهر خرم آباد)، نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، زمستان ۱۳۹۴، صص ۱۴۷-۱۶۰.
- ۲- رهنمایی، محمدتقی (۱۳۶۷)، روند مطالعات شهری و جایگاه جغرافیای شهری در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سوم، شماره ۳، زمستان ۱۳۶۷.
- ۳- رودینی، عزت الله (۱۳۸۳)، فرایند مدیریت برای توسعه ایمنی و آمادگی در مقابل سوانح، مجموعه مقالات اولین همایش علمی-تحقیقی مدیریت امداد و نجات، ناشر موسسه عالی علمی-کاربردی هلال ایران، بهار ۱۳۸۳.
- ۴- شیعه، اسماعیل (۱۳۸۲)، لزوم تحول مدیریت شهری در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، سال دوم، شماره پیاپی ۴، ناشر دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۵- عنبری، موسی (۱۳۸۳)، ارزیابی رویکردهای نظری در مدیریت امداد فاجعه در ایران، مجموعه مقالات اولین همایش علمی-تحقیقی مدیریت امداد و نجات، ناشر موسسه عالی علمی-کاربردی هلال ایران.
- ۶- فرجی امین، قرحلو مهدی (۱۳۸۹)، زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل)، فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۵، تابستان ۱۳۸۹.
- ۷- قنبری ابوالفضل، زلفی علی (۱۳۹۳)، ارزیابی آسیب پذیری شهری در برابر زلزله با تاکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، سال اول، شماره پیاپی ۴، زمستان ۱۳۹۳.
- ۸- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش زلزله شناسی مهندسی.
- ۹- مهندسین مشاور شرق آیند.
- ۱۰- ناطق الهی فریرز، استوار ایزدخواه یاسمین (۱۳۸۳)، برنامه کاهش اثرات و ساختار مدیریت بحران زمین لرزه در مراکز بهداشتی و درمانی، مجموعه مقالات اولین همایش علمی-تحقیقی مدیریت امداد و نجات، ناشر موسسه عالی علمی-کاربردی هلال ایران.

11- Gharakhlou, M, (2009), crisis risk in urban slum, CAG, ETAVA, Canada, 25-31.

12- UNDP, (2004), Reducing Disasters Risk: A Challenge for Development, UNDP.

## بررسی رفتار چرخه‌ای قاب مهاربندی کمانش‌تاب با پارامتر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی

احسان دهقانی<sup>۱</sup>، نرگس بابایی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، دانشگاه قم

(margesbabaei31@yahoo.com)

### چکیده

به دلیل این‌که هسته مهاربند کمانش‌تاب هم در کشش و هم در فشار تسلیم می‌شود، این مهاربندها قابلیت جذب انرژی و شکل‌پذیری زیادی دارند که برای مقابله با زلزله مناسب است. یکی از اهداف مهم استانداردهای لرزه‌ای تأمین شکل‌پذیری مناسب برای سازه است زیرا سازه در صورت شکل‌پذیر بودن می‌تواند مقدار قابل‌توجهی از انرژی زلزله را مستهلک نماید. با توجه به اهمیت این موضوع در تحقیق حاضر با استفاده از پارامتر شکل‌پذیری تجمعی برای مهاربندهای کمانش‌تاب به بررسی رفتار چرخه‌ای مهاربندها و قاب‌های مهاربندی کمانش‌تاب (BRBF) پرداخته شده است. برای این منظور سه قاب مهاربندی کمانش‌تاب فولادی در دو مرتبه ارتفاعی متفاوت ۵ و ۱۰ طبقه در نرم‌افزار OpenSees با ۷ رکورد زلزله تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل‌ها منحنی هیستریزیس حاصل برای مهاربندها و طبقات ترسیم و پارامتر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی و انرژی هیستریزیس برای هر کدام از منحنی‌ها در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که توزیع تقاضای شکل‌پذیری تجمعی در طبقات این قاب‌های مهاربندی کمانش‌تاب که مطابق آیین‌نامه AISC360-10 طراحی شده‌اند یکنواخت نیست و حساسیت طبقات آخر بیشتر از سایر طبقات است.

**واژگان کلیدی:** مهاربند کمانش‌تاب، رفتار چرخه‌ای، شکل‌پذیری تجمعی، انرژی هیستریزیس.

### ۱- مقدمه

همان‌طور که پهنه‌بندی نقشه‌های زمین‌لرزه خیزی نیز نشان می‌دهد بیش از ۲/۳ وسعت کشور ایران در محور زمین‌لرزه خیزی پرخطر قرار گرفته که اکثر شهرهای پرجمعیت نیز در راستای آن استقرار یافته‌اند. از این‌رو مصون‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله اهمیت زیادی پیدا می‌کند. برای کاهش ارتعاشات در برابر نیروهای جانبی از سیستم‌های مقابله با نیروهای جانبی استفاده می‌شود. از میان این سیستم‌ها قاب‌های مهاربندی به دلیل این‌که برای مقابله با نیروی لرزه‌ای فولاد کمتری نسبت به قاب خمشی لازم دارند و به راحتی بیشتری می‌توانند گریز طبقات را مهار کنند، در مناطق با لرزه‌خیزی بالا محبوبیت به دست آوردند و در ساختمان‌های با شمار طبقات کم یا متوسط گسترده‌وار به کار گرفته می‌شود. [۳] با این حال، عضو مهاربندی زمانی که در فشار قرار می‌گیرد کمانش می‌کند و رفتار چرخه‌ای پس‌ماند نامتقارنی خواهد داشت. اکنون اگر بتوان به گونه‌ای از کمانش پیش‌گیری و مقاومت یکسانی با حالت کششی فراهم شود، رفتار چرخه‌ای پس‌ماند آن‌ها شکل متقارنی را به خود می‌گیرد و

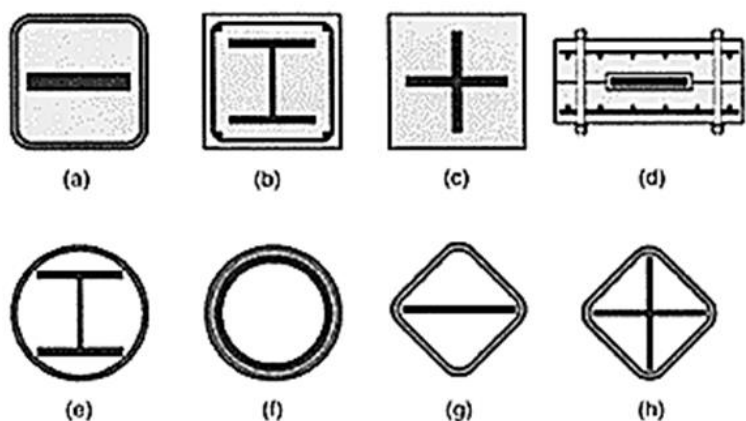


جذب انرژی مهاربند افزایش می‌یابد. این ایده، انگیزه‌ای برای آفریدن گونه‌ای مهاربند با نام مهاربند کمانش‌تاب گردید. مفهوم کمانش‌تاب ساده است: مقاومت عضو مهاربندی در برابر کمانش و ایجاد رفتار یکسان در کشش و فشار.

قاب‌های مهاربندی‌شده کمانش‌تاب پس از زمین‌لرزه kube در سال ۱۹۹۵ در ژاپن مورد استفاده گسترده قرار گرفت و در آمریکا نیز پس از زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴، مورد استقبال گسترده قرار گرفت. [۷] سیر گسترش مهاربندهای کمانش‌تاب در ژاپن به این صورت بود که این مهاربندها در ابتدا به دو شکل گسترش یافت، به این صورت که المان فولادی تسلیم شدنی می‌تواند در بین پانل‌های بتنی پیش‌ساخته قرار گیرد یا به وسیله مقاطع فولادی پر شده با بتن روکش شود. Wakabayashi نخستین تلاش‌ها را در رابطه با این مهاربندها انجام داد. او مهاربندهایی از تسمه‌های فولادی پهن که بین یک جفت از پانل‌های بتنی پیش‌ساخته قرار گرفته بود معرفی کرد (شکل ۱). با گسترش کار Wakabayashi در ژاپن به پیشرفت‌های مختلف برای BRB ها با هسته فولادی محدود شده توسط غلاف فولادی از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ دست یافتند. شکل ۲ بعضی از سطح مقطع‌هایی که مورد تحقیق قرار گرفتند را نشان می‌دهد. [۱۴]



شکل ۱- مهاربند کمانش‌تاب قرار گرفته بین پانل‌های بتنی پیش‌ساخته.



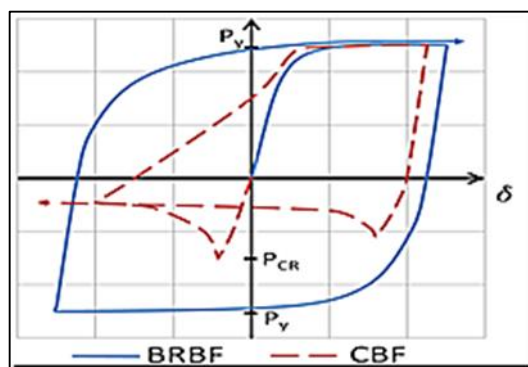
شکل ۲- سطح مقطع مهاربندهای کمانش‌تابی که در ژاپن گسترش یافتند

این تلاش‌ها توسط محققان در ژاپن بیشتر اصلاح شد و به آنچه امروزه Unbounded Brace نامیده می‌شود انجامید. این مهاربند را شرکت فولاد نیپون (Nippon Steel Corporation) در ژاپن می‌سازد. Unbounded Brace شامل یک هسته فولادی که توسط یک لوله فولادی پر شده با بتن روکش شده است می‌باشد. هسته فولادی نیروی محوری را تحمل می‌کند. در حالی که لوله بیرونی از طریق بتن برای هسته حمایت جانبی فراهم می‌کند و مانع کمانش کلی می‌شود. در این مهاربندها یک غشای لغزنده و نجسبان پیرامون هسته که بین هسته و ماده پرکننده قرار می‌گیرد، اجازه نمی‌دهد نیروی محوری به جعبه بیرونی منتقل شود و امکان افزایش حجم هسته را زمانی که در فشار به تسلیم می‌رسد فراهم می‌کند. این توانایی هسته فولادی که می‌تواند آزادانه در بتن محصور شده در فولاد فشرده و کشیده شود منجر به نام Unbounded Brace شد. [۱]

تحقیق بر روی BRB ها اولین بار توسط Yashino و همکاران [۱۵] انجام شد. آن‌ها نمونه‌هایی را که شامل صفحه فولادی مسطح روکش شده با پنل‌های بتن مسلح و بعضی از مواد لغزنده در بین آن‌ها بود مورد آزمایش قرار دادند. Clark [۸] در پژوهش خود ۳ مهاربند با نیروی تسلیم متفاوت ۱۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۲۱۰۰ کیلو نیوتون را با هدف بررسی رفتار مهاربندها تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد آزمایش قرارداد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که این مهاربندها دارای رفتار قابل پیش‌بینی، مقاومت افزون قابل‌توجه و ظرفیت اتلاف انرژی مناسب هستند. Sabelli مطالعات لرزه‌ای گسترده بر روی ساختمان‌ها با قاب‌های مهاربندی شده با مهاربند کمانش‌تاب انجام داد [۱۰] و [۱۱]؛ در سال ۲۰۰۴ Black [۱] در پژوهش خود رفتار نیرو تغییر شکل مهاربند کمانش‌تاب را در مقیاس ماکروسکوپی تعیین کرد و ظرفیت غیر الاستیک این مهاربند را تحت فشارهای شدید زلزله بررسی کرد. نتایج نشان داد که مهاربند Unbonded Brace قابل‌اعتماد و جایگزین عملی برای سیستم‌های قاب معمولی است و مقاومت سازه را در برابر زلزله افزایش می‌دهد. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی مهاربند کمانش‌تاب انجام شده است. با توجه به این‌که تأمین شکل‌پذیری مناسب برای سازه یکی از اهداف مهم استانداردهای لرزه‌ای است و سازه در صورت شکل‌پذیر بودن می‌تواند مقدار قابل‌توجهی از انرژی زلزله را مستهلک نماید در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از پارامتر شکل‌پذیری تجمعی برای مهاربندهای کمانش‌تاب رفتار چرخه‌ای قاب‌های مهاربندی کمانش‌تاب بررسی شود

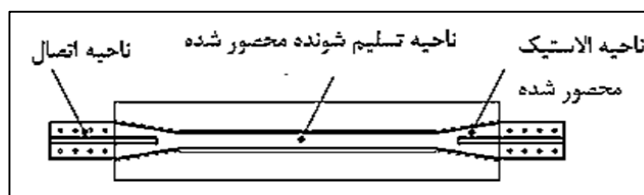
## ۲- مهاربند کمانش‌تاب

قاب مهاربندی کمانش‌تاب (BRBF) نوع خاصی از قاب‌های مهاربندی همگرا هستند که از کمانش مهاربند در آن‌ها با تمهیدات خاصی جلوگیری شده است و شکل‌پذیری و سختی را بهبود می‌بخشند. [۱۲] شکل ۳ مقایسه‌ای بین رفتار یک مهاربند کمانش‌تاب و یک مهاربند معمولی همگرا را در یک سیکل بارگذاری نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقایسه بین رفتار مهاربند کمانش‌تاب و مهاربند معمولی همگرا

BRB ها (شکل ۴) معمولاً از یک هسته فولادی که توسط لوله فولادی پر شده با بتن روکش شده است، تشکیل شده‌اند. پوشش بتنی مانع کمانش هسته فولادی که تسلیم می‌شود در کشش و فشار می‌شود. برای این‌که بتوان انتقال نیروی برشی بین هسته فولادی و ماده پرکننده را به‌طور مؤثری کاهش داد و یا کمینه کرد از موادی مانند لاستیک‌ها، پلی‌اتیلن، گریس سیلیکون و یا نوار ماستیک می‌توان بهره برد که با استفاده از این مواد می‌توان اطمینان حاصل کرد که نیروی محوری کششی و فشاری تنها توسط هسته فولادی تحمل می‌شود. [۴] همان‌طور که در شکل ۲-۲ می‌توان مشاهده کرد هسته فولادی از پنج قسمت تشکیل شده است: یک قسمت مهار شده که در کشش و فشار تسلیم می‌شود، دو قسمت که به‌عنوان بخش انتقال هستند. این قسمت‌ها مهار شده هستند، تسلیم نمی‌شوند و دارای سطح مقطع بزرگ‌تر از قسمت تسلیم شدنی هستند. همچنین شامل دو بخش اتصالات است که دنباله هسته فولادی است ولی از جعبه بیرونی برآمده‌تر می‌گردد و بنابراین مهار نشده است. این قسمت تسلیم نمی‌شود و شرایط اتصال به سازه را فراهم می‌آورد. [۱۳]



شکل ۴- قسمت‌های مختلف هسته مهاربند کمناش تاب

طراحی قاب‌های مهاربندی کمناش‌ناپذیر در بسیاری از جنبه‌ها ساده‌تر از طراحی قاب‌های مهاربندی ویژه همگرا (SCBF) یا سایر قاب‌های مهاربندی طراحی‌شده برای پاسخ لرزه‌ای شکل‌پذیر است. بسیاری از محدودیت‌ها و روش‌های در نظر گرفته‌شده ضروری برای SCBF به دلیل تمایز رفتار در کشش و فشار، هنگامی که مهاربند کمناش تاب شکل‌پذیرتر استفاده می‌شود غیرضروری است. [۳] در حال حاضر طراحی BRBF در ایالات متحده در چهارچوب تعریف‌شده توسط ASCE7-16 (ASCE2016) و AISC341-16 (AISC2016) انجام می‌گیرد. BRB ها محصولات اختصاصی در ایالات متحده هستند و توسط تعدادی از تولیدکنندگان مثل: Core Brace, Nippon Steel, Star Seismic و Blue Scope Buildings ساخته می‌شوند. نمونه BRB ها از ۳ سازنده در شکل ۵ نشان داده شده است. [۹]



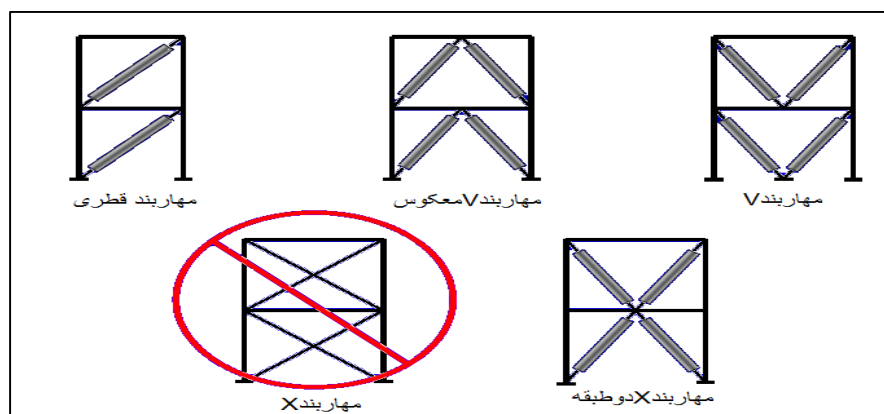
ج) Star Seismic

ب) Nippon Steel

الف) Core Brace

شکل ۵- نمونه BRB ها از سه سازنده [۹]

شکل ۶ پیکربندی‌های رایج برای قاب مهاربندی کمناش تاب را نشان می‌دهد که شامل مهاربندی قطری تک، X در دو طبقه، V و V معکوس است. باید توجه داشت که مهاربندی X در یک طبقه در قاب مهاربندی کمناش تاب میسر نیست.



شکل ۶- پیکربندی‌های رایج برای قاب مهاربندی کمناش تاب [۵]

### ۳- شکل پذیری مهاربند کمانش تاب

شکل پذیری به عبارت ساده قابلیت از یک سازه و یا یک جزء سازه‌ای است که مطابق آن سیستم می‌تواند تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی از خود نشان دهد، بدون اینکه این تغییر شکل‌ها منجر به انهدام سازه و یا جزء سازه‌ای گردد. معمولاً شکل پذیری برای سیستم یک درجه آزادی به صورت رابطه ۱ تعریف می‌گردد:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $\Delta_u$  حداکثر تغییر شکل قبل از گسیختگی و  $\Delta_y$  تغییر شکل نظیر نقطه تسلیم است. شکل پذیری BRBها تحت فشار و کشش تقریباً یکسان است. [۶]

شکل پذیری پلاستیک تجمعی پارامتری است که برای منحنی‌های هیستریزس قابل تعریف است و با رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$CPD = \sum_i \frac{|u_{pi}^{max} - u_{pi}^{min}|}{u_y} \quad (2)$$

که در آن  $u_{pi}^{min}$  و  $u_{pi}^{max}$  بیشترین و کمترین مقدار تغییر مکان پلاستیک در مرحله  $i$  است و  $u_y$  تغییر مکان تسلیم مهاربند است. [۱]

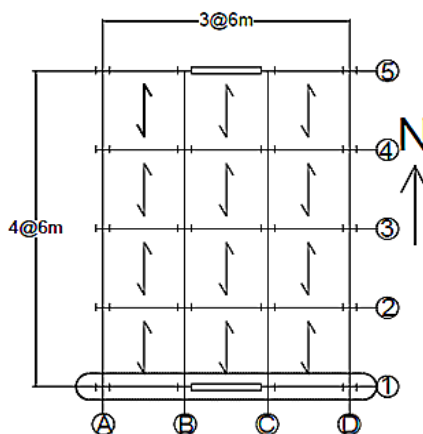
همچنین فاکتور شکل پذیری تجمعی که به صورت انرژی کلی به انرژی الاستیک تعریف می‌شود، می‌تواند با رابطه ۳ تخمین زده شود:

$$\eta = \frac{\sum W_{i+} - W_{i-}}{P_y d_y} \quad (3)$$

که در آن  $P_y$  اولین نیروی تسلیم،  $d_y$  اولین تغییر مکان تسلیم،  $W_i$  انرژی در سیکل  $i$  است. [۲]

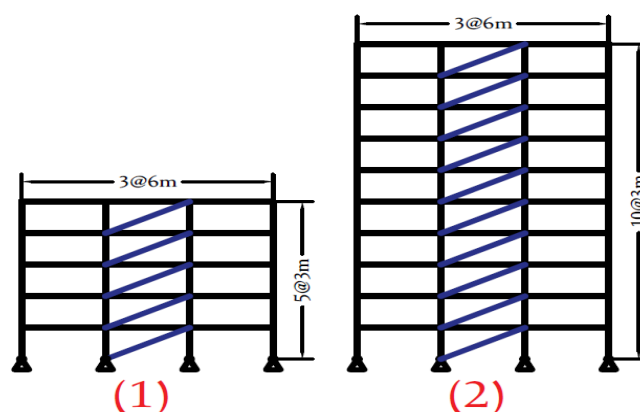
### ۴- مدل سازی و نتایج تحلیل

در این پژوهش ساختمان با پلان شکل ۷ مورد مطالعه قرار گرفته است. در این ساختمان طول دهانه هر قاب ۵ متر، تعداد دهانه در بعد کوتاه ۳ عدد و در بعد بلند ۴ عدد است و ارتفاع طبقات ۳ متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۷- پلان ساختمان مورد بررسی

در پلان شکل ۷ قاب‌های محور ۱ و ۵ قاب‌های مهاربندی با مهاربند کمانش‌تاب در نظر گرفته شده‌اند. قاب‌های موردبررسی در این پژوهش قاب‌های محور ۱ و ۵ هستند که به صورت مهاربندی قطری در دهانه وسط و طبقات مختلف موردبررسی قرار گرفته‌اند. (شکل ۸) ضریب اهمیت ساختمان ۱ در نظر گرفته شده است، سازه در پهنه با خطر نسبی زیاد و خاک منطقه از نوع II است.

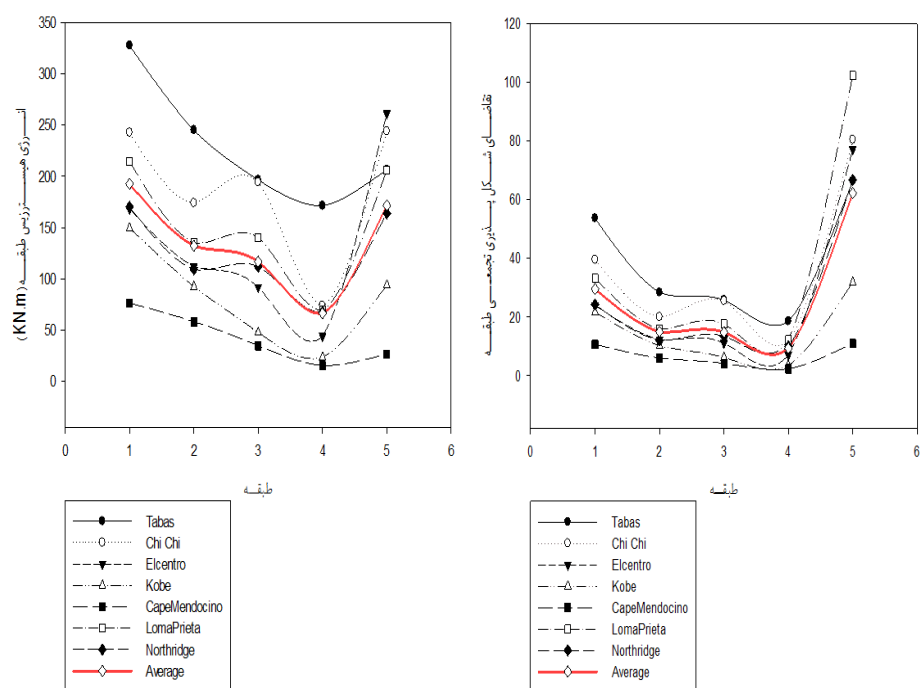


شکل ۸- قاب‌های مهاربندی کمانش‌تاب ۵ و ۱۰ طبقه مورد مطالعه

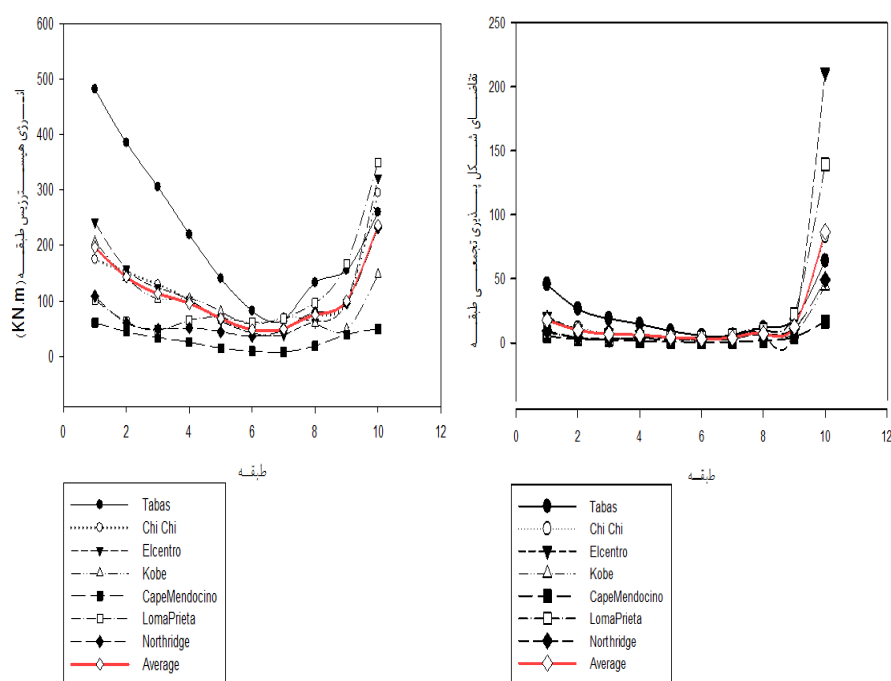
در این تحقیق در ابتدا قاب‌های فولادی دوبعدی مهاربندی شده با مهاربند کمانش‌تاب (شکل ۴-۲) مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (سال ۹۲) و آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) بارگذاری ثقلی و جانبی شده است و بر اساس آیین‌نامه طراحی سازه فولادی AISC360-10 به روش LRFD (ضوابط مربوط به طراحی به روش حالت حدی (LRFD) در مبحث دهم تشابه زیادی با روش حالت حدی AISC360-10 دارد)، در نرم‌افزار ETABS2016 طراحی شد و ابعاد مقاطع تیر و ستون و مهاربندها مشخص شدند. همه مهاربندهای طراحی شده از نوع starBRB هستند.

پس از طراحی قاب‌ها و مشخص شدن مقاطع تیر، ستون و مهاربند، هرکدام از قاب‌ها در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی شدند. پس‌ازاین که مدل‌ها تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با ۷ رکورد زلزله در OpenSees قرار گرفتند، برای هر مهاربند و طبقه‌ای که مهاربند در آن قرار دارد با استفاده نتایج تحلیل منحنی هیستریزیس ترسیم شد و با استفاده از آن انرژی هیستریزیس و تقاضای شکل‌پذیری تجمعی برای هر منحنی در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. شکل‌های ۹ و ۱۰ تقاضای شکل‌پذیری تجمعی و انرژی هیستریزیس را در طبقات مختلف قاب‌ها نشان می‌دهد.

همان‌طور که منحنی‌ها نشان می‌دهد در این دو قاب مهاربندی کمانش‌تاب که در دهانه وسط دارای مهاربند کمانش‌تاب به صورت قطری هستند توزیع تقاضای شکل‌پذیری تجمعی و انرژی هیستریزیس یکنواخت نیست و پارامتر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی نشان می‌دهد که حساسیت طبقات آخر زیاد است و جزییات بندی آن باید به گونه‌ای باشد که در خستگی دچار شکست نشود.



شکل ۹ انرژی هیستریزیس و تقاضای شکل پذیری تجمعی در طبقات مختلف قاب ۵ طبقه



شکل ۱۰ انرژی هیستریزیس و تقاضای شکل پذیری تجمعی در طبقات مختلف قاب ۱۰ طبقه



## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق قاب‌های مهاربندی کمانش‌تاب (BRBF) پس از طراحی مطابق آیین‌نامه AISC360-10 در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی و با ۷ رکورد زلزله تحت تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی قرار گرفت و با استخراج خروجی‌ها نمودار هیستریزیس هرکدام از مهاربندها و طبقات ترسیم شد و با استفاده از آن انرژی هیستریزیس و تقاضای شکل‌پذیری تجمعی برای هر مهاربند و طبقه محاسبه شد.

۱. برای این قاب‌ها که مطابق آیین‌نامه AISC360-10 طراحی شده‌اند، توزیع دو پارامتر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی و انرژی هیستریزیس در طبقات یکنواخت نیست.

۲. مشاهدات نشان می‌دهد که طبقات آخر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی خیلی بیشتر نسبت به طبقات دیگر دارد.

۳. حساسیت طبقه آخر نسبت به سایر طبقات بیشتر است و از این مشاهده می‌توان نتیجه گرفت که برای جلوگیری از شکست در اثر خستگی باید به جزییات بندی این طبقات بیشتر توجه داشت.

## مراجع

1. C.Black, and N. Makris, (2002). **Component Testing, Stability Analysis and Characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces**, in PEER Report, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Berkeley.
2. H.Sugihardjo, and Tavio, (2017). **Cumulative Ductility and Hysteretic Behavior of Small Buckling-Restrained Braces**. Advances in Civil Engineering.
3. M.Bruneau, C. Uang, and R. Sabelli, (2011). **Ductile Design of Steel Structures**. Second ed.
4. M.Bosco, and E.M. Marino, (2012). **Design method and behavior factor for steel frames with buckling restrained braces**. International Association for Earthquake Engineering.
5. M.D.Engelhardt, **Buckling Restrained Braced Frames**. (2012): University of Texas at Austin.
6. M.Jia, L. Guo, and D. Lu, (2014). **Performance Testing and Comparison of Buckling-restrained Braces with H and Crisscross Cross Section Unrestrained Segments**. Journal of Steel Structures.
7. P.Clark, I. Aiken, and K. Kasai, (1999). **Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices**. 69th Annual convention, SEAOC. Sacramento, CA.
8. P.W.Clark, I.D. Aiken, and K. Kasai, (2000). **Large-scale testing of steel unbonded braces for energy dissipation**. Advanced Technology in Structural Engineering.
9. R.A.Kersting, L.A. Fahnestock, and W.A. Lopez, (2015). **Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames**. NIST GCR 15-917-34.
10. R.Sabelli, (2001). **Research on improving the design and analysis of earthquake-resistant steel-braced frames**. EERI.
11. R.Sabelli, S. Mahin, and C. Chang, (2003). **Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling-restrained braces**. *Engineering Structures*, 25(5): p. 655-666.
12. S.Hosseinzadeh, and B. Mohebi, (2016). **Seismic evaluation of all-steel buckling restrained braces using finite element analysis**. *Journal of Constructional Steel Research*, 119: p. 76-84.
13. W.A. Lopez, and R. Sabelli, (2004). **Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames**. Steel TIPS.
14. Y.Bozorgnia, and V. Bertero, (2004). **Earthquake Engineering Handbook, Steel Restrained Braced Frames**, CRC Press LLC.
15. Yashino and Karino, (1971). **Experimental Study on Shear Wall with Braces**. Summaries of Technical Papers of Annuals Meeting.

## مطالعه آزمایشگاهی نحوه شستشوی نفت از سنگ مخزن در سیلاب‌زنی با استفاده از سی تی اسکن چرخشی<sup>۱</sup>

شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده\*

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

asad.malekzadeh@gmail.com

### 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.

واژگان کلیدی: سنگ مخزن، سیلاب‌زنی، سی تی اسکن چرخشی، ازدیاد برداشت،

### ۱. مقدمه

در حال حاضر، حتی با بکار بردن تکنیک‌های پیچیده ازدیاد برداشت نفت مانند سیلاب‌زنی با آب، گاز، مواد شیمیایی و نیز روش‌های حرارتی، حجم قابل توجهی از نفت و گاز بدون استفاده در مخزن به جا می‌ماند. در سال‌های اخیر با پیشرفت علم نانو و ظهور پتانسیل‌های بالقوه‌ی آن، محققان، استفاده از نانوذرات در بهبود برداشت نفت را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که نانوتکنولوژی می‌تواند به جدایش مؤثرتر نفت و آب کمک نماید [۱]. با استفاده از فناوری نانو و به کمک نانوسیالات (ذرات نانو معلق در یک سیال پایه) می‌توان میزان برداشت نفت را نسبت به روش‌های فعلی افزایش داد [۲]. به طور کلی، روش‌های شیمیایی ازدیاد برداشت دارای معایبی هستند (از جمله هزینه بالای تزریق، پتانسیل خوردگی، تلفات مواد تزریق در طی حرکت درون مخزن، کاهش تراوایی به علت گیر افتادن در گلوگاه‌ها و ...) که موجب شده کاربرد محدودی در عملیات میدانی ازدیاد برداشت داشته باشند. نانوذرات علی‌رغم اندازه‌ی بسیار کوچک ۱۰۰-۱ نانومتر دارای نسبت سطح به حجم بسیار بالایی هستند که می‌توانند بدون گیر افتادن در حفره‌ها وارد آن‌ها شوند. از این رو، مقدار ماده‌ی

۱- این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تزریقی مورد نیاز و نیز میزان صدمات ناشی از کاهش تراوایی در طی فرآیندهای سیلابزنی کاهش می‌یابد. ذرات نانو در مقایسه با بقیه مواد استفاده شده در روش‌های شیمیایی ازدیاد برداشت با محیط سازگارتر بوده و به انرژی بالایی برای تغییر شکل دادن و از بین رفتن نیاز دارند که این، باعث استفاده بهتر از نانوذرات در مخازن عمیق و تحت دما و فشار بالا می‌شود. با این کار مدت زمان مؤثر بودن سیال تزریقی در طی فرآیندهای سیلابزنی نیز افزایش خواهد یافت. با افزودن نانوذرات به یک سیال، خواص آن از قبیل چگالی، ویسکوزیته، هدایت حرارتی و گرمای مخصوص را می‌توان به حالت بهینه تنظیم کرد. لذا نانوسیالات را می‌توان به صورت کنترل شده تر نسبت به مواد فعلی به مخزن اضافه کرده و در نتیجه، نفت بیشتری بدست آورد [۳].

میراندا و همکاران (۲۰۱۲) پژوهش‌های زیادی بر روی نانوذرات در جهت ازدیاد برداشت نفت انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بین سطح آب و نفت نیروهای سطحی وجود دارد که این نانو-ذرات باعث ایجاد نوسان امواج مغناطیسی شده و این امواج سبب ایجاد امواج صوتی و تغییر در نیروهای سطحی و موئینگی می‌شود و تا حدودی ازدیاد برداشت نفت را بهبود می‌بخشد [۴].

نورمانا و همکاران (۲۰۱۲) مطالعاتی بر روی نانو ذرات کبالت اکسید آهن ( $\text{Ca}_3\text{O}_4$ ) و کاربرد آن‌ها در ازدیاد برداشت نفت انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که نانوذرات مذکور در مخزن سبب ایجاد امواج مغناطیسی و صوتی می‌شود که این ارتعاشات روی کشش سطحی و نیروهای موئینگی تاثیر می‌گذارد و باعث کاهش این نیروها می‌شود و در نتیجه افزایش جریان سیال نفت را به همراه دارد [۵].

آیت اللهی و همکارانش (۲۰۱۲) به بررسی عملکرد سورفکتانت آنیونی و کاتیونی و تاثیر افزودن نانوذرات سیلیکا به آن‌ها در مخازن شکافدار پرداختند. نشان داده شد که قرار گرفتن نانو ذرات در محلول سورفکتانت به طرز چشمگیری بازیافت نفت را افزایش می‌دهد. بررسی تصاویر میکروسکوپی نشان داد که پس از سیلابزنی با محلول سورفکتانت حاوی نانو ذرات سیلیکا، آب دوستی دیواره حفراتی که با محلول تزریقی شسته می‌شوند از نفت دوست به آب دوست تغییر کرده‌است. بنابراین علاوه بر مکانیزم‌های ذکر شده، حضور نانو ذرات سیلیکا در محلول سورفکتانت، با تغییر ترشوندگی به ازدیاد برداشت کمک می‌کند. همچنین مشاهده شد که رسوخ در حالت تزریق محلول سورفکتانت، نسبت به آب خالص دیرتر اتفاق می‌افتد. در واقع، تعویق زمان رسوخ، نشانه‌ای از نفوذ بیشتر سیال تزریقی از شکاف به درون ماتریس می‌باشد که این امر بدلیل کاهش میزان کشش سطحی و در نتیجه افزایش مقدار عدد موئینگی به مقادیر بسیار بالا می‌باشد، در نتیجه بازیافت نفت نسبت به تزریق آب خالص بیشتر می‌شود. در طی آزمایش‌های انجام گرفته سورفکتانت کاتیونی از آنیونی عملکرد بهتری نشان داده و باعث بازیافت نفت بیشتری می‌شود. این امر نشان دهنده‌ی این است که دودسیل تری متیل آمونیم بروماید ( $\text{C}_{12}\text{TAB}$ ) به عنوان سورفکتانت کاتیونی تاثیر بیشتری بر کاهش کشش سطحی نسبت به سدیم دودسیل سولفات بعنوان یک سورفکتانت آنیونی دارد و در واقع باعث برهم کنش بیشتر بین شبکه شکاف و ماتریس و در نتیجه نفوذ بیشتر سیال تزریقی از شکاف به درون ماتریس و در نهایت بهبود ازدیاد برداشت می‌شود [۶].

اگل و همکارانش (۲۰۱۲) به مطالعه اثر نانو ذرات اکسید فلزی در ازدیاد برداشت نفت پرداختند. او در آزمایش‌های خود اثر ۸ نانو اکسید فلزی (نانو اکسید آلومینیوم، نانو اکسید منیزیم، نانو اکسید آهن، نانو اکسید زیرکونیوم، نانو اکسید نیکل، نانو اکسید قلع، نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیکون) را بر ازدیاد برداشت به صورت جداگانه بررسی کرد و به این نتیجه رسید که استفاده از نانوذرات اکسید آلومینیوم و نانو ذرات اکسید سیلیکون می‌توانند بهترین جواب را در ازدیاد برداشت بدهند. او در آزمایش‌های خود سیلاب زنی آب مقطر و همچنین آب شور را در حضور نانوذرات اکسید آلومینیوم انجام داد و توانست با استفاده از نانوذرات اکسید سیلیکون در حضور اتانول به بیشترین ازدیاد برداشت دست یابد [۷].

موهزید و همکارانش (۲۰۱۳) به بررسی اثر نانوذرات کریستالی در محلول آبی سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات بر روی بازده بازیافت نفت در سیلاب‌زنی نانوسیال دی‌الکتریک پرداختند. در این پژوهش ۴ نمونه کریستال در اندازه‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفت و تاثیر اندازه ذرات بر روی فرآیند امولسیون‌شوندگی خود به خودی که به نوبه‌ی خود تعیین‌کننده راندمان بازیافت نفت بود بررسی شد. آن‌ها مشاهده کردند تفاوت در مقدار نانوذرات جذب شده در سطح مشترک، تغییرات در

کشش سطحی موضعی را بوجود می‌آورد، در نتیجه باعث کاهش تنش ناشی از حرکت سیال می‌شود. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته نشان داده شد که نانوسیال اکسید روی (ZnO) که شامل ذرات بزرگتر بودند ۱۴۵٪ بازیافت نفت را در مقایسه با نانوذرات ZnO با اندازه کوچکتر افزایش می‌دهد. این در حالی بود که ۶۳٪ بازیافت نفت بیشتری توسط نانوسیال  $Al_2O_3$  با ذرات کوچکتر در مقایسه با ذرات بزرگتر صورت گرفت. تشکیل یک لایه ابری شکل در سطح مشترک نفت - آب در طی آزمایش‌ها مشاهده گردید که این نشان‌دهنده فرآیند امولسیون بود. آن‌ها با توجه به وقوع این پدیده به این نتیجه دست یافتند که برای بوجود آمدن امولسیون خود به خودی در سیلاب‌زنی نانوسیال، وجود کشش سطحی فوق‌العاده کم لازم نیست [۸].

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- مواد مورد استفاده

موادی که برای انجام آزمایش‌ها استفاده شدند، به شرح زیرند:

### الف) نفت خام

از نفت خام میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه برای استفاده در این آزمایش‌ها، نمونه‌گیری به عمل آمد. اطلاعات فیزیکی و شیمیایی آن از شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب بدست آمد. در جدول (۱) ویژگی‌های نفت مصرفی ذکر شده است.

جدول (۱): ویژگی‌های نفت مورد استفاده در آزمایش‌ها

| دانسیته نفت (API) | گرانروی نفت (cp) | دمای مخزن ( $^{\circ}F$ ) | فشار مخزن (psi) |
|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| ۲۴/۲              | ۲۱/۳             | ۲۳۴                       | ۶۳۲۴            |

### ب) نانوذرات و پلیمر

در این پژوهش از نانوذرات اکسید آهن با اندازه ۲۰ تا ۳۰ نانومتر و پلیمر زانتان گام برای انجام فرآیند سیلاب‌زنی استفاده شده است.

### ج) آب دریا

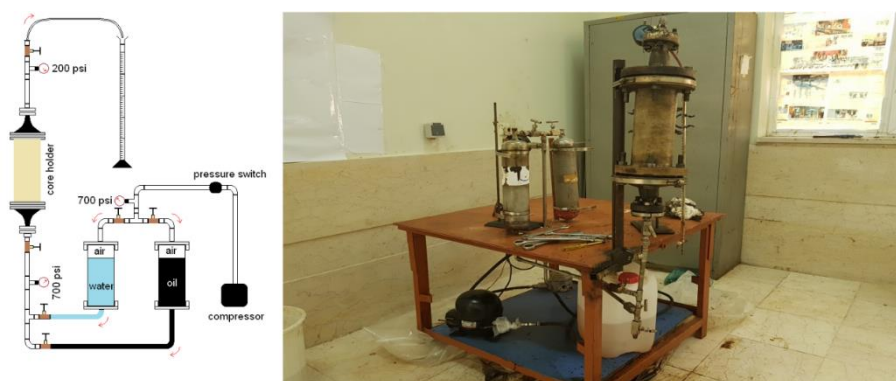
از آب خلیج فارس به عنوان حلال نانوذرات و انجام فرآیند سیلاب‌زنی آبی استفاده شد.

### ۲-۲- انجام آزمایش تزریق آب، نانوذرات و پلیمر

پس از نصب تمام اتصالات و تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش و انباشتن core-holder با دانه‌های سیلیس و اشباع سازی محیط متخلخل با نفت، فشار core-holder را با استفاده از کمپرسور به ۱۵ bar رسانده شد. زمانی که فشار core-holder به ۱۵ bar رسید، فرآیند تزریق آب، نانوذرات و پلیمر شروع شده که برای این کار در ابتدا مخزن آب به فشار ۱۵ bar رسانده شد تا فشار داخل core-holder و مخزن آب یکسان باشد تا جابجایی<sup>۱</sup> در اثر اختلاف فشار اتفاق نیفتد. در این زمان شیر ورودی core-holder باز شده تا ارتباط بین دو مخزن برقرار شود. به منظور نگه داشتن اختلاف فشار مناسب از شیر خروجی core-holder استفاده شد که پس از تنظیم، به مرور زمان آب به آرامی از فضای خالی بین دانه‌های سیلیس حرکت کرده و با جاروب کردن نفت موجود در فضاهای خالی، نفت به آرامی از core-holder خارج می‌شود. حجم نفت خارج شده از core-holder را با استفاده از بورتی که زیر شیر خروجی core-holder قرار گرفته بود، اندازه گیری شد و زمان متناسب با آن

1- Displacing

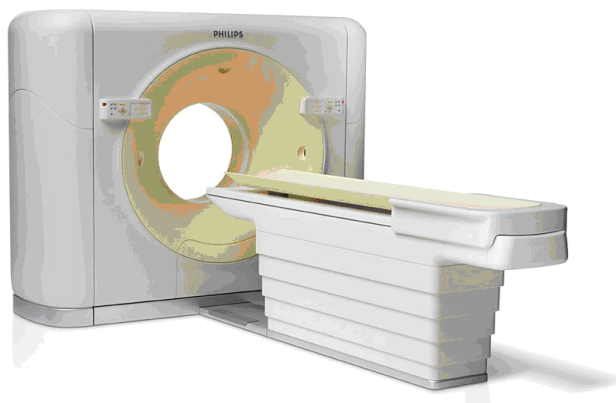
یادداشت گردید. پس از خارج شدن اولین قطرات آب شیر ورودی و ایجاد پدیده رسوخ<sup>۱</sup> آزمایش پایان یافته و شیر خروجی core-holder بسته می‌شود. پس از اتمام آزمایش core-holder باز شده و برای انجام تصویربرداری زیر دستگاه سی تی اسکن چرخشی آماده می‌گردد. این دستگاه قادر است نحوه حرکت نفت و آب و چگونگی شستشوی نفت توسط آب و دیگر اتفاقات رخ داده در این آزمایش را مشخص کند. همچنین پس از پایان یافتن عمل تصویر برداری، از قسمت‌های مختلف core-holder نمونه گیری شد تا آزمایش SEM و ATR بر روی نمونه‌ها انجام شود. شکل (۱) دستگاه برای فرآیند سیلاب‌زنی آبی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): دستگاه برای فرآیند سیلاب‌زنی آبی

## ۲-۳- سی تی اسکن

این شیوه تصویربرداری در حقیقت به معنی تصویرگیری مقطعی و عرضی از شیء می‌باشد. اما دارای اسامی مختلفی است که از آن جمله می‌توان CAT<sup>۲</sup> را نام برد، که به معنی توموگرافی کامپیوتری می‌باشد. اما نام ترجیحی آن که در کتاب‌ها و کاربردهای پزشکی به کار می‌رود، کلمه CT\_SCAN<sup>۳</sup> می‌باشد که کلمه اسکن به معنی تقطیع کردن و واژه توموگرافی از تومو به معنی برش یا قطعه و گرافی به معنی شکل و ترسیم، گرفته شده است و در اصل به معنی تصویرگیری از برش‌های قطع شده از یک عضو به صورت کامپیوتری می‌باشد که یک نمونه از آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): سی تی اسکن ۶۴

<sup>۲</sup>- Breakthrough

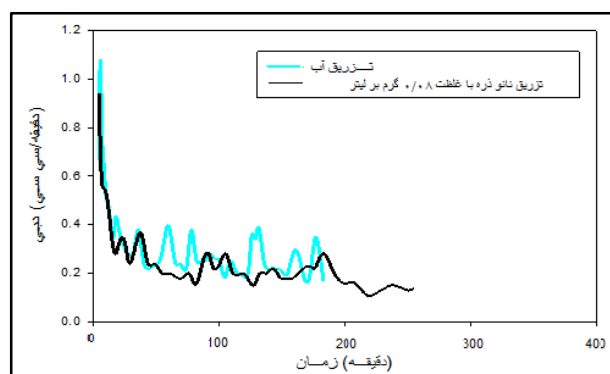
<sup>۴</sup>- Computerized Axial Tomography

<sup>۵</sup>- Computerized Tomography Scan

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر

همانطور که در بخش روش پژوهش اشاره شد، در طول انجام آزمایش میزان حجم نفت تولیدی نسبت به زمان متناظر آن ثبت شد و از روی آن نمودار دبی بر زمان برای تزریق آب و تزریق نانوذره اکسید آهن با غلظت ۰/۰۸ گرم در یک لیتر آب محاسبه شده و در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق آب و نانو اکسید آهن با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر

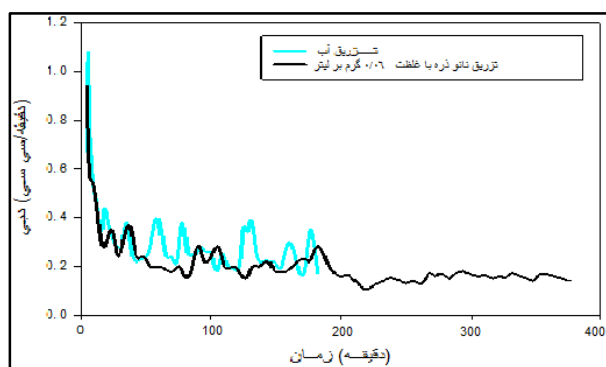
بررسی نمودارها نشان داد، که دبی تولید نفت در ابتدای فرآیند زیاد بوده و به مرور زمان کاهش یافته است، که دلیل آن ناپایا بودن سیستم در ابتدای فرآیند می باشد. ناپایا بودن فرآیند باعث نوسانات بیشتر در نمودار شده و با مرور زمان فرایند پایا شده و نوسانات کمتر می شود. همچنین منحنی تزریق آب دارای نوسانات بیشتری نسبت به منحنی تزریق آب همراه با نانو ذره است، که این موضوع نشان می دهد، اضافه کردن نانو ذره به آب بر تزریق اثر مطلوب گذاشته و باعث کاهش نوسانات در طول فرآیند شده است.

بررسی بیشتر نمودارها نشان داد که فرایند برداشت نفت در تزریق آب مدت زمان کمتری به طول انجامیده که دلیل آن پدیده رسوخ بوده است. پدیده رسوخ زمانی اتفاق می افتد که چاه تزریق به چاه تولید نفت متصل گردد که باعث می شود آب تزریقی از یک مسیر مشخص به سمت چاه تولید راه یافته و مستقیماً از چاه تولید خارج گردد و آب تزریقی دیگر نمی تواند نفت موجود در سایر نقاط را شستشو داده به سمت چاه تولیدی جابجا کند. این در حالی است که عملیات برداشت نفت در حالت تزریق نانو ذره تا مدت زمان طولانی ادامه داشته است. قابل ذکر است تخلخل در هر دو آزمایش ۳۰٪ بوده و برداشت نفت در حالی که تزریق نانو ذره اکسید آهن به میزان تزریق با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر صورت گرفت، ۱۴۰CC (بازیافت نفت ۳۰ درصد) و زمانی که آزمایش بدون نانو ذره انجام شد میزان برداشت نفت ۱۱۲C (درصد بازیافت نفت ۳۰ درصد) بوده است.

### ۳-۲- تزریق نانو ذره اکسید آهن با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر

مانند آزمایش قبل داده های حجم بر حسب زمان ثبت و نمودار دبی بر زمان برای حالت تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر ترسیم شد که در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین تمامی شرایط برای تمامی آزمایش ها از جمله تخلخل و تراوایی یکسان بوده است.



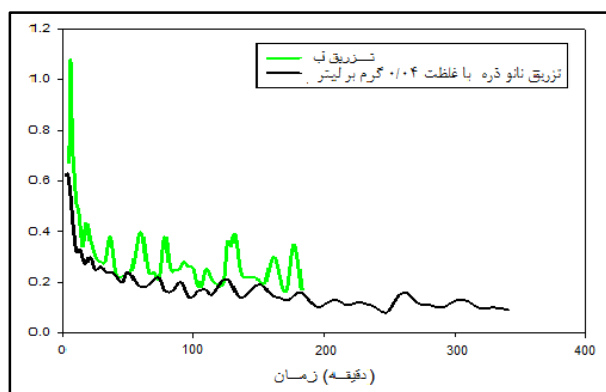


شکل (۴): نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق آب و نانو ذره اکسید آهن با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر

همانطور که انتظار می‌رفت با کاهش غلظت نانو ذره منحنی بدست آمده نسبت به حالت قبل نوسانات کمتری داشته و برداشت نفت در این حالت نیز ۱۹۰ CC (بازیافت نفت ۴۱ درصد) بود که در مقایسه با حالت قبل برداشت نفت بیشتر بوده است. همچنین زمان رسیدن به پدیده رسوخ در این آزمایش علی‌رغم استفاده از نانو ذره کمتر طولانی‌تر بوده و این نشان دهنده این مطلب است، که در غلظت‌های بیشتر لزوماً میزان برداشت نفت و چگونگی شستشوی مخزن بهتر نبوده و باید غلظت بهینه را پیدا کرد.

### ۳-۳- تزریق نانو ذره اکسید آهن با غلظت ۰/۰۴ گرم بر لیتر

نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۴ گرم بر لیتر در شکل (۵) نشان داده شده است تجزیه و تحلیل منحنی‌ها نشان داد که منحنی بدست آمده در این حالت نسبت به دو حالت قبل دارای نوسانات کمتری بوده و منحنی یکنواخت‌تر است و میزان برداشت نفت در این حالت ۱۶۰ CC (بازیافت نفت ۳۵ درصد) بوده و زمان پایان آزمایش و ایجاد پدیده رسوخ ۳۴۰ دقیقه بوده است.

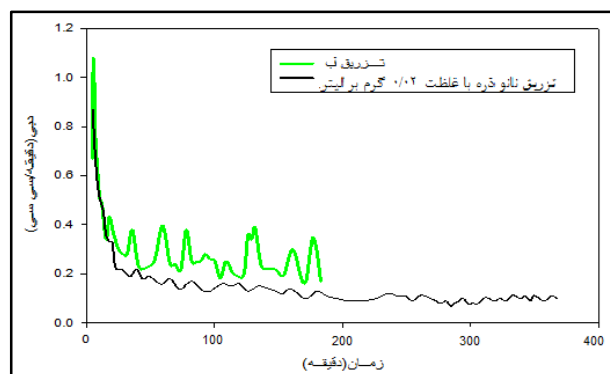


شکل (۵): نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق آب و تزریق ۰/۰۴ گرم بر لیتر

### ۳-۴- تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر

نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر مانند حالت‌های قبل رسم شد که در شکل (۶) نشان داده شده است. بررسی منحنی بدست آمده برای این حالت نشان داد، که این منحنی نسبت به تست تزریق آب و سه تست دیگر که با غلظت‌های ۰/۰۴ و ۰/۰۶ و ۰/۰۸ گرم بر لیتر انجام شد، یکنواخت‌تر بوده و دارای نوسانات کمتری می‌باشد و زمان رسیدن به پدیده رسوخ نسبت به آزمایش‌های دیگر طولانی‌تر بوده است. همچنین

میزان برداشت نفت در این حالت CC ۲۲۰ (بازیافت نفت ۴۷ درصد) بوده که نسبت به مقدار نانوذره تزریقی مقدار قابل توجهی داشته است.

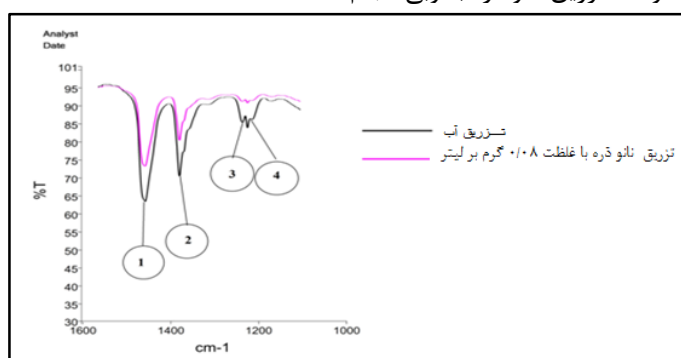


شکل (۶): نمودار دبی بر حسب زمان برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر

تجزیه و تحلیل نمودارها و داده‌های بدست آمده از تست‌های مختلف همانطور که انتظار می‌رفت نشان داد، که تزریق آب به مخازن جهت تولید ثانویه تا حدی می‌تواند مفید باشد و بعد از گذشت مدت زمانی به دلیل ایجاد پدیده رسوخ و همچنین کانال زدن آب، موثر نبوده که استفاده از نانو ذره تا حدودی موثر واقع شده و باعث بهبود بازیافت نفت می‌گردد. همچنین استفاده از نانو ذره در مقیاس کم موثرتر بوده و بسته به چگونگی عملکرد نانو ذره این غلظت انتخاب خواهد شد و استفاده از نانو ذره به مقدار زیاد تولید بیشتر را در پی نداشته و هزینه اضافی را تحمیل خواهد کرد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

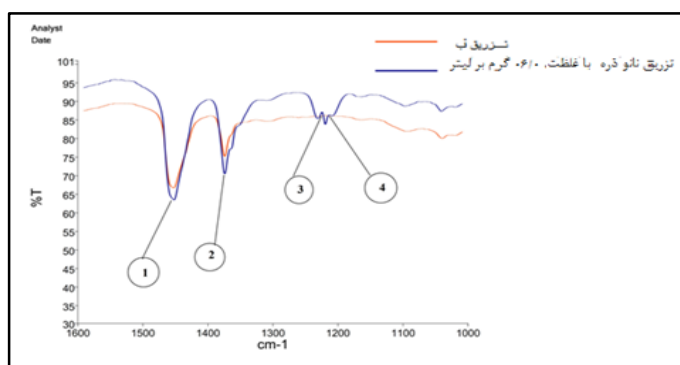
### ۳-۵- بررسی طیف‌های بدست آمده از تست ATR

طیف‌های بدست آمده از ATR برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر در شکل (۷) نشان داده شده است. بررسی طیف‌ها نشان می‌دهد، پیک شماره ۱ و شماره ۲ مربوط به قسمت ترکیبات قطبی نفت بوده که تزریق نانو ذره توانسته میزان این ترکیبات قطبی را کاهش دهد. همچنین پیک شماره ۳ و ۴ نیز مربوط به ترکیبات غیر قطبی نفت بوده که در اثر تزریق نانو ذره به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که در کل می‌توان گفت که شستشوی نفت توسط تزریق نانو ذره بخوبی انجام شده است.



شکل (۷): طیف‌های بدست آمده از تست ATR برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر

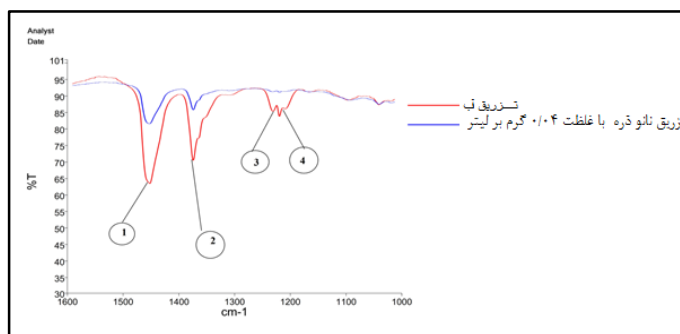
طیف‌های بدست آمده از ATR برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸): طیف‌های بدست آمده از تست ATR برای تزریق آب و تزریق تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر

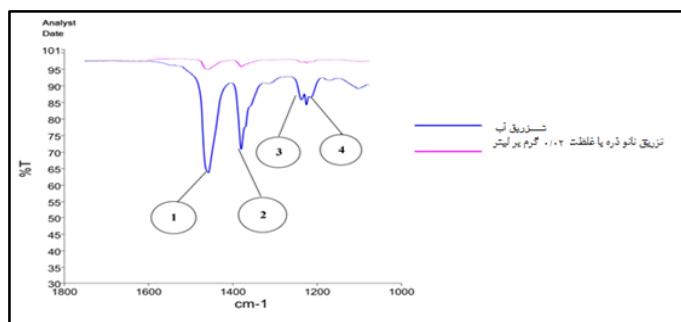
بررسی طیف‌ها نشان می‌دهد، پیک شماره ۱ و شماره ۲ مربوط به قسمت ترکیبات قطبی نفت بوده که تزریق نانو ذره توانسته میزان این ترکیبات قطبی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد که نسبت به غلظت تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر نیز این کاهش به مراتب بیشتر بوده است. همچنین پیک شماره ۳ و ۴ نیز مربوط به ترکیبات غیر قطبی نفت بوده که در اثر تزریق نانو ذره به طور کامل حذف شده و نانو ذره توانسته این ترکیبات را از روی سطح بردارد. در کل می‌توان گفت که شستشوی نفت توسط تزریق نانوذره به میزان قابل توجهی انجام شده است.

طیف‌های بدست آمده از ATR برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۴ گرم بر لیتر در شکل (۹) نشان داده شده است. بررسی طیف‌ها نشان می‌دهد، پیک شماره ۱ و شماره ۲ مربوط به قسمت ترکیبات قطبی نفت بوده که تزریق نانو ذره توانسته میزان این ترکیبات قطبی را کاهش دهد. همچنین پیک شماره ۳ و ۴ نیز مربوط به ترکیبات غیر قطبی نفت بوده که در اثر تزریق نانو ذره به طور کامل حذف شده است و نانوذره توانسته این ترکیبات را از روی سطح بردارد.



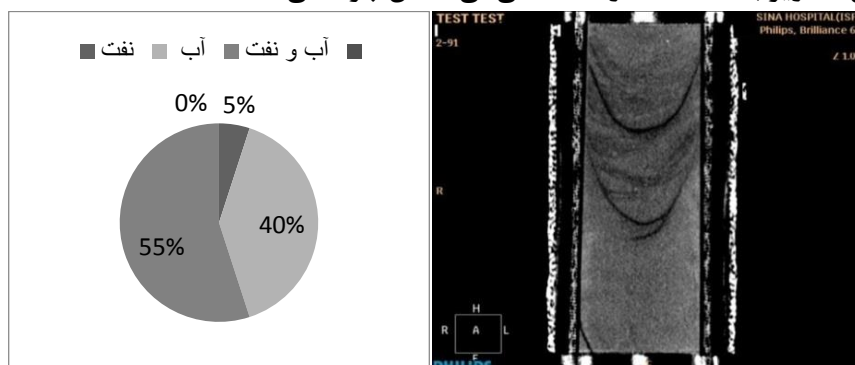
شکل (۹): طیف‌های بدست آمده از تست ATR برای تزریق آب و تزریق تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۴ گرم بر لیتر

مثل حالت‌های قبل طیف‌های بدست آمده برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر در شکل (۱۰) نشان داده شده است که پیک شماره ۱ و شماره ۲ مربوط به قسمت ترکیبات قطبی نفت بوده که تزریق نانوذره توانسته میزان این ترکیبات قطبی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد که نسبت به غلظت‌های ۰/۰۴، ۰/۰۸، ۰/۰۶ گرم بر لیتر نیز این کاهش به مراتب بیشتر بوده است. همچنین پیک شماره ۳ و ۴ نیز مربوط به ترکیبات غیر قطبی نفت بوده که در اثر تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر به طور کامل حذف شده و نانو ذره توانسته این ترکیبات را از روی سطح بردارد.

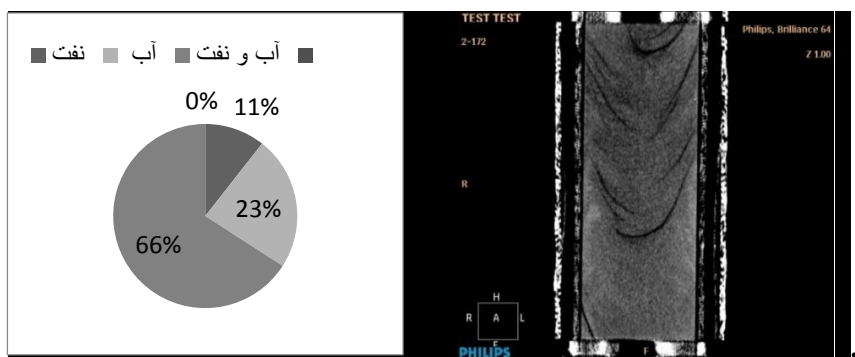


شکل (۱۰): طیف‌های بدست آمده از تست ATR برای تزریق آب و تزریق نانوذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر

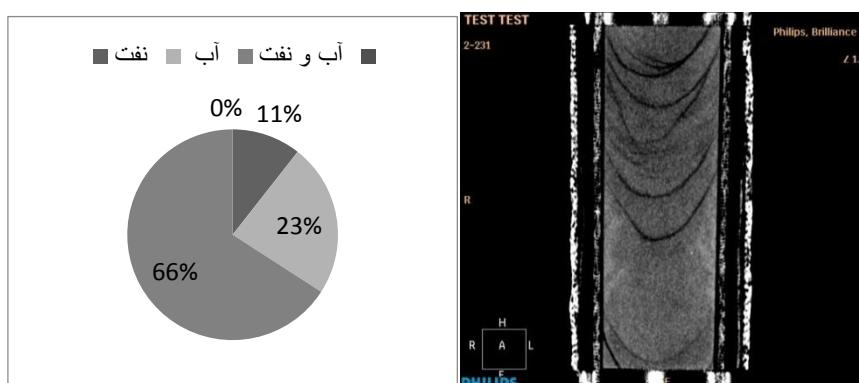
### ۳-۶- بررسی تصاویر بدست آمده از تست سی تی اسکن چرخشی



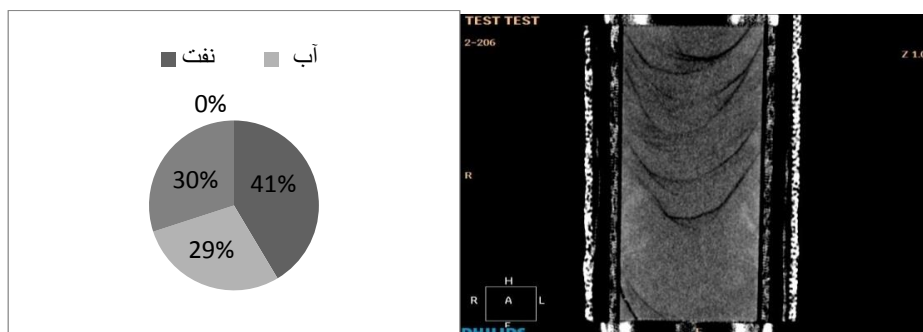
شکل (۱۱): تصاویر بدست آمده از تست CT-SCAN تزریق نانوذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر



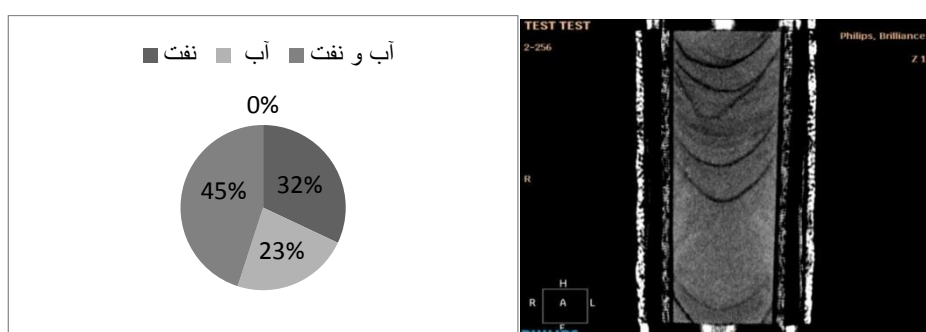
شکل (۱۲): تصاویر بدست آمده از تست CT-SCAN تزریق نانوذره با غلظت ۰/۰۴ گرم بر لیتر



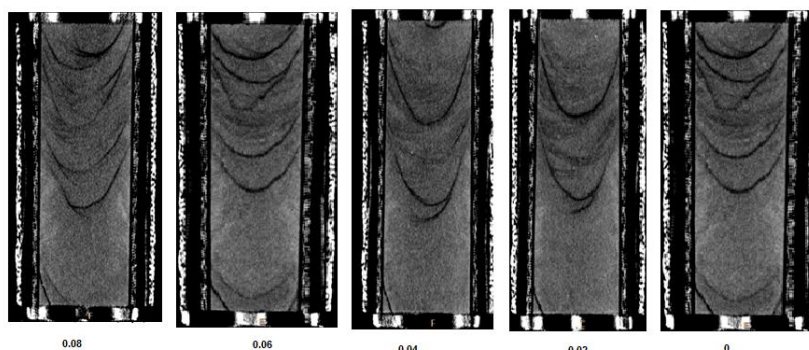
شکل (۱۳): تصاویر بدست آمده از تست CT-SCAN تزریق نانوذره با غلظت ۰/۰۶ گرم بر لیتر



شکل (۱۴): طیف‌های بدست آمده از تست ATR برای تزریق آب و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ گرم بر لیتر



شکل (۱۵): تصاویر های بدست آمده از تست CT-SCAN برای تزریق آب



شکل (۱۶): تصاویر بدست آمده از سی‌تی‌اسکن چرخشی در ۵ غلظت مختلف از نانو ذره

جدول (۲): درصد آب، نفت و مخلوط آب/نفت در هر مقطع

| مقطع                        | درصد نفت | درصد آب | درصد مخلوط آب و نفت |
|-----------------------------|----------|---------|---------------------|
| تزریق آب                    | ۳۲       | ۲۳      | ۴۵                  |
| تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۸ | ۲۹       | ۲۰      | ۵۱                  |
| تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۶ | ۹        | ۳۵      | ۵۶                  |
| تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۴ | ۱۴       | ۳۰      | ۵۶                  |
| تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ | ۵        | ۴۰      | ۵۵                  |

همان طور که از روی شکل‌ها به وضوح دیده می‌شود، در تمام آزمایش‌ها، مناطق پایین مخزن اغلب، رنگ‌های روشن‌تری نسبت به مناطق بالایی به چشم می‌خورد، که این بدین معنی است که پس از اتمام آزمایش، تجمع نفت در مناطق بالایی

مخزن بیشتر و در مناطق پایینی کمتر است. مسلماً در نواحی پایین مخزن، سوسپانسیون تزریقی مدت زمان و سطح تماس بیشتری با ذرات سیلیس داشته است که همین امر عامل روبش بهتر این ذرات در پایین مخزن نسبت به بالای آن می‌باشد. با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود، که میزان درصد هر رنگ در شکل‌های (۱۶) بسیار نزدیک به هم می‌باشد که با دقت در شکل (۱۶) نیز این مطلب به وضوح دیده می‌شود. این امر نشان‌دهنده‌ی روبش یکنواخت محیط متخلخل (در مقاطع مشابه) توسط نانو ذره تزریقی می‌باشد. با دقت در تصاویر مشخص است، که نفت موجود بر ذرات سیلیس واقع در مسیر تزریق به خوبی توسط سیلابزنی با نانوذره مورد شستشو قرار گرفته‌اند، زیرا که ذرات سیلیس در مسیر مستقیم سیال تزریقی نسبت به سایر نواحی مخزن قرار دارند، بنابراین روبش نفت از این مناطق بسیار بهتر صورت می‌گیرد. علاوه بر این در این مناطق سطح تماس سوسپانسیون تزریقی با ذرات سیلیس بیشتر و در نتیجه کیفیت روبش نفت از این مناطق بهتر بوده است. مقایسه درصد رنگ‌های بدست آمده از تست سی تی اسکن نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف رنگ سیاه و خاکستری مربوط به شکل ۵۱ است، که این موضوع بیانگر روبش بیشتر نفت در بقیه آزمایش‌ها است که به دلیل تاثیر بهتر نانو ذره می‌باشد. به عبارتی بهترین حالتی که نفت از سنگ بستر جدا شده و مورد روبش قرار گرفته است مربوط به تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ می‌باشد که درصد رنگ سیاه یعنی نفت باقیمانده در این حالت ۵ درصد و آب و نفت ۵۵ درصد است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری برداشت نفت در حالت تزریق آب و تزریق نانو ذره اکسید آهن نشان داد، که افزودن نانو ذره به آب باعث برداشت بیشتر نفت از مخازن گردید. اندازه‌گیری میزان برداشت نفت در غلظت‌های مختلف نانو ذره نشان داد، استفاده از نانو ذره اکسید آهن با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر میزان برداشت نفت بیشتری در پی خواهد داشت و افزایش غلظت نانو ذره به منزله برداشت بیشتر نفت نخواهد بود.

استفاده از این نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر نسبت به تزریق آب و سه تست دیگر تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸ گرم بر لیتر یکنواخت‌تر و دارای نوسانات کمتری بوده و همچنین مدت زمان به طول انجامیدن این آزمایش نسبت به آزمایش‌های دیگر طولانی‌تر بوده که نشان دهنده این است که زمان رسیدن به پدیده رسوخ در این آزمایش نسبت به آزمایش‌های دیگر طولانی‌تر بوده و تزریق نانو ذره با غلظت ۰/۰۲ می‌تواند یک فرآیند مناسب برای فرایند ازدیاد برداشت در مرحله ثالثیه باشد. استفاده از نانو ذره با غلظت بیشتر فقط هزینه اضافی را در پی خواهد داشت. افزودن نانو ذره اکسید آهن به آب در مقایسه با تزریقی که بدون نانو ذره انجام گرفته است اثر مطلوب تری داشته و باعث بهبود فرآیند سیلاب زنی شده و با جابجا کردن ترکیبات غیر قطبی و قطبی نفت از روی دانه‌های سیلیس (سنگ بستر) باعث شستشوی بیشتر نفت از سطح سنگ بستر شده است.

افزودن نانو ذره اثر قابل توجهی بر روی ترکیبات قطبی و غیرقطبی نفت داشته و این ترکیبات را از روی سنگ بستر شسته که از بین غلظت‌های بکار رفته غلظت ۰/۰۲ نسبت به سایر مقادیر بکاررفته کارایی بیشتری داشته است. بررسی تصاویر بدست آمده از سی تی اسکن در هر ۵ مقطع در تست تزریق آب نشان داد: در بیشتر نقاط به علت اتفاق افتادن پدیده انگشتی آب کارایی لازم را نداشته و نفت زیادی بین دانه‌های سیلیس باقی می‌ماند. مقایسه ترکیب درصد رنگها در دو حالت تزریق آب و تزریق نانو ذره نشان داد، که میزان درصد رنگ سیاه در هر ۵ حالت تزریق نانو ذره بیشتر از حالت تزریق آب بوده و میزان درصد رنگ سفید در حالت تزریق آب کمتر از تزریق نانو ذره است، که نشان دهنده باقی ماندن نفت زیاد در حالت تزریق آب و شستشوی کمتر نفت در این حالت است. مقایسه تصاویر بدست آمده برای تست تزریق آب و تزریق نانو ذره نشان داد، که افزودن نانو ذره اثر مطلوب بر تزریق آب گذاشته و نحوه شستشوی نفت نسبت به تزریق آب بهتر شد.

تصاویر بدست آمده از سی تی اسکن همانطور که انتظار می رفت نحوه حرکت و نحوه شستشوی نفت توسط آب را به خوبی نمایش داده و در صورتی که بتوان از این دانش در صنعت استفاده کرد، نتایج قابل توجهی در تجزیه و تحلیل و پیشرفت فرآیندهای ازدیاد برداشت در مخازن را در پی خواهد داشت

## مراجع

- [1] Yafei. W, Huaimin .X, Weizhao. Y, B. Baojun, Song Xinwang, Zhang, jichao,(2011) *surfactant indused reservoir wettability alteration recent theoretical and experimental advances in enhanced oil recovery*, pet.Sci.8. 436-476.
- [2] P. Flecher, (2010), *How EOR can be Transformed by nano technology*, Oklahoma, USA, SPE 129531, pp. 23-33.
- [3] Kapusta, S., Balzano, L., and Riele, P. t.(2011). *Nanotechnology Applications in Oil and Gas Exploration and Production*, Journal name: Near Surface Geophysics,pp. 25–28.
- [4] Miranda, R., Nguyen, p., and Lake, W. (2012). Characterization of Functionalized Nanoparticle Transport in Flow, through Permeable Media. *Advanced Energy*
- [5] Noorhana, B., Muhammad, K., Nadeem, N., and Noorasikin, M.Y. (2012). Cobalt Ferrite Nanoparticles an Innovative Approach for Enhanced Oil Recovery Application. *Journal of Nano Research*, Vol. 17.
- [6] S. Ayatollahi and M. Zerafat,(2012) *Nanotechnology-Assisted EOR Techniques: New Solutions to Old in Challenges* in SPE Intemational Oil field Nanotechnology Conference, pp. 1-15.
- [7] N.A. Ogolo, O.A. Olafuyi, M.O. Oneykonwu. (2012). *Enhanced Oil Recovery Using Nanoparticles*, Society Of Petroleum Engineers, pp. 8-11.
- [8] H.M. Zaid, N.Yahya, N. Rasyada, A. Latiff, (2013), *The Effect of Nanoparticles Crystallite Size on the Recovery Efficiency in Dielectric Nanofluid Flooding*, *Journal of Nano Research*, Vol. 21, pp. 103-108.



## طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک برای طی مسیر خاص با استفاده از روش پرواز کور

سید محمد سیدمهدی<sup>۱\*</sup>، مجید محمدی مقدم<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

6smsm9@gmail.com

### چکیده

کاهش اندازه و جرم ربات پرنده چهار ملخه باعث افزایش چابکی و توانایی حرکت در مکان های تنگ می گردد. در این مقاله به ایجاد یک ربات پرنده چهار ملخه با جرم ۵۳/۵۸ گرم و ابعاد موتور تا موتور ۹/۱۹ سانتی متر یا به عبارت دیگر به اندازه کف دست، پرداخته شده است. که در نوع خودش جدید بوده و اولین بار می باشد که در ایران مورد تحقیق قرار می گیرد. در مسیر طراحی و ساخت این ربات، از نرم افزارهای متلب، سالیدورکس، آلتیوم دیزاینر و کیل کمک گرفته شده است. و برای بهبود داده های سنسور ها، از فیلتر کالمن استفاده شده است. بازوهای این ربات به وسیله دستگاه پرینتر سه بعدی تولید گردیده شده است. جهت کنترل این ربات، جوی استیک مخصوص طراحی و ساخته شده است. برای کنترل نمودن ربات پرنده چهار ملخه کوچک، از کنترل آبخاری که کنترل کننده اول و دوم آن کنترل کننده PID است، استفاده شده است. ما در این مقاله ساختار های مختلف ربات پرنده چهار ملخه کوچک را بیان می نماییم. در ادامه به طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک را برای طی مسیر خاص با استفاده از روش پرواز کور می پردازیم. از این ربات ارزان قیمت می توان در طیف وسیعی از برنامه های کاربردی رباتیک استفاده نمود.

**واژگان کلیدی:** طراحی و ساخت ربات پرنده چهار ملخه کوچک (کوادرور کورک)، فیلتر کالمن، کنترل کننده آبخاری، طراحی و ساخت جوی استیک

### ۱. مقدمه

در جهان، در دهه ی گذشته، علاقه به ربات های پرنده کوچک، افزایش یافته است. (Mulgaonkar, Cross & Kumar, 2015). ربات های پرنده کوچک، از جمله کوادرور ها می توانند در فضاهای محدود پرواز سریعی به سمت هدف مورد نظر داشته باشند. و به راحتی بر روی سطوح مناسب فرود بیایند. و همچنین از روی سطوح مختلف از جمله دست انسان، پرواز خود را شروع نمایند. این باعث شده است که کوادرورهای کوچک به یک پلت فرم هوایی بسیار جذاب، با پتانسیل بسیار بالایی برای برنامه های تحقیقاتی و تجاری تبدیل گردند.

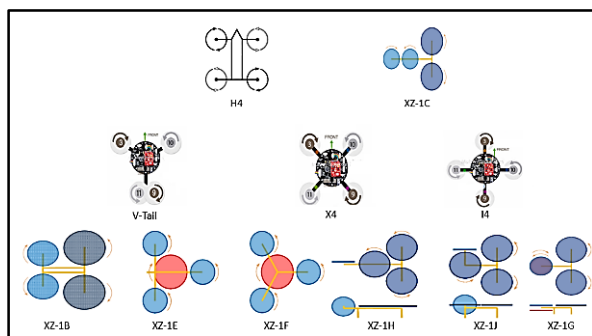
ربات های پرنده تجاری زیادی در محدوده ی ۵۰۰ گرم تا ۵ کیلوگرم، در بازار جهان موجود می باشند (مراجع ۲ و ۵). در حال حاضر پیشرفت های در زمینه های باتری های با توان بالا و وزن پایین (Mulgaonkar, Whitzer, et al., 2014)، موتور های کوچک و سنسور های MEMS صورت گرفته است. کوادرور های کوچک دارای پتانسیل بالایی در زمینه عملیات جستجو و نجات در محیط های محدود می باشند. معمولاً در این محیط های محدود، ربات های پرنده بزرگ تر قابل استفاده نمی باشند. از کوادرور های کوچک نیز می توان در مکان های خطرناک یا غیر قابل دسترس، استفاده نمود. علاوه بر اینها، کاهش اندازه ربات های پرنده چهار ملخه (کوادرور ها)، باعث افزایش قابل توجهی در چابکی آنها می شود. به عبارت دیگر

شتاب زاویه‌ی ربات پرنده چهار ملخه با معکوس طول یا معکوس مربع طول رابطه مستقیم دارد (Kumar and Michael, 2012:1279-1291). هدف اصلی این مقاله طراحی مکانیکی و الکتریکی و کنترل ربات پرنده چهار ملخه (کوادرور) کوچک کم هزینه می باشد.

بر روی ربات های پرنده کوچک، کار های در خارج از کشور عزیزمان جمهوری اسلامی ایران انجام شده است. که می توان نمونه های از آنها را در مراجع (Mulgaonkar, Cross and Kumar, 2015)، (Lehnert & Corke, 2013)، (مرجع ۱)، (Ma, et al., 2013)، (مرجع ۳)، و (مرجع ۴) مشاهده نمود. لازم به ذکر است متاسفانه هنوز در کشور عزیزمان جمهوری اسلامی ایران فعالیتی در زمینه ربات های پرنده چهار ملخه کوچک به ثبت نرسیده است. و از آنجایی که حتی غفلت یک ساله از زمینه ای و یا دانشمندی جامعه ای را برای همیشه در آن زمینه جیره خور علوم کشورهای ثروتمندتر می گرداند. و همچنین نبود منابع فارسی در زمینه ربات های پرنده چهار ملخه کوچک، تصمیم به چاپ این مقاله به زبان فارسی گرفته شد. امید است در حد توان خود توانسته باشیم در این مقاله کمکی به دستداران این تکنولوژی نماییم. ربات پرنده چهار ملخه کوچک (کوادرور کوچک) طراحی و ساخته شده در شکل ۱ نشان داده شده است، که نشان دهنده اندازه آن، به اندازه کف دست، می باشد.

## ۲. معرفی ساختارهای ربات پرنده چهار ملخه کوچک

معمولا ساختار ربات پرنده چهار ملخه کوچک، به صورت یک ساختار چهار گوش می باشد. که رایج ترین شکل آنها به صورت "+" یا "x" می باشد. که در هر گوشه آن یک موتور و ملخ قرار می گیرند. در شکل ۲ چند نمونه از ساختار های موجود، برای ربات پرنده چهار ملخه نشان داده شده است. ما از ساختار "+" برای طراحی و ساخت رباتمان استفاده می نماییم.



شکل ۲ - ساختارهای ربات پرنده چهار ملخه



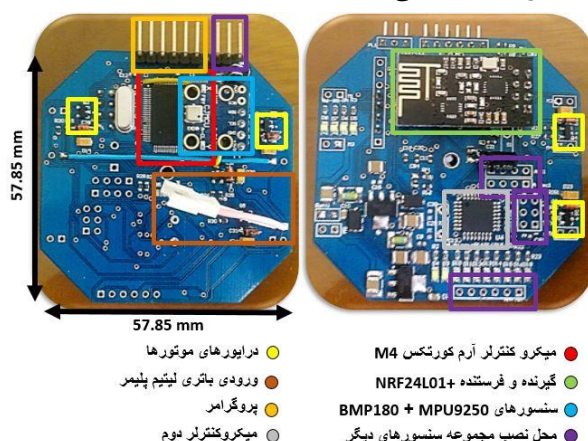
شکل ۱ - ربات پرنده چهار ملخه طراحی و ساخته شده

## ۳. طراحی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

تا به امروز، طراحی و توسعه ربات، یک زمینه بسیار تخصصی محسوب می گردد. که نیاز به مجموعه ای از مهارت های خاص دارد. ما طراحی خود را به صورت ماژولار انجام داده ایم تا افراد استفاده کننده از این ربات، این امکان برایش فراهم گردد تا هر سنسور را با سنسور مورد نظر خود جایگزین نمایند. همچنین این قابلیت وجود دارد که دو مجموعه سنسور، در کنار هم مورد استفاده قرار گیرند. این قابلیت برای آن است که بتوان دقت مجموعه را افزایش داد. و همچنین بتوان از سنسور های ارزان قیمت در این ربات استفاده نمود.

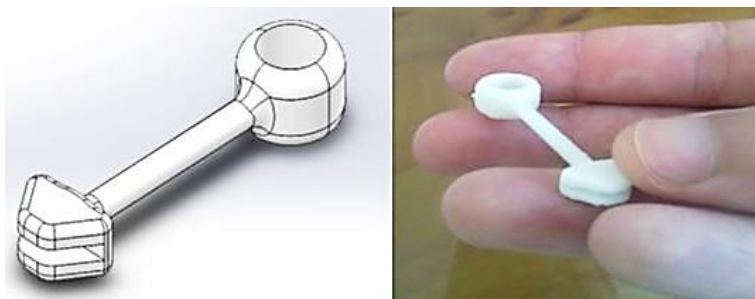
### ۱-۳ طراحی و ساخت اتوپایلوت<sup>۱</sup>

از آنجایی که محدودیت های زیادی در مورد اندازه و وزن کوادروتور کوچک وجود دارد، امکان استفاده از اتوپایلوت های آماده موجود در بازار نمی باشد. در نتیجه تصمیم به طراحی اتوپایلوت گرفته شد. این اتوپایلوت در شکل ۳ نشان داده شده است. که شامل هفت قسمت اصلی می باشد. قسمت اول آن، ریز پردازنده آرم STM32F407، قسمت دوم، فرستنده و گیرنده بدون سیم NRF24L01+، قسمت سوم، فشارسنج BMP180، قسمت چهارم، سنسور MPU9250 (که این سنسور شامل شتاب سنج سه محور،ژیروسکوپ سه محور و قطب نما دیجیتال سه محور می باشد)، قسمت پنجم، چهار عدد درایور موتور های بدون هسته، قسمت ششم، پروگرامر برای برنامه نویسی ریز پردازنده آرم STM32F407 و قسمت هفتم آن مدار مدیریت انرژی برای اجزای مختلف، می باشد.



شکل ۳ - اجزای تشکیل دهنده اتوپایلوت ربات پرنده چهار ملخه کوچک

لازم به ذکر است علت طراحی ماژولار اتوپایلوت، آن است که امکان استفاده از سنسور های دیگر (یا سنسور های مد نظر فرد استفاده کننده)، که به وسیله رابط I2C و یا رابط SPI بتوان با آنها ارتباط برقرار نمود، نیز فراهم گردد. PCB اتوپایلوت طراحی و ساخته شده دو لایه می باشد. و ضخامت آن ۲/۷ میلی متر است. این PCB به عنوان جز اصلی ساختار ربات پرنده چهار ملخه کوچک می باشد. وزن این اتوپایلوت ۱۸/۶ گرم و ابعاد برد نهایی ۵۷/۸۵ میلی متر مربع می باشد. منبع تامین انرژی ربات پرنده چهار ملخه کوچک، باتری لیتیوم پلیمر، با ولتاژ ۳/۷ ولت می باشد. باتری لیتیوم پلیمر نیز به صورت مستقیم به PCB وصل می گردد. موتور ها به وسیله بازوهای طراحی شده به وسیله نرم افزار سالیدورکس<sup>۲</sup> (مرجع ۷) و ساخته شده به وسیله پرینتر سه بعدی (مرجع ۹)، به اتوپایلوت وصل می گردند (شکل ۴).

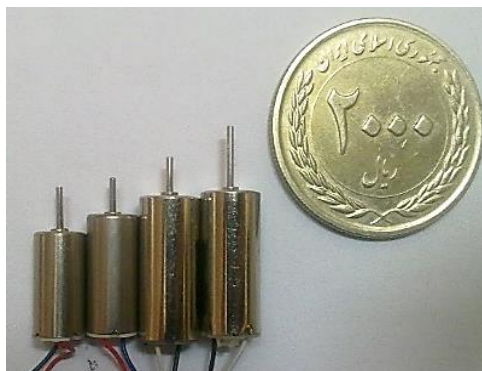


شکل ۴ - بازوهای طراحی شده در نرم افزار سالیدورک (تصویر چپ) و ساخته شده به وسیله پرینتر سه بعدی (تصویر راست)

1 Autopilot  
2 solidworks

### ۳-۲ موتور ها و ملخ ها

موتورهای قابل استفاده در ربات‌های پرنده چهار ملخه کوچک در اکثر موارد شامل موتورهای DC بدون جاروبک<sup>۱</sup> و بدون هسته<sup>۲</sup> می باشند. ما در ساخت ربات پرنده چهار ملخه کوچک، از موتورهای بدون هسته استفاده می نماییم. چند نمونه از آن‌ها در شکل ۵ آورده شده است.

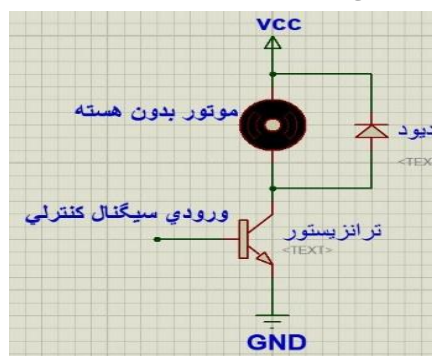


شکل ۵ - چند نمونه از موتور های بدون هسته

مهمترین عنصر موثر در تولید نیروی بالابرنده در یک وسیله پرنده (کوادروتور)، ملخ می باشد. از آنجایی که بدلیل ماهیت ربات پرنده چهار ملخه کوچک، دو موتور همواره در خلاف جهت دو موتور دیگر حرکت می نمایند، نیاز به دو نوع ملخ که یکی در حالت ساعتگرد و دیگری در حالت پاد ساعتگرد نیروی بالا برنده ایجاد می نمایند، می باشد. در زمان طراحی و ساخت ربات پرنده چهار ملخه کوچک با محدودیت، در انتخاب ملخ ها روبرو هستیم. ما در ربات پرنده چهار ملخه کوچک، از ملخ های vitality H36 استفاده می نماییم. از مزایای این ملخ آن است که تراست مناسبی تولید می نماید. و کیفیت ساخت آن بالا می باشد.

### ۳-۳ راه اندازه های موتور های بدون هسته

برای راه اندازی موتور های بدون هسته می توان از ترانزیستور ها استفاده نمود. در نظر داشته باشید که بسته به نوع موتور باید از ترانزیستور مناسب استفاده کرد تا بتواند جریان عبوری از موتور را تحمل نماید. مورد دیگری که در شکل ۶ به چشم می خورد، استفاده از یک دیود به صورت موازی با موتور است. معمولاً هنگام قطع جریان الکتریکی به علت خاصیت خودالقایی موتور، ولتاژ زیادی در دو سر آن ایجاد می شود که به ولتاژ بازگشتی معروف است. این ولتاژ که در جهت عکس جریان اولیه ایجاد می شود، به راحتی به ترانزیستور آسیب می رساند. به همین علت از یک دیود به صورت موازی با موتور استفاده می شود.



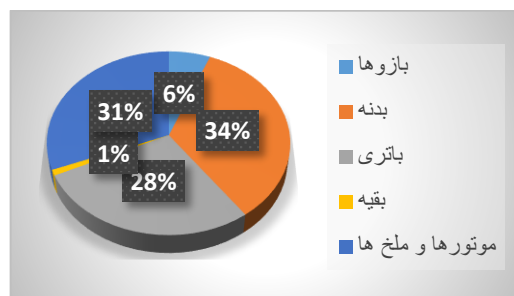
1 Brushless Motors

2 Coreless

شکل ۶ - نحوه راه اندازی موتور بدون هسته

#### ۴. توزیع جرمی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

جرم کلی ربات پرنده چهار ملخه به پنج دسته کلی جرم باتری، جرم بازوها، جرم بدنه، جرم موتورها و ملخ ها و جرم بقیه تقسیم می شوند. همان گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، ۲۸٪ جرم کلی ربات پرنده چهار ملخه کوچک را باتری به خود اختصاص داده است. و همچنین ۳۱٪ جرم کلی مربوط به موتور ها و ملخ ها، ۶٪ جرم کلی مربوط به بازوها و ۳۴٪ جرم کلی مربوط به بدنه ربات پرنده چهار ملخه کوچک می باشد. و ۱٪ باقیمانده جرم کلی مربوط به بقیه چیز ها می باشد.



شکل ۷ - توزیع جرمی ربات پرنده چهار ملخه کوچک طراحی و ساخته شده (جرم کلی آن ۰/۰۵۴ کیلوگرم)

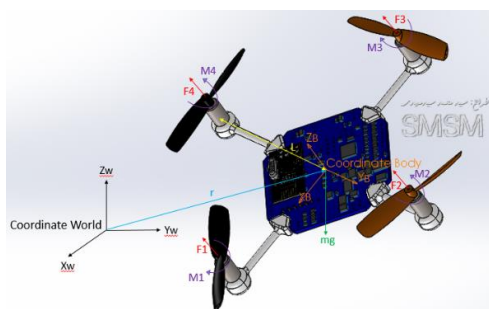
همان گونه که انتظار می رود، جرم ربات پرنده چهار ملخه با اندازه آن کاهش می یابد. همچنین از آنجایی که ربات های پرنده چهار ملخه کوچک تر، موتورها و ملخ های کوچک تری دارند، ممان اینرسی آنها نیز به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. ممان اینرسی های ربات پرنده چهار ملخه کوچک طراحی و ساخته شده در جدول شماره ۱ گردآوری شده است.

جدول شماره ۱. مقادیر ممان اینرسی ربات پرنده چهار ملخه کوچک طراحی و ساخته شده

| ممان اینرسی | [kg.m <sup>2</sup> ] مقدار آن بر حسب | ممان اینرسی | [kg.m <sup>2</sup> ] مقدار آن بر حسب |
|-------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| $I_{xx}$    | $\times 10^{-5} 5/103781$            | $I_{yz}$    | $\times 10^{-6} 1/28132$             |
| $I_{xy}$    | $\times 10^{-7} -8/1612$             | $I_{zx}$    | $\times 10^{-6} 1/17219$             |
| $I_{xz}$    | $\times 10^{-6} 1/17219$             | $I_{zy}$    | $\times 10^{-6} -1/28132$            |
| $I_{yx}$    | $\times 10^{-7} -8/1612$             | $I_{zz}$    | $\times 10^{-5} 9/719117$            |
| $I_{yy}$    | $\times 10^{-5} 5/122679$            |             |                                      |

#### ۵. مدل سازی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

مدل استفاده شده در اینجا شبیه مدل موجود در مرجع (Michael, et al., 2010:56-65) می باشد. ربات پرنده چهار ملخه کوچک به عنوان یک جسم صلب آزاد دارای تمام شش درجه آزادی ممکن برای جسم صلب می باشد. در شکل ۸ دستگاه مختصات بدنه با B و دستگاه مختصات زمین با W نشان داده شده است.



### شکل ۸ - نیرو و گشتاورهای وارد بر سیستم

مدل سازی ربات پرنده چهار ملخه کوچک، با استفاده از مدل خطی شده ی حرکت خطی ربات پرنده چهار ملخه کوچک (فرمول (۱)) و مدل حرکت زاویه‌ای ربات پرنده چهار ملخه کوچک (فرمول (۲)) انجام می گردد.

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\begin{aligned} m\ddot{x} &= [\theta \cos(\psi_0) + \varphi \sin(\psi_0)] [F_1 + F_2 + F_3 + F_4] \\ m\ddot{y} &= [\theta \sin(\psi_0) - \varphi \cos(\psi_0)] [F_1 + F_2 + F_3 + F_4] \\ m\ddot{z} &= -mg + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{aligned}$ | (۱) |
| $\begin{aligned} I_{xx}\ddot{\theta} &= L(F_2 - F_4) - mg(dy - dz \varphi) \\ I_{yy}\ddot{\varphi} &= L(F_3 - F_1) + mg(dx + dz \theta) \\ I_{zz}\ddot{\psi} &= M_1 - M_2 + M_3 - M_4 \end{aligned}$                                               | (۲) |

که در آن  $M_i$  گشتاور ناشی از مقاومت هوا،  $F_i$  نیروی ایجاد شده توسط ملخ ها،  $\dot{\theta}$ ،  $\dot{\varphi}$  و  $\dot{\psi}$  نمایشی استاندارد از مشتق سرعت زاویه ای در دستگاه مختصات بدنه ربات،  $L$  فاصله موتور از دستگاه مختصات بدنه ربات،  $I_{xx}$ ،  $I_{yy}$  و  $I_{zz}$  المان های اینرسی (لختی دورانی) ربات،  $m$  جرم کلی ربات پرنده چهار ملخه کوچک،  $dx$ ،  $dy$  و  $dz$  انحراف مرکز جرم از دستگاه مختصات بدنه ربات پرنده،  $\dot{x}$ ،  $\dot{y}$  و  $\dot{z}$  شتاب در راستاهای  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  در دستگاه مختصات زمین،  $\varphi$  و  $\theta$  و  $\psi$  زاویه های رول، پیچ، یاو (به ترتیب) و  $g$  شتاب گرانش زمین می باشند. در ادامه راه تغییر متغیر های فرمول (۳)، که اولین بار توسط پروفیسور ویجی کومار<sup>۱</sup>، استفاده شده است را اعمال می نماییم.

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\begin{aligned} U_1 &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\ U_2 &= F_2 - F_4 \\ U_3 &= F_3 - F_1 \\ U_4 &= M_1 - M_2 + M_3 - M_4 \end{aligned}$ | (۳) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

در عمل ورودی های ربات پرنده چهار ملخه کوچک، PWM های مربوط به چهار موتور می باشند. در نتیجه باید رابطه ی بین  $U$  ها (همان تغییر متغیرها) و PWM ها محاسبه گردد. می دانیم

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\begin{aligned} F_i &= G_{zF_i} \cdot PWM_i \\ M_i &= G_{zM_i} \cdot PWM_i \end{aligned}$ | (۴) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

که در آن  $G_{zF_i}$  و  $G_{zM_i}$  ( $i = 1,2,3,4$ ) مدل های موتورهای ما می باشند. این مدل ها به کمک دستگاه جمع آوری اطلاعات طراحی و ساخته شده<sup>۲</sup>، بدست می آیند. با جایگذاری فرمول (۴) در فرمول های (۳) خواهیم داشت.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\begin{aligned} U_1 &= G_{zF_1} \cdot PWM_1 + G_{zF_2} \cdot PWM_2 + G_{zF_3} \cdot PWM_3 + G_{zF_4} \cdot PWM_4 \\ U_2 &= G_{zF_2} \cdot PWM_2 - G_{zF_4} \cdot PWM_4 \\ U_3 &= G_{zF_3} \cdot PWM_3 - G_{zF_1} \cdot PWM_1 \\ U_4 &= G_{zM_1} \cdot PWM_1 - G_{zM_2} \cdot PWM_2 + G_{zM_3} \cdot PWM_3 - G_{zM_4} \cdot PWM_4 \end{aligned}$ | (۵) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

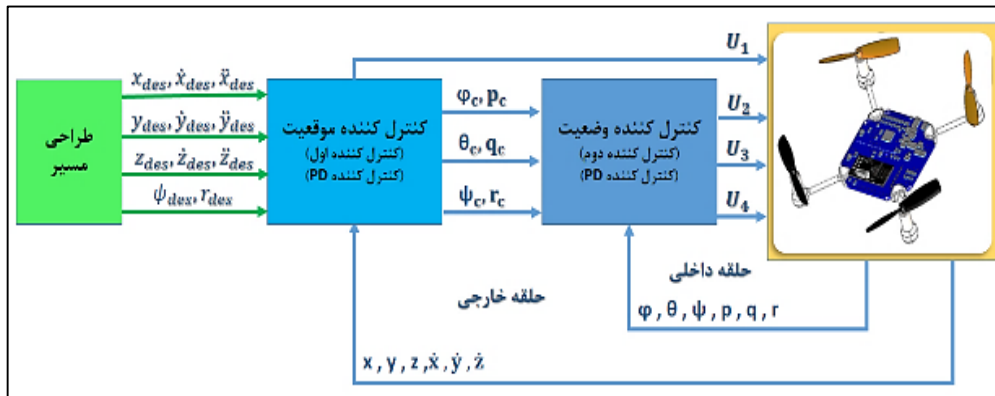
در نهایت می توان با حل چهار معادله و چهار مجهول (همان فرمول (۵))، PWM ها را بر حسب  $U$  ها بدست آوریم.

<sup>1</sup> Vijay Kumar

<sup>۲</sup> - دستگاه جمع آوری اطلاعات با همکاری دوست خوب ام جناب آقای مهندس عادل مسلمی بیرامی طراحی و تولید گردیده شده است. به دلیل موجود نبودن دستگاه جمع آوری اطلاعات در بازار ایران، تصمیم به تولید آن در کشور عزیزمان جمهوری اسلامی ایران گرفته شد.

## ۶. کنترل کننده ربات پرنده چهار ملخه کوچک

برای کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک از کنترل آبخاری (شکل ۹) استفاده شده است. که کنترل کننده اول و دوم آن کنترل کننده PID می باشد. و برای آنکه ربات پرنده چهار ملخه کوچک از محدوده خطی سازی شده خارج نگردد، از کنترل محدود نیز استفاده می نماییم.



شکل ۹ - بلوک دیاگرام نمای کلی کنترل کننده طراحی شده برای ربات پرنده چهار ملخه کوچک

در حلقه داخلی کنترل آبخاری، زاویه های رول، پیچ، یاو و مشتق های آنها، به وسیله کنترل کننده PID، با فرکانس یک کیلوهرتز کنترل می شوند. مقدار این زاویه ها و مشتق های آنها از سنسور های موجود در MPU9250 بدست می آیند. در حلقه خارجی کنترل آبخاری، موقعیت، سرعت و شتاب در راستای سه بعد، به وسیله کنترل کننده PID، کنترل می گردد. فرکانس کاری حلقه خارجی ۱۰۰ هرتز می باشد. و می توان از سنسور های GPS و یا ضبط حرکت (مرجع ۸) برای کنترل موقعیت خودکار ربات پرنده چهار ملخه کوچک بهره برد. در صورت که هدف کنترل دستی ربات پرنده چهار ملخه کوچک باشد، همان سنسور های IMU برای کنترل دستی کافی می باشند و نیاز به اضافه کردن سنسور دیگر نیست. کنترل کننده ها بر روی میکروکنترلر اجرا می شوند و موقعیت هدف (نهایی) را به مقادیر مجاز PWM، برای موتور ها تبدیل می نمایند. قوانین کنترل کننده PID مورد استفاده در ربات پرنده چهار ملخه کوچک به صورت فرمول (۶) و (۷) می باشند.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $\begin{aligned} U_1 &= m [g + \ddot{z}_{des} + K_{d,z}(\dot{z}_{des} - \dot{z}) + K_{p,z}(z_{des} - z)] \\ U_2 &= K_{p,\phi}(\phi_c - \phi) + K_{d,\phi}(p_c - p) \\ U_3 &= K_{p,\theta}(\theta_c - \theta) + K_{d,\theta}(q_c - q) \\ U_4 &= K_{p,\psi}(\psi_c - \psi) + K_{d,\psi}(r_c - r) \end{aligned}$ | (۶) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

در فرمول (۶) ضرایب  $K_{p,\phi}$ ،  $K_{p,\theta}$  و  $K_{p,\psi}$  مربوط به ضرایب تناسبی کنترل کننده های مربوط به خطای زاویه های رول، پیچ و یاو و ضرایب  $K_{d,\phi}$ ،  $K_{d,\theta}$  و  $K_{d,\psi}$  مربوط به ضرایب مشتق گیر کنترل کننده های مربوط به خطای سرعت زاویه های رول، پیچ و یاو ربات پرنده چهار ملخه کوچک می باشند (به ترتیب). ضریب  $K_{p,z}$  مربوط به ضریب تناسبی کنترل کننده ی مربوط به خطای ارتفاع و ضریب  $K_{d,z}$  مربوط به ضریب مشتق گیر کنترل کننده ی مربوط به خطای تغییر ارتفاع (سرعت) ربات پرنده چهار ملخه کوچک می باشند.  $\phi$  و  $\theta$  و  $\psi$  مقادیر موجود زاویه های رول، پیچ و یاو (به ترتیب)،  $\phi_c$  و  $\theta_c$  و  $\psi_c$  مقادیر مورد نظر زاویه های رول، پیچ و یاو (به ترتیب)،  $p$  و  $q$  و  $r$  مقادیر موجود سرعت زاویه ای رول، پیچ و یاو (به ترتیب)،  $p_c$  و  $q_c$  و  $r_c$  مقادیر مورد نظر سرعت زاویه ای رول، پیچ و یاو (به ترتیب)،  $\dot{z}$  و  $\dot{z}$  مقادیر موجود موقعیت و سرعت در راستای محور Z



دستگاه مختصات زمین،  $\dot{z}_{des}$ ،  $\ddot{z}_{des}$  و  $\dot{z}_{des}$  مقادیر مورد نظر موقعیت و سرعت و شتاب مورد نظر در راستای محور Z دستگاه مختصات زمین،  $m$  جرم کلی ربات،  $g$  شتاب گرانش زمین و  $U$  ها همان تغییر متغیرها می باشند.

$$\begin{aligned} \varphi_c &= -\frac{1}{g} [\ddot{y}_{des} + K_{d,y}(\dot{y}_{des} - \dot{y}) + K_{p,y}(y_{des} - y)] \cos(\psi_{des}) + \frac{1}{g} [\ddot{x}_{des} + \\ &\quad K_{d,x}(\dot{x}_{des} - \dot{x}) + K_{p,x}(x_{des} - x)] \sin(\psi_{des}) \\ \theta_c &= \frac{1}{g} [\ddot{x}_{des} + K_{d,x}(\dot{x}_{des} - \dot{x}) + K_{p,x}(x_{des} - x)] \cos(\psi_{des}) + \\ &\quad \frac{1}{g} [\ddot{y}_{des} + K_{d,y}(\dot{y}_{des} - \dot{y}) + K_{p,y}(y_{des} - y)] \sin(\psi_{des}) \end{aligned} \quad (7)$$

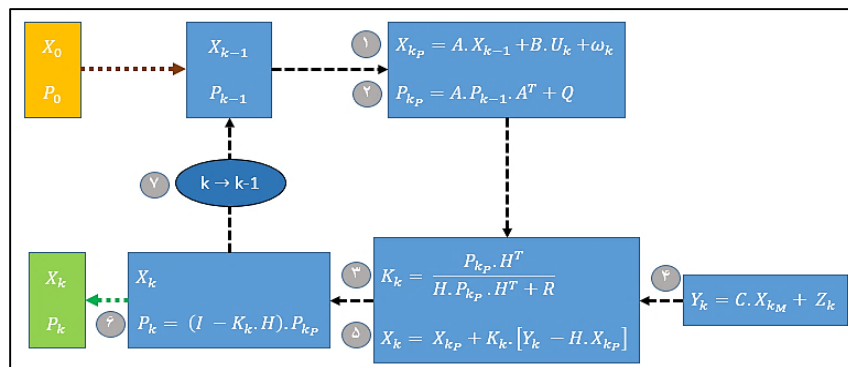
در فرمول (7) ضرایب  $K_{p,x}$  و  $K_{p,y}$  مربوط به ضرایب تناسبی کنترل کننده ی مربوط به خطای موقعیت در راستای X و Y و ضرایب  $K_{d,x}$  و  $K_{d,y}$  مربوط به ضرایب مشتق گیر کنترل کننده ی مربوط به خطای تغییر موقعیت (سرعت) در راستای X و Y ربات پرنده چهار ملخه کوچک می باشند (به ترتیب).  $\dot{x}$  و  $\dot{y}$  مقادیر موجود موقعیت و سرعت در راستای محور X دستگاه مختصات زمین،  $\dot{x}_{des}$  و  $\dot{y}_{des}$  مقادیر مورد نظر موقعیت و سرعت و شتاب مورد نظر در راستای محور X دستگاه مختصات زمین،  $y$  و  $\dot{y}$  مقادیر موجود موقعیت و سرعت در راستای محور Y دستگاه مختصات زمین،  $y_{des}$  و  $\dot{y}_{des}$  مقادیر مورد نظر موقعیت و سرعت و شتاب مورد نظر در راستای محور Y دستگاه مختصات زمین و  $\psi_{des}$  مقدار زاویه یاء مورد نظر،  $\theta_c$  و  $\varphi_c$  مقادیر مورد نظر برای زاویه های رول و پیچ می باشند (به ترتیب). در نهایت ضرایب بدست آمده برای کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک در جدول شماره ۲ گردآوری شده است.

جدول شماره ۲. مقادیر ضرایب بدست آمده برای ربات پرنده چهار ملخه کوچک PID

| ضریب کنترل کننده | مقدار آن | ضریب کنترل کننده | مقدار آن |
|------------------|----------|------------------|----------|
| $K_{p,\varphi}$  | ۹/۶      | $K_{p,z}$        | ۶/۷      |
| $K_{d,\varphi}$  | ۰/۰۱۷    | $K_{d,z}$        | ۳/۶      |
| $K_{p,\theta}$   | ۹/۶      | $K_{p,y}$        | ۵۸/۸     |
| $K_{d,\theta}$   | ۰/۰۱۷    | $K_{d,y}$        | ۸۱/۶     |
| $K_{p,\psi}$     | ۰/۰۰۱۲   | $K_{p,x}$        | ۵۸/۸     |
| $K_{d,\psi}$     | ۰/۰۰۰۰۶۶ | $K_{d,x}$        | ۸۱/۶     |

## ۷. تلفیق داده‌ها

برای افزایش دقت سنسورها و کاهش نویز آن‌ها از فیلتر کالمن برای تلفیق داده‌ها استفاده شده است. فلوچارت فیلتر کالمن در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

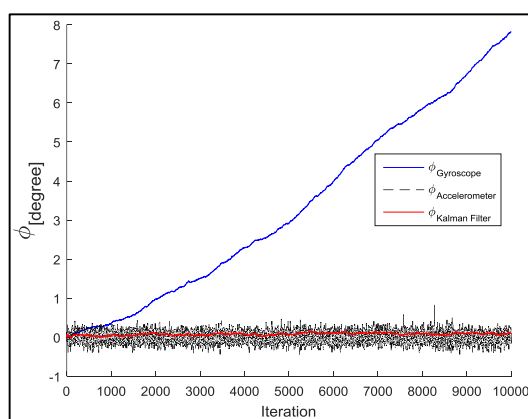


## شکل ۱۰ - ساختار کلی فیلتر کالمن

که در آن  $U$  ماتریس متغیر کنترل،  $\omega$  پیش بینی ماتریس نویز حالت،  $Q$  ماتریس کوواریانس نویز پروسه،  $Z$  نویز اندازه گیری (عدم قطعیت)،  $Y$  اندازه گیری از حالت،  $I$  ماتریس واحد،  $K$  بهره کالمن (کالمن گین)،  $R$  ماتریس کوواریانس نویز سنسور (خطای اندازه گیری)،  $X$  ماتریس حالت،  $P$  ماتریس کوواریانس پروسه (نشان دهنده خطا در تخمین یا پروسه)،  $A$  ماتریس انتقال حالت از زمان  $k-1$  به زمان  $k$ ،  $B$  ماتریس گین متغیر کنترل،  $C$  ماتریس گین از حالت به اندازه گیری و  $H$  ماتریس هم بعد ساز می باشند. ورودی های ما، همان مشاهده های ما هستند و حالت های ما همان وضعیت ربات پرنده کوچک، می باشند. الگوریتم فیلتر کالمن را می توان با توجه به مرجع (Thrun, Burgard and Fox, 2002) به صورت زیر بیان نمود.

1. Algorithm Kalman\_filter ( $X_{k-1}, P_{k-1}, U_k, Y_k$ )
2.  $X_{kp} = A \cdot X_{k-1} + B \cdot U_k$
3.  $P_{kp} = A \cdot P_{k-1} \cdot A^T + Q$
4.  $K_k = \frac{P_{kp} \cdot H^T}{H \cdot P_{kp} \cdot H^T + R}$
5.  $X_k = X_{kp} + K_k \cdot [Y_k - H \cdot X_{kp}]$
6.  $P_k = (I - K_k \cdot H) \cdot P_{kp}$
7. return  $X_k, P_k$

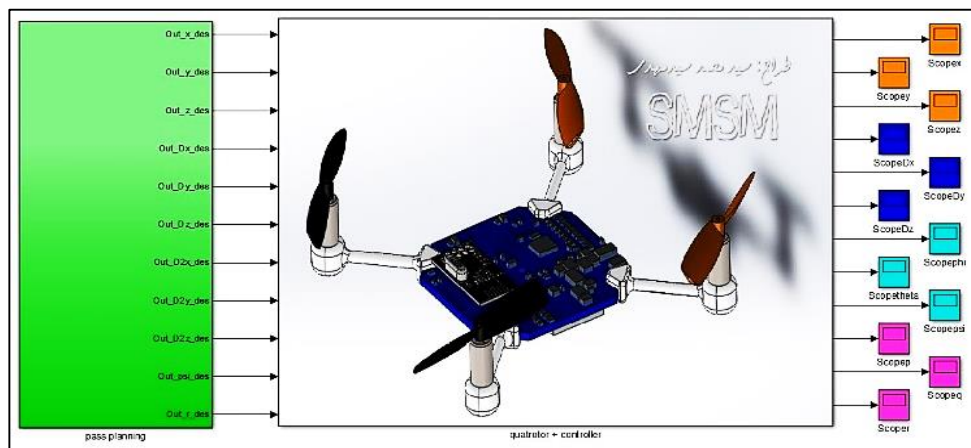
پارامتر های آن در قسمت های قبلی توضیح داده شده اند. و برای جلوگیری از تکرار، از بیان تکراری آنها صرف نظر می نماییم. به عنوان نمونه خروجی فیلتر کالمن بر روی زاویه رول پرنده چهار ملخه کوچک، در حالتی که ربات پرنده چهار ملخه کوچک هیچ گونه حرکتی ندارد، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان گونه که مشخص می باشد، انحراف و نویز کاهش یافته است. و در نهایت به هدفمان، همان کاهش انحراف ژيروسکوپ و کاهش نویز شتاب سنج، برای بدست آوردن زاویه ی رول، دست یافته ایم.



شکل ۱۱ - نتیجه ی نهایی زاویه رول به کمک فیلتر کالمن

## ۸. شبیه سازی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

شبیه سازی به معنی راه انداختن و زنده کردن مدل ریاضی با استفاده از کامپیوتر برای بازسازی واقعیت می باشد. در ادامه راه، شبیه سازی مدل ربات پرنده چهار ملخه کوچک، در نرم افزار سیمولینک متلب (مرجع ۶) انجام گردید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ - شبیه سازی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

در جدول شماره ۳ سایر مقادیر لازم برای شبیه سازی مدل ربات پرنده چهار ملخه کوچک، در نرم افزار سیمولینک متلب، نشان داده شده است.

جدول شماره ۳. سایر مقادیر لازم برای شبیه سازی مدل ربات پرنده در سیمولینک متلب

| مقدار آن | پارامتر             |
|----------|---------------------|
| ۰/۰۵۳۵۸  | $m [kg]$            |
| ۹/۸۰۶۶۵  | $g [\frac{m}{s^2}]$ |
| ۰/۰۶۴۲۹  | $L [m]$             |
| -۰/۰۰۲۰۷ | $dx [m]$            |
| ۰/۰۰۲۳۷  | $dy [m]$            |
| -۰/۰۰۰۷۰ | $dz [m]$            |

## ۹. نرم افزار استفاده شده برای پیاده سازی الگوریتم ها

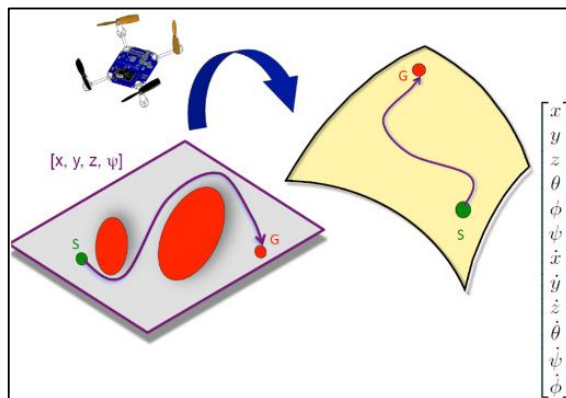
برای پیاده سازی الگوریتم ها، از نرم افزار کیل (مرجع ۱۲) کمک گرفته شده است. به دلیل آنکه حجم پروژه بالا می باشد و مدیریت، امنیت و قابلیت اطمینان بالایی را طلب می نماید، برای پیاده سازی الگوریتم ها از سیستم عامل بلادرنگ کیل، کمک گرفته شد. به عبارت دیگر سیستم عامل RTX برای این پروژه، طراحی و پیاده سازی گردید. صفر تا ۱۰۰ طراحی سیستم عامل RTX، در نرم افزار کیل، در مرجع (K. Software, 2009) بیان شده است.

## ۱۰. طی مسیر خاص با استفاده از روش پرواز کور<sup>۱</sup>

روش پرواز کور و یا ناوبری کور یکی از انواع روش های ناوبری در سیستم های رباتیک می باشد. در روش پرواز کور، موقعیت جدید ربات نسبت به موقعیت قبلی آن بدست می آید. در ربات پرنده چهار ملخه کوچک از روش سامانه ناوبری اینرسی مربوط به ناوبری کور استفاده می نماییم. در زمینه ی پرواز کور در ربات های پرنده چهار ملخه، تنها یک مقاله به چاپ رسیده است. که آن هم برای ربات های پرنده چهار ملخه غیر کوچک می باشد (Zhou, et al., 2010).

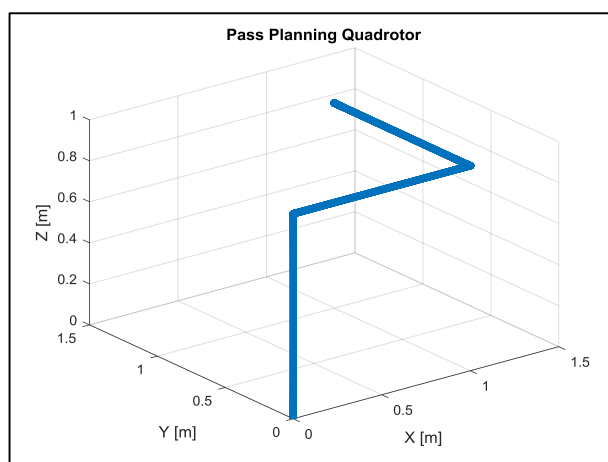
1- Dead-reckoning method

در طراحی مسیر، به جای طراحی مسیر برای هر ۱۲ درجه ی آزادی ربات پرنده چهار ملخه کوچک، فقط برای درجات آزادی  $x, y, z$  و  $\psi$  طراحی مسیر انجام می گردد (شکل ۱۳). این نکته توسط جناب آقای پروفسور ویجی کومار ارائه گشته است (مرجع ۱۰).



شکل ۱۳ - نکته ی در مورد تولید مسیر ربات پرنده چهار ملخه کوچک

همان گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، ربات پرنده چهار ملخه کوچک در سیمولینک متلب در راستای محور  $z$  به اندازه ی یک متر پرواز می نماید. و سپس به اندازه ی یک متر در راستای محور  $x$  و بعد از آن به اندازه ی یک متر در راستای محور  $y$  پرواز می نماید.



شکل ۱۴ - مسیر طی شده به وسیله ی مدل خطی ربات پرنده چهار ملخه کوچک

## ۱۱. طراحی و ساخت جوی استیک

برای کنترل دستی ربات پرنده چهار ملخه کوچک، از جوی استیک نشان داده شده در شکل ۱۵ استفاده می نماییم. قسمت بیرونی آن از دسته کنترل های آماده موجود در بازار تهیه شده است. و قسمت داخل آن، با ماژول NRF24L01+ و میکروکنترلر آردینو نانو، تعویض گردیده شده است. از قابلیت های این جوی استیک طراحی و ساخته شده برای ربات پرنده چهار ملخه کوچک، می توان به قابلیت اتصال آن به لپ تاپ (به وسیله پورت usb) اشاره نمود. به کمک این قابلیت می توان داده ها مورد نظر از ربات پرنده چهار ملخه کوچک را، در لپ تاپ به صورت بی سیم مشاهده نمود.



شکل ۱۵ - دسته کنترل طراحی و ساخته شده

## ۱۲. جمع بندی

ما طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک ارزان قیمت با جرم  $53/58$  گرم و ابعاد موتور تا موتور  $9/19$  سانتی متر، برای طی مسیر خاص با استفاده از پرواز کور را ارائه دادیم. دینامیک ربات پرنده چهار ملخه کوچک نیز توضیح داده شد. برای این ربات جوی استیک نیز طراحی و ساخته شد. ما بر این باوریم که از این فناوری می توان برای کارهای تحقیقاتی رباتیک بهره برد. و برای آنکه توسعه این ربات برای فرد استفاده کنند راحت تر گردد، آن را به صورت ماژولار طراحی و سیستم عامل RTX، بر روی آن پیاده سازی گردیده شد.

## ۱۳. کار های آینده

در این ربات می توان به جای موتور های بدون هسته از موتور های براشلس نیز استفاده نمود. البته هزینه های (هم از نظر وزن و هم از نظر مالی) آنها نسبت به موتور های بدون هسته بیشتر می باشد. می توان برای کنترل اتوماتیک موقعیت از سنسور های ضبط حرکت (در محیط های سرپوشیده) و GPS (در محیط های خارج از خانه) استفاده نمود. می توان به این ربات دوربین اضافه نمود. می توان گیرنده و فرستنده بلوتوث را به این ربات اضافه نمود تا بتوان از طریق گوشی موبایل نیز آن را کنترل نمود (Hayajneh, Melega and Marconi, 2018:119-133). می توان برای افزایش قابلیت های آنها، بر روی کار های گروهی این ربات ها کار نمود. می توان ساختار های دیگر ربات پرنده چهار ملخه را تولید نمود. این ربات در آینده ی نزدیک به صورت تجاری، در اختیار دوستداران این تکنولوژی قرار داده خواهد شد.

## منابع

- [1] C. Lehnert and P. Corke. (2013) Design and Implementation of an Open Source Micro Quadrotor, in Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation, Australia.
- [2] <https://3dr.com/>.
- [3] [https://www.avinc.com/uas/adc/black\\_widow/](https://www.avinc.com/uas/adc/black_widow/).
- [4] [https://www.avinc.com/uas/adc/black\\_widow/](https://www.avinc.com/uas/adc/black_widow/).
- [5] <https://www.dji.com/>.
- [6] <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.
- [7] <https://www.solidworks.com/>.
- [8] <https://www.vicon.com/>.
- [9] <http://www.3dprintstore.ir/>.
- [10] [http://www.amnh.org/explore/amnh.tv/\(watch\)/scicafe/scicafe-swarms-of-aerial-robots/\(category\)/131052](http://www.amnh.org/explore/amnh.tv/(watch)/scicafe/scicafe-swarms-of-aerial-robots/(category)/131052).
- [11] <http://www.delfly.nl/home.html>.

- [12 ] <http://www.keil.com/>.
- [13 ] <http://www.proxdynamics.com/products/pd-100-black-hornet-prs>.
- [14 ] K. Ma, P. Chirarattanon, S. Fuller and R. Wood. (2013). Controlled flight of a biologically inspired, insect-scale robot, in Science.
- [15 ] K. Software. (2009). Getting Started Building Applications with RL-ARM, Germany: Keil.
- [16 ] M. Hayajneh, M. Melega and L. Marconi.(2018). Design of autonomous smartphone based quadrotor and implementation of navigation and guidance systems, Elsevier, pp. 119-133.
- [17 ] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey and V. Kumar. (2010). The GRASP Multiple Micro UAV Testbed, IEEE, pp. 56-65.
- [18 ] Q.-L. Zhou, Y. Zhang, Y.-H. Qu and C.-A. Rabbath. (2010). Dead Reckoning and Kalman Filter Design for Trajectory Tracking of a Quadrotor UAV, in IEEE.
- [19 ] S. Thrun, W. Burgard and D. Fox. (2002). Probabilistic Robotics, Communications of the ACM.
- [20 ] V. Kumar and N. Michael. (2012). Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles, The International Journal of Robotics Research, pp. 1279-1291.
- [21 ] Y. Mulgaonkar, G. Cross and V. Kumar. (2015). Design of Small, Safe and Robust Quadrotor Swarms, in International Conference on Robotics and Automation, Washington.
- [22 ] Y. Mulgaonkar, M. Whitzer, B. Morgan, C. M.Kroninger, A. M.Harrington and V. Kumar. (2014) Power and Weight Considerations in Small, Agile, Quadrotors, SPIE.





## روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و نقش شبکه‌های عصبی در کاهش مصرف انرژی آن‌ها

جواد نیک افشار

کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه های کامپیوتری

jnikafshar@gmail.com

### چکیده

یک شبکه حسگر بی سیم مجموعه ای از تعداد بسیار زیادی گره حسگر با ابعاد کوچک و قابلیت‌های مخابراتی و محاسباتی محدود است که به منظور جمع آوری و انتقال اطلاعات از یک محیط به سمت یک کاربر و یا ایستگاه پایه به کار برده می شود. شبکه عصبی مصنوعی، سیستمی بزرگ از اجزاء پردازشی موازی یا توزیع شده بنام نرون یا سلول عصبی است که در یک توپولوژی گراف به هم متصل شده‌اند. نرون‌ها از طریق ارتباطات وزن‌داری بنام سیناپس به هم متصل می‌شوند. داده‌ها جدا از پردازش ذخیره نمی‌شوند، زیرا داده‌ها ذاتاً به هم متصل هستند. به عبارت دیگر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های ریاضی هستند که قادر به یادگیری نگاشت‌های پیچیده‌ی بین ورودی(ها) و خروجی(ها) از طریق آموزش تحت نظارت بوده یا قادر به رده‌بندی اطلاعات ورودی به روشی بدون نظارت می‌باشند. قوانین آموزش این شبکه‌ها الهام گرفته از علم زیست‌شناسی بوده و نحوه یادگیری شبکه را تعیین می‌کنند. یکی از مهمترین مسائل قابل بحث در شبکه‌های حسگر بی سیم، چگونگی انتقال اطلاعات از گره‌های داخل شبکه به ایستگاه پایه و انتخاب بهترین مسیر ممکن برای انتقال این اطلاعات می باشد. انتخاب بهترین مسیر می تواند بر اساس فاکتورهای مختلفی مانند انرژی مصرفی، سرعت در پاسخگویی و میزان تاخیر، دقت در انتقال داده و... تحت تاثیر قرار بگیرد.

**واژگان کلیدی:** شبکه حسگر بی سیم، شبکه عصبی، نرون، سیناپس، توپولوژی

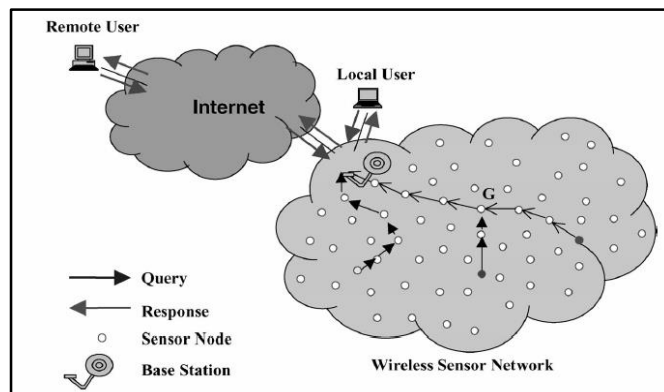
### مقدمه

یک شبکه حسگر، ساختاری متشکل از اجزای حس کننده، محاسبه کننده و مخابراتی است که به یک مدیر، اجازه مشاهده و تنظیم مشاهدات را می دهد و همچنین عکس العمل نشان دادن در برابر رویدادهایی که در یک ناحیه مشخص اتفاق می افتد را ساده تر می سازد. از جمله کاربردهای متداول شبکه های حسگر، می توان به مقاصد نظامی، امنیت فیزیکی، کنترل ترافیک هوایی، نظارت ترافیکی، اتوماسیون صنعتی، حفاظت از بناها، کنترل و مدیریت شرایط بحرانی و تحقیقات در حیات جانداران اشاره کرد. پیشرفتهای اخیر در فناوری ساخت مدارات مجتمع در اندازه های کوچک از یک سو و توسعه فناوری ارتباطات بی سیم از سوی دیگر، زمینه ساز طراحی شبکه های حسگر بی سیم گردیده است. تفاوت اساسی این شبکه ها با شبکه های سنتی و قدیمی، ارتباط آن با محیط و پدیده های فیزیکی است. شبکه های سنتی، ارتباط بین انسانها و پایگاه های اطلاعاتی را فراهم می کنند در حالی که شبکه های حسگر به طور مستقیم با جهان فیزیکی در ارتباط هستند. این شبکه ها با استفاده از حسگرها، محیط فیزیکی را مشاهده کرده و سپس بر اساس مشاهدات خود تصمیم گیری نموده و عملیات مناسب را انجام می دهند.

## مفهوم مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم

روشی که داده‌ها و پرسش‌ها را بین ایستگاه پایه و جایی که پدیده هدف ملاحظه شده است، جا به جا میکند یک مسئله بسیار مهم برای شبکه‌های حسگر بی سیم است و مسیریابی خوانده می‌شود. از یک دیدگاه میتوان، مسیریابی را به صورت روش انتقال داده بین گره‌های حسگر در نظر گرفت و از دیدگاهی دیگر، انتقال اطلاعات بین گره‌های حسگر داخل شبکه و ایستگاه پایه نهایی را می‌توان به عنوان مسیریابی تعریف نمود.

یک روش بسیار ساده برای انجام این وظیفه آن است که هر گره حسگر، داده را به صورت مستقیم با ایستگاه پایه مبادله کند. اما به هر حال یک روش مبتنی بر تک-پرسی<sup>۱</sup> بسیار هزینه بر است به این دلیل که گره‌هایی که از ایستگاه پایه دور هستند، ممکن است که ذخیره انرژی‌شان سریعتر تخلیه شود و بنابراین شدیداً طول عمر شبکه را محدود کنند. این موضوع خصوصاً در مواردی که حسگرهای بی سیم، به منظور پوشش دادن یک منطقه جغرافیایی بزرگ، آرایش یافته‌اند و یا در مواردی که حسگرهای بی سیم، متحرک هستند و ممکن است که از سمت ایستگاه پایه دور شوند، مهم است [۱۲]. به منظور مقابله با کمبودها و نقصهای ناشی از روش تک-پرسی، تبادل داده بین حسگرها و ایستگاه پایه، معمولاً به وسیله روشهای انتقال بسته چند-پرسی<sup>۲</sup> و بر روی شعاع ارتباطی کوچک انجام می‌شود. چنین روش انتقال داده ای، منجر به صرفه جویی مشخصی در مصرف انرژی و کاهش چشمگیری در تداخل مخابراتی بین گره‌های حسگری که در رقابت برای دسترسی به کانال هستند، می‌گردد. شکل ۱ پیشروی و انتقال داده را در بین حسگرهایی که داده در آنها جمع‌آوری شده و ایستگاه پایه که داده به وسیله آن در دسترس کاربر قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- چگونگی انتشار داده در شبکه حسگر بی سیم

در پاسخ به پرسش‌هایی که به وسیله کاربر منتشر می‌گردند و یا هنگامی که رویدادهای خاصی در داخل ناحی‌های که کنترل می‌شوند، اتفاق بیفتند همان طور که در شکل می‌بینیم، داده‌هایی که به وسیله حسگرها جمع‌آوری شده‌اند از طریق مسیرهای چند-پرسی به طرف ایستگاه پایه انتقال می‌یابند. در شبکه‌های حسگر بی سیم چندپرسی، گره‌های واسطه، بایستی در به پیش راندن بسته‌های داده بین منبع و مقصد شرکت کنند. تعیین کردن این که، کدام دسته از گره‌های واسطه بایستی، برای ساختن یک مسیر پیشروی داده بین منبع و مقصد انتخاب شوند، اساسی‌ترین وظیفه الگوریتم مسیریابی است. به طور کلی مسیریابی در شبکه‌های بامقیاس بزرگ، اساساً یک مسئله مشکل است که راه حل آن، بایستی چالش‌های مختلفی مانند صحت و درستی، پایداری، و بهینگی با توجه به معیارهای عملیاتی مختلف را جوابگو باشد. خواص ذاتی شبکه‌های حسگر بی سیم، با محدودیتهای شدید پهنای باند و انرژی ترکیب شده‌اند که این موضوع منجر به چالشهای اضافی دیگری می‌شود که بایستی به منظور ارضاکردن نیازمندیهای ترافیکی کاربردهایی که تحت پوشش‌شان است پاسخ داده شوند به طوری که طول عمر شبکه را نیز افزایش دهند.

<sup>۱</sup> Single-hop based

<sup>۲</sup> Multi-hop

اگرچه شبکه‌های حسگر بیسیم، نقاط مشترک زیادی با شبکه‌های مودمی و باسیم دارند، اما به هر حال این نوع از شبکه‌ها مشخصات منحصر به فردی نیز دارند که آنها را از شبکه‌های موجود متمایز می‌کند. این مشخصات منحصر به فرد منجر به نیازمندیهای طراحی مسیریابی جدیدی می‌شوند که در مقایسه با شبکه‌های باسیم و مودمی متفاوت است. در واقع این نیازمندیهای طراحی منجر به مجموعه‌ای متمایز و منحصر به فرد از چالش‌ها می‌شود. این چالش‌ها می‌توانند شامل فاکتورهای مختلفی مانند محدودیتهای انرژی بسیار شدید، قابلیت‌های محاسباتی و مخابراتی محدود، تغییرات پویا و دینامیکی محیطی که حسگرها در آن آرایش یافته‌اند و مدلهای ترافیک داده منحصر به فرد و همچنین نیازمندیهای کیفیت خدمات مربوط به کاربرد باشند. بنابراین در مسئله مسیریابی، طراح بایستی نیازمندیهای مختلفی را مدنظر داشته باشد و بتواند تا حد ممکن از امکانات موجود در این شبکه‌ها نهایت استفاده را ببرد.

### چالش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم

یکی از اساسی ترین اهداف طرر حهای شبکه های حسگر بی سیم، عملی کردن مخابره داده هاست به طوری که سعی در افزایش طول عمر شبکه دارند و همچنین، جلوگیری از خراب شدن اتصالات از طریق رو شهای مدیریت توان می‌باشد. پروتکل های مسیریابی در اینگونه از شبکه ها، به وسیله تعداد زیادی از عوامل چالش برانگیز، تحت تاثیر قرار می گیرند. از جمله این چالشها که بایستی قبل از برقراری ارتباطات در این شبکه ها آن ها را مورد توجه قرار داد می توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۲].

مورد اول: نحوه آرایش و چیدمان گره ها: آرایش گره ها در این شبکه ها، کاملاً وابسته به کاربرد است و عملکرد پروتکل های مسیریابی را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. چیدمان گره ها، هم می تواند به صورت قطعی و معین باشد و هم به صورت تصادفی.

در آرایش قطعی، حسگرها به صورت دستی چیده می شوند و داده از طریق مسیرهای از قبل تعیین شده ای، مسیره می گردد. اما در آرایش تصادفی، گره های حسگر به صورت تصادفی پخش شده اند و یک زیر ساختار شبیه شبکه های مودمی را به وجود آورده اند. اگر توزیع منتهی گره ها یکنواخت نباشد، خوشه بندی بهینه به منظور برقرار کردن اتصالات برای داشتن یک عملکرد موثر بر شبکه، لازم است. ارتباطات بین حسگرها، معمولاً به علت محدودیتهای انرژی و پهنای باند گره های حسگر، در داخل محدوده های ارتباطی بسیار کوتاه و محدود انجام می شوند. بنابراین احتمال این که یک مسیر شامل پرشهای بی سیم متعدد باشد، خیلی زیاد است.

مورد دوم: مصرف انرژی بدون از دست دادن دقت: گره های حسگر، می توانند منابع انرژی محدودشان را در هنگام انجام محاسبات و یا انتقال اطلاعات در یک محیط بیسیم، مصرف کنند. لذا بکارگیری روشهای مختلف برای صرفه جویی در انرژی در هنگام انجام محاسبات و ارتباطات بسیار ضروری است. از طرفی طول عمر گره های حسگر، وابستگی بسیار زیادی به طول عمر باتری دارد. در یک شبکه حسگر بی سیم چند پرشی، هر گره نقش دوگانه ای را به عنوان فرستنده و مسیره دهنده داده ایفا می کند. بدعمل کردن اغلب گره های حسگر به علت کمبود توان می تواند منجر به تغییرات توپولوژیکی در شبکه شود که ممکن است نیاز به مسیریابی مجدد بسته ها را به وجود بیاورد. در حقیقت یکی از چالش های مهم در طراحی الگوریتم های مسیریابی در این گونه شبکه ها، آن است که با مصرف انرژی گره ها و کاهش یافتن آنها، دقت شبکه پایین نیاید.

مورد سوم: مدلسازی گزارش دهی داده: حس کردن داده و گزارش دهی داده حس شده، در شبکه های حسگر بی سیم به کاربرد مورد استفاده و زمان بحرانی قابل قبول برای گزارش دهی داده مورد نظر وابسته است. مدلهای مختلف گزارش دهی داده می توانند به دسته های زمان -ران<sup>۲</sup> یا پیوسته، حادثه ران<sup>۳</sup>، پرسش -ران، و مختلط دسته بندی شوند. مدل تحویل داده زمان -ران، برای کاربردهایی مناسب است که نیاز به کنترل و نظارت بر داده به صورت متناوب دارند. برای این منظور گره های

<sup>۱</sup> Uniform

<sup>۲</sup> Time-driven

<sup>۳</sup> Event-driven

حسگر به صورت متناوب بر روی حسگرها و فرستنده هایشان سوییچ خواهند کرد و محیط اطراف را حس کرده و داده مورد نظر را در فواصل زمانی متناوب ثابت انتقال می دهند.

در مدل‌های پرسش-ران و حادثه-ران، گره‌ها به تغییرات ناگهانی شدیدی که در مقدار یک صفت خاص که به علت رخداد یک اتفاق خاص و یا یک پرسش ایجاد شده به وسیله ایستگاه پایه به وجود آمده است، بلافاصله عکس‌العمل نشان می‌دهند. این مدل‌ها برای کاربردهایی که زمان برای آنها یک عامل بحرانی است، بسیار مناسب هستند. همچنین ممکن است ترکیبی از مدل‌های قبلی را برای مدلسازی گزارش دهی داده استفاده کنند. پروتکل‌های مسیریابی به وسیله مدل‌های گزارش دهی داده و مصرف انرژی و پایداری مسیر عمیقاً تحت تاثیر قرار می‌گیرند.

۱. نامتجانس بودن گره‌ها و اتصالات: در اغلب مطالعات انجام شده، فرض بر این است که همه حسگرها متجانس باشند. به عبارت دیگر، گره‌های متجانس بایستی ظرفیت یکسانی از لحاظ انجام عملیات محاسباتی، مخابراتی و نیز از لحاظ توان داشته باشند. اما، بسته به کاربرد، گره‌های حسگر می‌توانند نقش‌ها و یا قابلیت‌های متفاوتی داشته باشند. وجود یک مجموعه نامتجانس از حسگرها، ممکن است منجر به تعداد زیادی وجوه تکنیکی مرتبط با مسیریابی داده گردد. به عنوان مثال در بسیاری از کاربردها ممکن است نیاز به یک مخلوط چندگانه از حسگرها برای نظارت بر درجه حرارت، فشار و رطوبت محیط احاطه شده و یا آشکارسازی حرکت به وسیله مشخصات آکوستیکی و یا تصویربرداری و دنبال کردن ویدئویی اشیاء متحرک داشته باشیم. برای رسیدن به این اهداف هم می‌توان از حسگرهای با ویژگی‌های متفاوت که به صورت مستقل آرایش یافته اند استفاده کرد و یا این که میتوان از حسگرهای یکسانی که وظایف متفاوتی برایشان در نظر گرفته ایم، استفاده کنیم. برای انجام این وظایف مختلف به وسیله گره‌های مشابه، خواندن داده‌ها و گزارش دهی می‌تواند با نرخ‌های متفاوتی برای حسگرها انجام شوند. همچنین محدودیت‌های کیفیت خدمات متعددی برای آنها در نظر گرفته شوند و مدل‌های گزارش دهی داده مختلفی را نیز دنبال کنند. مثلاً در پروتکل‌های سلسله‌مراتبی، گره سرگروه خوشه را به صورت متفاوت از سایر حسگرهای معمولی طراحی می‌کنند. یعنی در اینگونه پروتکل‌ها قابلیت‌هایی که برای گره سرگروه، تعریف می‌شود با گره‌های معمولی متفاوت است. این سرگروه‌ها، هم می‌توانند از بین حسگرهای آرایش یافته انتخاب شوند و هم این که در مقایسه با سایر گره‌های حسگر از لحاظ انرژی، پهنای باند و حافظه قدرتمندتر باشند. در نتیجه در این گونه پروتکل‌ها، وظیفه انتقالات به وسیله مجموعه سرگروه‌ها انجام می‌شود.

۲. تحمل نقصها: برخی از گره‌های حسگر ممکن است به علت فقدان توان، صدمات فیزیکی و یا تداخل محیطی دچار خرابی و نقص شوند. یکی از نکاتی که باید در طراحی الگوریتم‌های مسیریابی به آنها توجه کرد آن است که خرابی گره‌های حسگر، نباید عملکرد کلی شبکه حسگر را تحت تاثیر قرار دهند. اگر تعداد زیادی از گره‌ها دچار خرابی و نقص شوند، پروتکل‌های مسیریابی بایستی آرایشی جدید از اتصالات و مسیرها را برای جمع‌آوری داده از ایستگاه‌های پایه برای تطبیق یافتن با این مشکلات بسازند که این امر ممکن است نیازمند آن باشد تا به صورت فعالانه، توان‌های انتقال و نرخ‌های سیگنالینگ بر روی اتصالات موجود تنظیم گردند تا بتوانیم مصرف انرژی را کاهش داده و یا بسته‌ها را مجدداً از طریق نواحی از شبکه که انرژی بیشتری در آن‌جا وجود دارد، مسیردهی کنیم. بنابراین سطوح مختلفی از افزونگی ممکن است در یک شبکه حسگر که خطا را تحمل می‌کند، نیاز باشد.

۳. مقیاس پذیری: تعداد گره‌های حسگری که در یک منطقه آرایش یافته اند ممکن است از مرتبه صدی و یا هزاری و یا حتی خیلی بیش تر باشند. هر طرح مسیریابی‌ای بایستی قادر به کار کردن با این تعداد بسیار زیاد گره‌های حسگر باشند. به علاوه، پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر بایستی به اندازه کافی قابلیت تغییر مقیاس و یا به عبارتی مقیاس پذیری را داشته باشند برای این که بتوانند به وقایعی که در آن محیط‌ها رخ می‌دهند پاسخ دهند. تا زمانی که یک واقعه اتفاق بیفتد، اغلب حسگرها می‌توانند در حالت خواب باقی بمانند. بنابراین با داده ناشی از تعداد کم حسگرهای باقی مانده، بایستی کیفیت بالایی فراهم شود.

۴. پویایی شبکه: اغلب ساختارهای شبکه، فرض می کنند که گره های حسگر ایستا باشند. اما به هر حال گاهی در برخی کاربردها، حرکت گره های حسگر و یا ایستگاه های پایه، ممکن است لازم باشند. مسیریابی بسته ها، از و یا به گره هایی که در حال حرکتند بسیار چالش برانگیزتر است، از آنجایی که علاوه بر انرژی و پهنای باند، مسئله پایداری مسیرها در این گونه شبکه ها یک امر بسیار مهم است.

به علاوه، پدیده و یا حادث های که حس شده بر حسب کاربرد می تواند هم پویا و هم ایستا باشد. مثلاً در کاربردهای آشکارسازی اهداف و یا کاربردهای دنبال کردن اشیاء متحرک، پدیده مورد نظر یک پدیده پویاست. در حالی که در کاربرد مربوط به کنترل جنگلها به منظور جلوگیری از آتش سوزی، پدیده مورد نظر ایستا می باشد. وقایع ایستا کنترلی، به شبکه اجازه می دهند که در یک حالت انفعالی، کار بکنند. یعنی هر زمانی که گزارش داده شد، به راحتی امکان ترافیک و انتقال داده را فراهم کنند. وقایع پویا، در اغلب کاربردها نیاز به گزارش دهی متناوب دارند و در نتیجه، ترافیک مشخصی را برای مسیریابی شدن به طرف ایستگاه پایه برقرار می کنند.

۵. واسطه انتقال: در یک شبکه حسگر چندپرسی، گرههایی که در حال برقراری ارتباط با یکدیگر هستند از طریق یک رسانه بی سیم به یکدیگر متصل شده اند. مشکلات قدیمی ناشی از یک کانال مخابراتی بی سیم مانند فیدینگ، نرخ خطای بالا و ... ممکن است عملکرد شبکه حسگر را تحت تاثیر قرار دهند. به طور کلی، پهنای باند مورد نیاز داده حسگر، پایین و از مرتبه ۱-۱۰۰ کیلو بیت بر ثانیه خواهد بود. یکی از روش هایی که در شبکه های حسگر برای طراحی لایه کنترل دسترسی رسانه استفاده می شوند، پروتکل های مبتنی بر تسهیم سازی زمانی ۲ به جای استفاده از پروتکل های رقابتی مانند روش دسترسی چندگانه با حس کردن حامل است که این منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی در این شبکه ها خواهد شد.

۶. اتصالات: چگالی بسیار بالای گره ها در شبکه های حسگر بی سیم، از ایزوله شدن گره ها از یکدیگر به صورت کامل، جلوگیری می کند. بنابراین انتظار می رود که گره های حسگر، شدیداً به هم متصل باشند و یا به عبارت بهتر شدیداً با هم در ارتباط باشند. اما به هر حال این امر، توپولوژی شبکه را از متغیر بودن حفظ نمی کند و نیز اندازه شبکه را از جمع شدگی و کوچک شدن به علت اشتباهات گره های حسگر، حفظ نخواهد کرد. به علاوه، اتصالات گره ها به توزیع تصادفی گره ها وابسته اند.

۷. پوشش: در این گونه شبکه ها، هر گره حسگر داخل شبکه یک دید خاص از محیط به دست می آورد. این دیدی که هر گره حسگر از محیط اطرافش به دست می آورد هم از لحاظ دقت و هم از لحاظ محدوده تحت پوشش، محدود است. به عبارت بهتر، هر گره حسگر می تواند یک منطقه فیزیکی محدودی از محیط اطرافش را پوشش دهد. بنابراین پوشش کل منطقه مورد نظر، به وسیله گره های حسگر، یک مسئله بسیار مهم در طراحی شبکه های حسگر بی سیم است.

۸. تراکم داده: از آنجایی که گره های حسگر، ممکن است داده های اضافی قابل توجهی تولید کنند لذا در این شبکه ها بسته های مشابه گره های مختلف، می توانند متراکم شده و در نتیجه تعداد انتقالات لازم کاهش یابند. تراکم داده، در حقیقت ترکیب کردن داده ناشی از منابع مختلف برطبق یک تابع تراکم خاص مانند حذف نسخه های تکراری، مینیمم، ماکزیمم و یا میانگین گرفتن از نسخه های کپی شده و تکراری می باشد. این روش، یعنی متراکم نمودن داده ها، برای رسیدن به کارایی بالاتر انرژی و بهینه سازی انتقال داده در بسیاری از پروتکل های مسیریابی استفاده می گردد. روشهای پردازش سیگنال نیز می توانند برای متراکم نمودن داده استفاده گردند که در این گونه موارد، پردازش سیگنال به یک نوع ترکیب داده اشاره می کند که در آن، یک گره قابلیت تولید یک سیگنال خروجی دقیقتر با استفاده از برخی تکنیکها مانند شکل دهی پرتو ۳، را دارد که در آن سیگنالهای ورودی را با هم ترکیب کرده و نویز را در آنها کاهش می دهد.

۱ Medium Access Control (MAC)

۲ Time Division Multiple Access (TDMA)

۳ Beam-forming

۹. کیفیت خدمات: در بسیاری از کاربردها، یک داده بایستی در طول یک دوره زمانی خاص از لحظه ای که فرستاده می‌شود به گره مقصد تحویل داده شود وگرنه در غیر این صورت آن داده بلا استفاده خواهد بود. به عبارت دیگر تاخیر محدود برای تحویل داده، یکی دیگر از شرایط برای کاربردهای دارای محدودیت زمان است. به هر حال در برخی از کاربردها، ذخیره و صرفه جویی در مصرف انرژی که مستقیماً به طول عمر شبکه وابسته است بسیار مهم تر از کیفیت داده انتقال داده شده است. هنگامی که انرژی در حال اتمام است، ممکن است که لازم باشد تا شبکه کیفیت نتایج را به منظور کاهش مصرف انرژی در گره ها، کاهش دهد و به این ترتیب طول عمر کلی شبکه را افزایش دهد.

بنابراین همان طور که در بالا هم اشاره شد، پروتکل های مسیریابی که به صورت مطلع از انرژی کار می کنند، لازم است نیازمندیهای بالا را برآورده کنند. علیرغم اختلاف قابل ملاحظه موجود در کاربردهای مختلف حسگرها، وظیفه اصلی گره های حسگر بیسیم، حس کردن و جمع آوری کردن داده از یک حوزه هدف، پردازش و انتقال داده ها به عقب و به یک سری مکان های خاص که آن کاربرد خاص در آنجا اقامت دارد می باشد. رسیدن به یک چنین کارایی در انجام وظیفه، نیازمند توسعه یک سری پروتکل های مسیریابی موثر بر انرژی است. که این پروتکل ها باید بتوانند مسیریابی را بین گره های حسگر و ایستگاه پایه برقرار کنند. درحقیقت انتخاب مسیر باید طوری باشد که طول عمر شبکه را ماکزیمم کند. در واقع مشخصات محیطی که گره های حسگر در آن کار می کنند به اضافه محدودیت های شدید انرژی و منابع موجود، مسئله مسیریابی را بسیار چالش برانگیز کرده است.

در ادامه توضیح مختصری از استراتژی های مسیریابی اساسی که به منظور برقرار کردن تعادل بین میزان پاسخگویی از یک طرف و کارایی سیستم از لحاظ مصرف انرژی ازسوی دیگر به کار گرفته می شدند ارائه خواهیم کرد. برقرار کردن چنین تعادلی منجر به چالش های جدیدی می شود که لایه های شبکه را درحالت هایی متفاوت از شبکه های بیسیم زیرساختار و شبکه های موردی قرار می دهند.

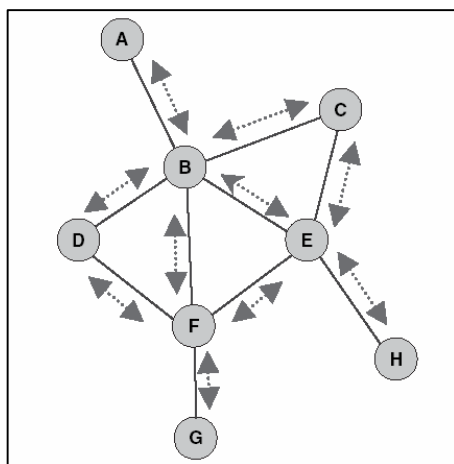
اگرچه موضوع شبکه های حسگر بی سیم و مسیریابی در آنها در نخستین مراحل رشدش قرار گرفته است و مسئله مسیریابی در این شبکه ها به عنوان یک موضوع قابل بحث برای تحقیقات اخیر مطرح است، اما استراتژی های مختلفی نیز به عنوان راه حل های کارگشا، برای مسئله مسیریابی مطرح شده اند. هم چنین از آنجائی که به کارگیری این نوع از شبکه ها در زمینه های مختلف بسیار بیشتر شده است، پیشرفت در سخت افزار شبکه و تکنولوژی باتری ها، راه به کارگیری عملی و موثر بر هزینه این دسته از پروتکل های مسیریابی را هموار خواهد کرد. اکثر کاربردهای شبکه های حسگر بی سیم، دارای شباهتهای زیادی هستند از لحاظ این که راه هایی که حسگرها در این شبکه ها برای جمع آوری و پخش داده به منظور اجرای اهدافی که در تعقیب آنها هستند استفاده می کنند، مشابه است. در اکثر این گونه کاربردها، حسگرها ابتدائاً، به منظور حس کردن محیط و ضبط و احتمالاً پردازش خوانده هایشان، قبل از این که اطلاعات جمع آوری شده را از طریق ایستگاه پایه به طرف جایی که کاربر اقامت دارد بفرستند طراحی شده اند. فرآیند جمع آوری داده و هدایت آن به سمت جلو، به وسیله رخداد وقایع ویژه در محیطی که حسگرها آرایش یافته اند رهبری می گردند. در بسیاری از موارد مناسب است که داد ههایی که به وسیله حسگرهای مختلف جمع آوری شده اند قبل از ارسال به طرف ایستگاه پایه، متراکم گردند. در حقیقت، این تراکم داده، تعداد پیغام هایی که انتقال داده می شوند را کاهش می دهند و منجر به کاهش مشخصی در مصرف انرژی ناشی از نقل و انتقالات می شود.

### روش های پیشنهاد شده برای مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم

روش های مسیریابی مختلفی تا کنون برای شبکه های حسگر بی سیم پیشنهاد شده اند که هیچ یک از آنها نتوانسته به عنوان کاملترین و بهترین روش تحت همه شرایط عمل کند. درحقیقت با توجه به مسائلی که در مورد این شبکه ها گفته شد، همواره مصالح های بین عوامل مختلف در انتخاب یک روش به عنوان مسیریابی بایستی برقرار شود. در ادامه این بخش، برخی از معروفترین روش های مسیریابی پیشنهادی برای این شبکه ها را معرفی خواهیم کرد.

روش ارسال سیل آسا<sup>۱</sup>

ارسال سیل آسا، یک تکنیک متداول است که غالباً برای کشف مسیر و انتشار اطلاعات در شبکه های باسیم و یا شبکه های موردی بی سیم به کار گرفته می شوند. استراتژی مسیریابی در این روش بسیار ساده است و بر روی نگهداری توپولوژی شبکه به صورت هزین هبر و یا الگوریتم های کشف مسیر پیچیده تکیه نمی کند. ارسال سیل آسا، در حقیقت روش انفعالی را به کار می گیرد به این ترتیب که هر گرهی که یک بسته داده و یا یک بسته کنترلی را دریافت می کند آن بسته را برای همه همسایه هایش می فرستد. بعد از انتقال، یک بسته همه مسیرهای ممکن را دنبال می کند. مگر این که شبکه قطع شود، وگرنه بسته سرانجام به مقصدش میرسد. به علاوه چنان چه توپولوژی شبکه تغییر کند، بسته ای که انتقال داده شده است، مسیرهای جدید را دنبال می کند. شکل ۲ اصول روش ارسال سیل آسا را در یک شبکه مخابراتی نشان می دهد.

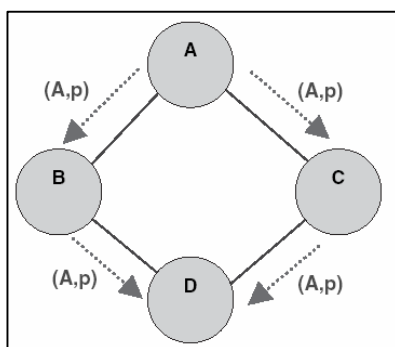


شکل ۲- اصول روش ارسال سیل آسا [۱۳]

همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، ارسال سیل آسا در ساده ترین شکلش، ممکن است باعث شود که بسته ها به وسیله گره های شبکه به صورت نامحدود برگردانده شوند. برای جلوگیری از این که یک بسته در داخل شبکه به طور نامحدود بچرخد، معمولاً یک رشته شماره پرش، در داخل بسته قرار داده می شود. به صورت اولیه، شماره پرش به صورت تقریبی برابر با قطر شبکه قرار داده می شود. هنگامی که بسته، در داخل شبکه حرکت می کند، شماره پرش به ازای هر پرشی که بسته می پیماید، یک واحد کاهش مییابد، هنگامی که شماره پرش بسته به صفر برسد، بسته به سادگی از پرش دست می کشد و دور انداخته می شود. یک روش دیگر برای حل این مشکل استفاده از یک رشته زمان برای زندگی یا رشته طول عمر است که این رشته، تعداد واحدهای زمانی که یک بسته مجاز است در داخل شبکه زندگی کند را نگه می دارد. بعد از سپری شدن این زمان و اتمام آن، بسته دیگر فرستاده نمی شود. روش ارسال سیل آسا، می تواند از طریق مشخص کردن بسته های داده به صورت منحصر به فرد از یکدیگر و وادار کردن هر گره شبکه برای دور انداختن همه بسته هایی که قبلاً فرستاده شده اند، بهبود یابد. البته چنین استراتژی ای، نیازمند نگه داشتن حداقل تاریخچه آخرین ترافیک است، به این منظور که مشخص شود کدامیک از بسته های داده قبلاً فرستاده شده اند. علیرغم سادگی قواعد انتقال و جلو بردن داده و هزینه نسبتاً پایین نگهداری که برای روش ارسال سیل آسا لازم است، اما این روش هنگام استفاده در شبکه های حسگر بی سیم، نقصها و کاستی هایی نیز دارد. اولین عیب روش ارسال سیل آسا، آمادگی و قابلیت این روش برای انفجار ترافیکی، همان طور که در شکل ۳ آمده، می باشد.

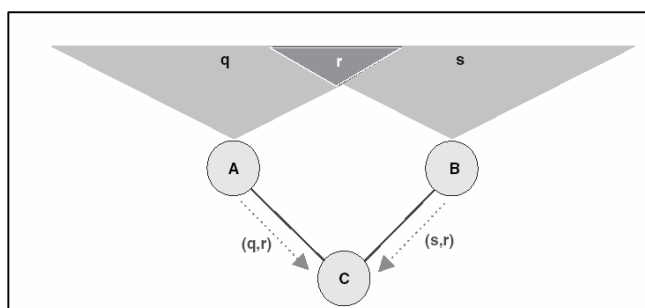
1 Flooding





شکل ۳- انفجار ترافیکی در روش ارسال سیل آسا [۱۳]

این اثر نامطلوب، در اثر فرستاده شدن نسخه های تکراری بسته های داده و یا کنترلی به گره یکسان به وجود می آید. دومین عیب عمده روش ارسال سیل آسا، مسئله اصطکاک و یا روی هم افتادگی است. در شکل ۴ مسئله اصطکاک و روی هم افتادگی نشان داده شده است.



شکل ۴- اصطکاک و همپوشانی در روش ارسال سیل آسا

این مشکل هنگامی اتفاق می افتد که دو گره که ناحیه یکسانی را می پوشانند، بسته هایی که شامل اطلاعات یکسانی هستند را به گره یکسانی می فرستند. سومین و مهم ترین عیب روش ارسال سیل آسا، کوری منابع است از آن جایی که روش و قاعده انتقال بسیار ساده ای که روش ارسال سیل آسا، برای مسیریابی بسته ها استفاده می کند، به بررسی محدودیت انرژی گره های حسگر نمی پردازد. این امر ممکن است منجر به تخلیه سریع انرژی گره ها شود و لذا طول عمر شبکه را کاهش بخشد. با توجه به عیبهای روش ارسال سیل آسا، روش جدیدی که از همین روش مشتق شد پیشنهاد گردید. این روش گوسپیپینگ<sup>۱</sup> (روش خبرکشی) نامیده شد [۱۴]. این روش نیز، مشابه با روش ارسال سیل آسا، یک راه ساده برای انتقال و به جلو بردن داده استفاده می کند و مشابه روش قبلی، نیازی به نگهدارنده توپولوژی گران قیمت و یا الگوریتم های کشف مسیر پیچیده ندارد. اما برخلاف روش ارسال سیل آسا، که یک بسته داده را به سمت همه همسایه هایش می فرستد، در این روش هر گره، بسته های دریافت شده اش را به طرف یکی از همسایه هایش که به طور تصادفی انتخاب شده است، می فرستد. به محض دریافت بسته، همسایه ای که به صورت تصادفی انتخاب شده بود، یکی از همسایگانش را تصادفاً انتخاب کرده و بسته را برای آن گره انتخاب شده می فرستد. این فرآیند، تا زمانی که بسته به آن مقصد مورد نظرش برسد و یا شماره پرش ماکزیمم رد شود، ادامه پیدا می کند. روش گوسپیپینگ، از معضل انفجار ترافیکی به وسیله محدود کردن تعداد بسته هایی که هر گره به طرف همسایه اش می فرستد، به یک نسخه جلوگیری می کند. یکی از مشکلات این روش آن است که، میزان تاخیری که یک بسته تا زمان رسیدن به مقصد تحمل میکند، ممکن است بیش از اندازه زیاد شود و این موضوع به ویژه در شبکه های بزرگ، بیشتر

<sup>1</sup> Gossiping

نمایان می شود و این به دلیل طبیعت تصادفی پروتکل که به صورت ذاتی، در یک لحظه یک مسیر را پیدا می کند، به وجود آمده است.

### روش های مبتنی بر خوشه بندی<sup>۱</sup>

یکی از معروفترین و بهترین روشهایی که به منظور مسیریابی داده ها در شبکه های حسگر بی سیم پیشنهاد گردید، روشهایی بود که بر مبنای دسته بندی کردن گره ها و یا به عبارت دیگر بر مبنای خوشه بندی کار می کرد. در این روشها، ابتدا همه گره های داخل شبکه بر اساس روش خاصی به دسته هایی تفکیک می شدند که در هر دسته که اغلب آن را خوشه می نامند، یک گره به عنوان سرگروه دسته انتخاب می شود و بقیه گره ها، گره های عادی نامیده می شدند. روش انتخاب سرگروه در هر روش، معیارهای متفاوتی را مدنظر قرار می دهد. در اکثر روشهای مبتنی بر خوشه، هدف اصلی آن است که توزیع مصرف انرژی بین همه گره ها یکنواخت گردد [۱۵].

اولین و معروفترین روش مبتنی بر خوشه بندی روشی بود که LEACH<sup>۲</sup> خوانده می شود [۱۶] [۱۷، ۱۸]. این روش به عنوان اولین روش دست هبندی کردن گره های حسگر به وسیله Heinzelman و همراهانش پیشنهاد گردید. در این روش به منظور انتخاب سرگروه هر خوشه، از یک آستانه استفاده می شود. به این ترتیب که هر گره یک عدد بین صفر و یک تولید می کند و آن را با آستانه مفروض مقایسه می کند. در صورتی که عدد تولید شده از آستانه مورد نظر کمتر باشد، گره مورد نظر به عنوان سرگروه انتخاب می شود.

به دنبال پیشنهاد روش LEACH، روشهای دیگری نیز با الهام گرفتن از این روش و به منظور بهبود عملکرد روش LEACH معرفی شدند که توانستند تا حدی عملکرد این روش را از لحاظ مصرف انرژی بهبود بخشند. از جمله این روشها میتوان به X-LEACH و LEACH Improved اشاره کرد [۱۹]. در حقیقت در روشهایی که بر اساس دسته بندی کردن گره ها کار می کنند، گره های حسگر نقشهای مختلفی را ایفا می کنند و بنا به نقشهایی که می گیرند ممکن است مصرف انرژی متفاوتی نیز داشته باشند. این دسته از روشها، جز بهترین الگوریتم های مسیریابی در این شبکه هاست و هم اکنون نیز با الهام گرفتن از آنها روش های جدیدی برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد می شوند.

### روش مبتنی بر زنجیر

یکی دیگر از روشهای مفیدی که به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم پیشنهاد گردید روشی بود که بر اساس یک ساختار زنجیری عمل می کند. در این روش در ابتدای عملکرد شبکه، همه گره ها بصورت یک ساختار زنجیری با طول حداقل در نظر گرفته می شوند و سپس یک گره به عنوان رهبر زنجیر انتخاب می شود. این گره، مسئولیت انتقال اطلاعات نهایی شبکه به سمت ایستگاه پایه را بر عهده خواهد داشت. روش مبتنی بر زنجیر PEGASIS<sup>۳</sup> از لحاظ مصرف انرژی بهتر از روش LEACH عمل می کند اما یکی از مهمترین عیبهای این روش، تاخیر زیاد در انتقال نهایی داده به سمت ایستگاه پایه است. علت این تاخیر آن است که فقط یک گره همه داده ها را بعد از متراکم نمودن به ایستگاه نهایی خواهد فرستاد.

روشهای دیگری با الهام گرفتن از روش مبتنی بر زنجیر و به منظور بهبود عملکرد آن پیشنهاد شدند که اغلب به جای ساختار زنجیری از یک ساختار درختی بهره می گیرند. با این روشها، میزان تاخیر تا حد زیادی کاهش پیدا می کرد. در حقیقت در این روشها از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می شد و در هر مرتبه یک گره، اطلاعات را به گره های سلسله بالاتر منتقل می کند. این روشها که در مراجع [۲۵] معرفی شدند عملکرد بهتری از لحاظ میزان تاخیر در تحویل داده نسبت به روش مبتنی بر زنجیر PEGASIS از خود نشان می دهند.

1 Cluster Based Methods

2 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

3 Powe Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)

## روش‌های مطلع از انرژی<sup>۱</sup>

دسته دیگری از روشهایی که به منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی سیم معرفی شدند، از یک فرض منطقی برای پروتکل خود استفاده می کنند. در اغلب این روشها که روشهای مطلع از انرژی خوانده می شوند، فرض می شود که هر گره حسگر در هر لحظه بتواند تخمینی از انرژی باقیمانده منبع توانش بزند [۲۶]. این فرض با توجه به اینکه مدل مصرف انرژی کاملاً واضح است و همچنین تعداد پرشهایی که به وسیله هر گره پیموده می شود نیز تقریباً مشخص است فرضی منطقی است. از جمله روشهایی که بر اساس اطلاع از انرژی باقیمانده گره ها کار می کنند میتوان به روشهای X-LEACH و ERA و Improved LEACH و HEED اشاره کرد. توجه شود که روشهایی که بر اساس اطلاع از انرژی باقیمانده گره‌ها کار می کنند به این دلیل که در انتخاب نقش برای گره ها، مسئله انرژی را مدنظر قرار می دهند می توانند طول عمر شبکه را در مقایسه با روش‌های قبلی افزایش بخشند.

## نقش شبکه‌های عصبی در کاهش مصرف انرژی شبکه‌های حسگر

شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup>، سیستمی بزرگ از اجزاء پردازشی موازی یا توزیع شده بنام نورون<sup>۳</sup> یا سلول عصبی است که در یک توپولوژی گراف به هم متصل شده‌اند. نورون‌ها از طریق ارتباطات وزن‌داری بنام سیناپس<sup>۴</sup> به هم متصل می‌شوند. داده‌ها جدا از پردازش ذخیره نمی‌شوند، زیرا داده‌ها ذاتاً به هم متصل هستند. به عبارت دیگر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های ریاضی هستند که قادر به یادگیری نگاشت‌های پیچیده بین ورودی(ها) و خروجی(ها) از طریق آموزش تحت نظارت<sup>۵</sup> بوده یا قادر به رده‌بندی اطلاعات ورودی به روشی بدون نظارت<sup>۶</sup> می‌باشند. قوانین آموزش این شبکه‌ها الهام گرفته از علم زیست‌شناسی بوده و نحوه یادگیری شبکه را تعیین می‌کنند. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی وجود دارند که هر کدام بنا بر کاربرد خود از توانایی‌های مختلفی برخوردار می‌باشند. در اغلب شبکه‌های عصبی، آموزش شبکه بر اساس یادگیری به وسیله مثال<sup>۷</sup> انجام می‌شود. یعنی مجموعه‌ای از داده‌های ورودی-خروجی درست به شبکه داده می‌شود. شبکه عصبی با استفاده از این مثال‌ها، مقادیر وزن‌های ارتباطی خود را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که داده‌های ورودی جدید بتوانند پاسخ‌های درستی را به عنوان خروجی شبکه تولید کنند. به این فرایند، یادگیری<sup>۸</sup> گفته می‌شود. یکی از مهمترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی توانایی تشخیص داده‌هایی است که تحت تاثیر نویز یا دستکاری عمدی قرار گرفته‌اند. شبکه عصبی آموزش دیده، می‌تواند تغییرات ناخواسته و نامطلوب را حذف کرده و داده اصلی را شناسایی کند. دسته مهم دیگری از شبکه‌های عصبی، شبکه‌های خودسازمانده<sup>۹</sup> (بدون نظارت) هستند که می‌توانند به طور خودکار به دسته‌بندی و رده‌بندی داده‌های ورودی بپردازند.

یکی از دشوارترین مسایل در شبکه‌های عصبی مصنوعی، انتخاب مناسب‌ترین توپولوژی شبکه‌ای برای مساله است. این انتخاب به ویژگی‌های مساله، ویژگی‌های محتمل‌ترین روش برای حل آن مساله و به مشخصات شبکه‌های عصبی که باید ساخته شوند، بستگی خواهد داشت. همچنین انواع مختلفی از قوانین آموزشی وجود دارند. این قوانین، الهام گرفته از علم زیست‌شناسی بوده و نحوه یادگیری شبکه را تعیین می‌کنند. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی وجود دارند که هر کدام بنا بر کاربرد خود دارای توانایی‌های مختلفی هستند. توانایی شبکه‌های حسگر به ساختار، پویایی و روش‌های آموزشی آن بر می‌گردد. مهمترین کاربردهای شبکه‌های عصبی را به طور کلی می‌توان پیش‌بینی، رده‌بندی و شناسایی ذکر نمود.

1 Energy Aware

2 Artificial Neural Network

3 neuron

4 synapse

5 supervised learning

6 Unsupervised

7 learning by example

8 learning

9 Self Organizing

اما سؤال مهمی که در اینجا مطرح می‌شود این است که شبکه‌های عصبی چگونه می‌توانند به ذخیره انرژی (کاهش مصرف انرژی) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم کمک کنند؟

برخی از این الگوریتم‌ها که برای شبکه‌های عصبی توسعه یافته‌اند، به دلایل برخورداری از ویژگی‌های زیر به سادگی با ویژگی‌ها و نیازمندی‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم، قابل انطباق هستند، این ویژگی‌ها عبارتند از:

- پردازش توزیع شده و موازی ساده
- ذخیره‌سازی توزیع شده داده
- استحکام داده‌ای<sup>۱</sup> و تحمل خطا<sup>۲</sup>
- رده‌بندی خودکار داده‌های حسگری
- کاهش ابعاد داده<sup>۳</sup>
- پیش‌بینی داده‌های حسگر
- هزینه محاسباتی پایین

در سکوها شبکه‌های حسگر بی‌سیم که از ماهیت فازی<sup>۴</sup> و غیرقابل پیش‌بینی برخوردار بوده و پارامترهای مختلفی در رفتار آن‌ها نقش دارند، شبکه‌های عصبی از طریق کاهش ابعاد داده که به سادگی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی شبکه‌های عصبی به دست می‌آید، می‌توانند منجر به کاهش ارتباطات و ذخیره انرژی گردند [۴۲]. به علاوه از آنجایی که شبکه‌های حسگر بی‌سیم ماهیت متمرکز دارند، یعنی اینکه داده‌های حاصل از همه گره‌های شبکه باید به یک ایستگاه مبنا ارسال شوند، قابلیت شبکه عصبی در پیش‌بینی اندازه‌گیری‌های گره‌های حسگر می‌تواند، ارتباطات غیرضروری را به شدت کاهش داده و باعث ذخیره انرژی شبکه گردد.

انگیزه مهم دیگر برای به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، وجود شباهت ذاتی بین این دو است. چنانچه نویسندگان در [۴۳] قویاً اعتقاد دارند که شبکه‌های عصبی مصنوعی از معماری مشابه با شبکه‌های حسگر بی‌سیم برخوردارند؛ به طوری که نوروها معادل گره‌های حسگر و ارتباطات وزن‌دار (سیناپس‌ها) معادل لینک‌های رادیویی می‌باشند. همچنین آن‌ها این طور نتیجه می‌گیرند که به‌کارگیری الگوی شبکه عصبی در محیط شبکه‌های حسگر می‌تواند منجر به درک بهتر و عمیق‌تر محیط گردد. با این دیدگاه، می‌توان کل شبکه حسگر را به عنوان یک شبکه عصبی در نظر گرفت که در آن هر گره حسگر برای تصمیم‌گیری در مورد فعالیت خروجی خود از یک شبکه عصبی استفاده کند. بنابراین، پیاده‌سازی کارای شبکه‌های عصبی که از محاسبات ساده‌ای برخوردار باشد، می‌تواند جایگزین الگوریتم‌های سنتی پردازش سیگنال شده و پردازش داده‌ها در گره‌های حسگر را با مصرف منابع (انرژی و محاسباتی) کمتری امکان‌پذیر سازد.

نکته مهم و قابل توجه‌ای که باید ذکر شود این است که شبکه‌های عصبی، در واقع خود روش‌های کاهش مصرف انرژی نیستند و نمی‌توانند بطور مستقل به ذخیره انرژی کمک کنند بلکه به‌عنوان ابزاری هوشمند و توانمند می‌توانند توسط روش‌های کاهش مصرف انرژی به کار گرفته شوند به طوری که این روش‌ها را به شکلی کارا تر، مطلوب‌تر و آسان‌تر به اهداف خود برسانند. بنابراین طرح‌ها (روش‌ها)ی کاهش مصرف انرژی مطابق همان روش‌های قبلی هستند. اگرچه چنانچه گفته شد، انگیزه‌هایی برای یکپارچگی شبکه‌های عصبی در شبکه‌های حسگر وجود دارد. برای مثال قراردادن یک شبکه عصبی در هر گره حسگر.

روش‌های انرژی آگاه<sup>۵</sup> مبتنی بر شبکه‌های عصبی را می‌توان بر اساس نقشی که شبکه‌های عصبی در آن‌ها ایفا می‌کند، یا بر اساس توپولوژی خاص شبکه‌ای و یا بر اساس اینکه در کدام یک از طرح‌های کاهش مصرف انرژی کاربرد دارند، دسته‌بندی

1 Data robustness

2 Fault tolerance

3 Dimensionality reduction

4 fuzzy

۵ Energy aware

کرد. جدول (۱) دسته‌بندی بدین منظور ارائه می‌دهد. همان طور که در جدول (۱) می‌بینید، برخی از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی ممکن است در بیش از یک گروه قرار گیرند یا ممکن است زیرمجموعه‌ای از سایر گروه‌ها باشند (برای مثال انتساب داده‌ها<sup>۱</sup> زیرمجموعه‌ای از ترکیب داده است) لیکن جهت تاکید بیشتر بطور مستقل و جداگانه ذکر شده‌اند. همچنین با توجه به آمار جدول (۱)، شبکه‌های عصبی نقشه خودسازماندهی (SOM)، نسبت به سایر توپولوژی‌های شبکه عصبی از کاربرد بیشتری در روش‌های ذخیره انرژی برخوردارند. اگرچه این کاربرد وسیع از طریق انطباق بیشتر با داده‌های چندبعدی و طبیعت خودسازمانده و فازی شبکه‌های حسگر بی‌سیم قابل توجیه است، لیکن نیاز به انجام مطالعات بیشتر در خصوص سایر توپولوژی‌های شبکه عصبی احساس می‌شود.

جدول ۱: طبقه‌بندی روش‌های کاهش مصرف انرژی مبتنی بر شبکه‌های عصبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

|   | نقشی که شبکه عصبی می‌تواند ایفا کند | توپولوژی شبکه عصبی   | طرح ذخیره انرژی مربوطه                      |
|---|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| ۱ | کشف مسیرآگاه از انرژی               | SOM, BP              | چرخه وظایف- مسیریابی                        |
| ۲ | خوشه‌بندی آگاه از انرژی گره‌ها      | SOM                  | چرخه وظایف- مسیریابی                        |
| ۳ | انتخاب گره سرخوشه                   | SOM                  | چرخه وظایف- مسیریابی                        |
| ۴ | اجتماع یا ترکیب داده‌های حسگر       | SOM, BP, RBF         | کاهش میزان داده- پردازش درون شبکه‌ای        |
| ۵ | انتساب داده                         | Hopfield             | کاهش میزان داده- پردازش درون شبکه‌ای        |
| ۶ | انتساب داده متحرک                   | Competitive Hopfield | کاهش میزان داده- پردازش درون شبکه‌ای        |
| ۷ | رده‌بندی محیط یا داده               | SOM, MEMs & ART1     | کاهش میزان داده- پردازش درون شبکه‌ای        |
| ۸ | پیش‌بینی داده                       | BP, Elman ARMA & RBF | کاهش میزان داده- پیش‌بینی داده و چرخه وظایف |

## نتیجه‌گیری

امروزه شبکه‌های بی‌سیم به عنوان ابزاری کارآمد در کلیه زمینه‌های کاهش مصرف انرژی شامل چرخه وظایف، روش‌های داده‌گرا و روش‌های مبتنی بر قابلیت تحرک کاربرد دارند. شبکه‌های بی‌سیم با کمک شبکه‌های عصبی توانایی بی‌مانند خود در پیش‌بینی، رده‌بندی، شناسایی و ترکیب داده‌های حسگر و همچنین با رفع چالش‌های موجود می‌توانند اثر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و افزایش طول عمر عملیاتی آن‌ها ایفا کنند.

## منابع

- [1] Akkaya K, Younis M.A. (2005) *Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks*. Elsevier Adhoc Network Journal, pp. 325-349.
- [2] Alkaraki J N, Kamal A. E. (2004). *On the Correlated Data Gathering Problem in Wireless Sensor Networks*. Proceedings of the 9th IEEE Symposium on Computers and Communications, Alexandria, Egypt.
- [3] Hedetniemi S, Liestman A. (1988). *A Survey of Gossiping and Broadcasting in Communication*

<sup>۱</sup> Data association

- Networks*, IEEE Networks, Vol. 18, No. 4, pp. 319-349.
- [4] Schurgers C, Srivastava M. B.(2001).Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the IEEE Military Communications Conference (MilCom'01): Communications for Network-Centric Operations-Creating the Information Force, McLean, VA.
- [5] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H.(2000).Energy-Efficient Communication protocol for Wireless Microsensor Networks,Proceeding of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'00), Maui, HI.
- [6] Heinzelman W, Kulik J, Balakrishnan H.(1999).Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, pp. 174-185.
- [7] Heinzelman W,Chandrakasan A,Balakrishnan H.(2002).An Application-Specific protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, No.4.
- [8] Handy M,Hasse M, Timmermann D.(2002).Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic ClusterHead Selection, IEEE MWCN, Stockholm, Sweden.
- [9] Younis O, Krunz M, Ramasubramanian S.(2006).**Node Clustering in Wireless Sensor Networks:** Recent Development Challenges, IEEE Network, Vol.20, issue 3, pp. 20-25.
- [10] Park S, Srivastava M.(1999).Power aware routing in sensor networks using dynamic source routing, ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks.
- [11] Kulakov A,Davcev D, Trajkovski G.(2002).Application of wavelet neural-networks in wireless sensor networks,In: Sixth International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, pp. 262-267.
- [12] Oldewurtel F,Mahonen P.(2006).Neural Wireless Sensor Networks, In: International Conference on Systems and Networks Communications, ICSNC '06.





## بررسی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی<sup>۱</sup>

شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده

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.

**واژگان 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 تقاضا 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 آن‌هاست، 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 فناوری‌هایی پربازده‌تر و سالم‌تر 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

۱- این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

مواد، سبب بهبود بسیاری از خواص مانند سطح مفید، استحکام، صرفه جوئی در میزان ماده مصرفی و غیره می‌گردد. در صنعت نفت و گاز نیز از آنجا که قدرت، پایداری و ابعاد تجهیزات مورد استفاده از اهمیت به سزائی 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 پاسخگوئی به روند رشد روز افزون تقاضای جهانی جهت تامین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره برداری قرار گیرند و یا با استفاده از فناوری های گوناگون، نفت و گاز در جا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرآیند های ازدیاد برداشت مورد بهره برداری قرار گیرد. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی تر و اصولی تر می باشد. امروزه فناوری نانو در زمینه ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و گازی، پیشرفت های 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 دهنده ها را در جهت پیوستگی شن کاهش می دهند و یا استفاده از نانو مواد فعال سطحی<sup>۱</sup> که سبب افزایش میزان برداشت از مخازن به نسبت کاملاً کنترل شده می گردد.

در سال ۲۰۰۹ قجری و همکارانش با تکیه بر ایده ی استفاده 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 نفت تر و یا میانه به آب تر تبدیل کرد. بدین منظور تغییرات آب دوستی با استفاده از روش زاویه تماس روی مغزه های شنی و کربناته مورد ارزیابی قرار گرفته شد. همچنین این کار روی مغزه های اشباع شده با آب نمک و نفت که آب نمک و نانو ذره با دو غلظت مختلف به آن ها 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 بدست آمده 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<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۰ مطالعاتی را روی تاثیر تزریق آب بوسیله استفاده از نانو پودر SiO<sub>2</sub> در ناحیه نفتی با نفوذ پذیری کم انجام دادند. آن ها میدان نفتی داکینگ<sup>۳</sup> را برای شبیه سازی آزمایشات خود انتخاب کردند. آزمایش های آن ها نشان داد که فناوری تزریق نانو پودر SiO<sub>2</sub> می‌تواند تزریق پذیری 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 تیانتیانگ زانگ<sup>۴</sup> به بررسی پایداری امولسیون ها بوسیله نانو ذرات و کاربرد آن ها در ازدیاد برداشت نفت پرداخت. در این پژوهش امولسیون پایدار و تثبیت شده بوسیله نانوذرات سیلیکا با قطر ۵ نانومتر با پوشش سطح های 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 آب دوست، 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

1 - Surfactants

2 - Kelian Wang

3 - Daqing

4 - Tiantian Zang

با افزایش شوری کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که امولسیون به خواصی از قبیل رفتار فازی، ساختار درونی امولسیون و رئولوژی غلظت نانوذرات، شوری و نسبت حجم اولیه آب و نفت وابسته می‌باشد [۴]. سلیمانوف 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 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، برداشت ثانویه، برداشت ثالثیه، برداشت (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 کلاهک گازی مخزن

❖ رانش توسط آب

❖ ریزش ثقلی در مخزن

### ب) برداشت ثانویه از مخزن

روش های برداشت ثانویه از مخزن در اثر تلاش بشر برای بهبود میزان برداشت از مخزن و پس از آنکه روش های 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

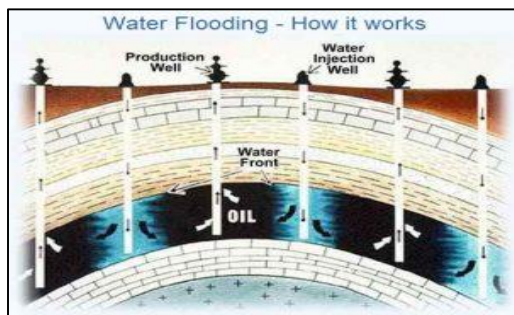
6- Ultimate Recovery

## سیلابزنی با آب

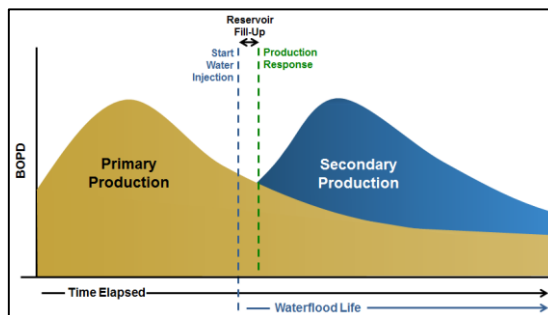
این روش شامل تزریق آب در داخل مخزن می‌شود. اهداف این روش عبارتند از:

- 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].

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].



شکل (۱): زمان اجرای تزریق آب جهت ازدیاد برداشت ثانویه

[۸]

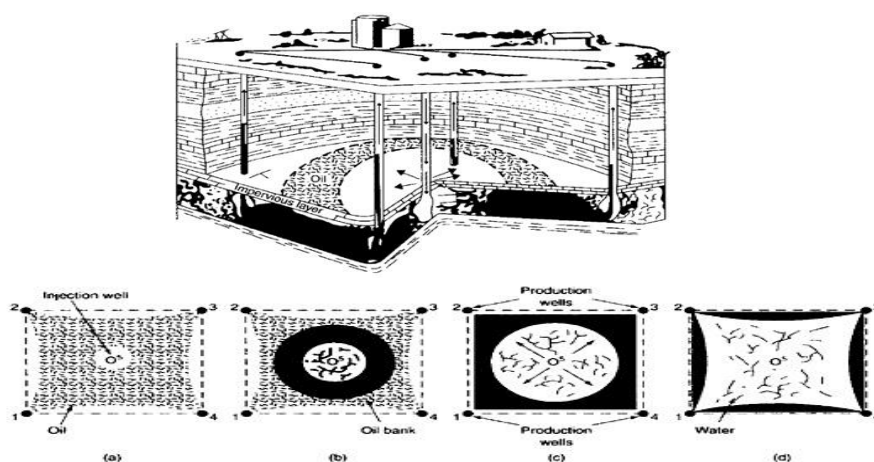
هدف از تزریق آب در مخزن تامین انرژی مورد نیاز برای رانش نفت به وسیله ثابت نگه داشتن فشار یا به وسیله جارو کردن نفت در شرایطی که تخلیه طبیعی جوابگوی میزان تولید مورد نیاز نیست، می‌باشد [۸]. تزریق آب به دو صورت تزریق در سفره های آبی موجود و تزریق در ستون نفتی در مخازن کاربرد دارد. راندمان تزریق آب در مخازن نفتی آب دوست<sup>۱</sup> بسیار بیشتر از

<sup>۱</sup> Water wet

بازدهی آن در مخازن نفتی نفت دوست<sup>۱</sup> 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

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

- میزان پیش بینی شده بازافت نفت
- دبی تولید نفت

<sup>1</sup> Oil wet

- 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 بصرفه 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 نانوکامپوزیتی 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 کاربردهای اساسی نانو ذرات، تغییر دادن میزان ترشوندگی<sup>۱</sup> 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  $ZrO_2$ ،  $CaCO_3$ ،  $TiO_2$  و  $SiO_2$  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

<sup>۱</sup> - Wettability



نانو (نانوسورفکتانت) و سورفکتانت‌های پلیمری تقسیم بندی نمود. در 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 سرگروه‌های قطب مغناطیسی تمام مولکول را در آب می‌کشند. به هر حال، وقتی که طول زنجیره هیدروکربن بزرگتر از چهارده اتم کربن است این ترکیب‌ها سورفکتانت غیر حلال در آب نامیده می‌شوند. به این دلیل که آن‌ها 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 آن‌ها نانو سورفکتانت اطلاق می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده توسط محققان، فعالیت مواد با اندازه آن‌ها و نیز میزان سطح فعال آن‌ها رابطه دارد. این پدیده می‌تواند بیانگر این امر باشد که خواص سورفکتانت‌ها (که همان فعالیت‌های سطحی آن‌ها می‌باشد) نیز با کاهش ابعاد به گونه بسیار چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در حالت عادی می‌توان گفت که پوشاندن یک سطح با سورفکتانت‌های کلاسیک، نسبت به نانوسورفکتانت‌ها حدود ۱۰۰ برابر ماده بیشتری می‌طلبد. همچنین خودآرائی مولکول‌ها در نانوسورفکتانت‌ها به گونه بسیار بهتری صورت می‌پذیرد. یکی از مهم‌ترین خواص سورفکتانت‌ها، محلول امولسیون‌ها یعنی قطرات و حباب‌های کوچکی است که از یک مایع در مایع دیگر تشکیل می‌شود [۱۲]. بر اساس خاصیت دم خود به دسته‌های 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 مهم‌ترین خواص سورفکتانت‌ها، محو امولسیون‌ها یعنی قطرات و حباب‌های کوچکی است که از یک مایع در مایع دیگر تشکیل می‌شود. برای مثال زمانی که از عملیات سیلاب زنی با سورفکتانت و پلیمر در مخازن استفاده می‌شود، امولسیون‌های آب-روغن شکل می‌گیرند که برای جداسازی آن‌ها مجدداً از انواع سورفکتانت‌ها استفاده می‌گردد [۱۴]. هدف اولیه از استفاده از سورفکتانت‌ها در ازدیاد برداشت از مخازن، کاهش کشش سطحی، تصحیح ترشوندگی سنگ مخزن و کاهش ویسکوزیته نفت می‌باشد. با اینحال بسیاری از این مواد در فواصل ابتدائی سازند جذب شده و یا تاثیر معکوسی بر ترشوندگی دارند. بنابراین سبب کاهش تاثیر آن‌ها در پائین آوردن فشار موئینگی می‌گردد. در حالیکه هدف، کاهش فشار موئینگی و افزایش تراوانی سازند در ازدیاد برداشت می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهند که نانوسورفکتانت‌ها 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 آن‌ها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آن‌ها افزایش چشمگیری می‌یابد [۱۵].

### ازدیاد برداشت با استفاده از هیدروژل‌های 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 شکاف‌ها، از ژل‌ها یا روش‌های دیگر برای مدیریت آب مخزن استفاده شود. در این روش، ترک‌ها (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 هیدروژل‌ها، پلیمرهای سه بعدی آبدوستی هستند که در تماس با آب متورم شده ولی حل نمی‌شوند.

<sup>1</sup> - Nonionic

<sup>2</sup> - Anionic

<sup>3</sup> - Cationic

<sup>4</sup> - Amphoteric

امروزه از انواع این مواد که در فرآیند ازدیاد برداشت استفاده می شود می توان به ژل های 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 می گردد که به اختصار به آن ها NC gels اطلاق می شود. این ژل ها تمایل 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.

## منابع

- [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  $\text{SiO}_2$  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 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 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). شوینده‌ها 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<sub>2</sub> 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.



بررسی کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان با استفاده از میراگرهای ویسکوز در حوزه‌ی فرکانس  
امیر شاه محمدیان، محمد رضا منصوری، میرحمید حسینی

بررسی نقش بافرزون در حفاظت از تالاب استیل آستارا  
لیلا اوشک سرائی، محدثه آخسته

نقش مدیریت بحران در کاهش آسیب‌های زلزله در استان سیستان و بلوچستان  
علی ریگی، سپیده زوار براشکی

بررسی رفتار چرخ‌های قاب مهاربندی کمان شتاب با پارامتر تقاضای شکل‌پذیری تجمعی  
احسان دهقانی، نرگس بابایی

مطالعه آزمایشگاهی نحوه شستشوی نفت از سنگ مخزن در سیلاب‌زنی با استفاده از سی.تی.اسکن چرخشی  
شهرام جلیلی تلچگاه، اسدالله ملک زاده

طراحی، ساخت و کنترل ربات پرنده چهار ملخه کوچک برای طی مسیر خاص با استفاده از روش پرواز کور  
سید محمد سیدمهدی، مجید محمدی مقدم

روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و نقش شبکه‌های عصبی در کاهش مصرف انرژی آن‌ها  
جواد نیک افشار

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

## پژوهش‌های نوین فصلنامه علمی

۰۲۱ ۳۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷  
۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۷



۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱ ۲۴  
۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۸

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