

ISSN: 2538-3809

فصلنامه علمی تخصصی

മുസ്ലിം സമൂഹത്തിന്റെ
മുന്നിലുള്ള

سال هفتم، شماره ۱ (پیاپی ۳۷)، بهار ۱۴۰۱

تخمین وزن سازه بال هواپیما جت مسافربری بارائه
فرمولاسیون نوین
محمد امین فرهنگدفر، محمدعلی وزیری زنجانی

پیش بینی سطح نرخ تورم با استفاده از یادگیری ماشین
محمد حسنونند، مجتبی صفابخش، کورش روح الهی

میشم نادریان

ارایه یک استراتژی کنترلی بهینه برای حفاظت منبع تغذیه بی‌وقفه مبتنی بر اینورتر منبع ولتاژ در مقابل انواع اضافه جریان
احسان آرامی، بابک صفری چابک، سینا یزدانی، سجاد غلامرضایی
سرویات

ارزیابی تغییر مکان ماندگار ساختمانهای بتن مسلح بهسازی شده با CFRP تحت زلزله های بلند مدت

افزایش ضریب بازیافت نفت با تزریق غیرامتزاجی گازهای H_2S و CO_2 در مخزن نفتی اهواز
فرشید جمالی نسب

مروری بر کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش
بینی عملکرد انرژی ساختمان
سحر لبافان



نشریه

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

چاپ

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

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

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

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

فراخوان پذیرش مقاله:

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

محورها و موضوعات پذیرش مقاله:

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

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	تخمین وزن سازه بال هواپیما جت مسافربری با ارائه فرمولاسیون نوین محمد امین فرهمندفر، محمدعلی وزیری زنجانی
۹	پیش‌بینی سطح نرخ تورم با استفاده از یادگیری ماشین محمد حسنونند، مجتبی صفابخش، کورش روح الهی
۲۳	بررسی ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی پالایشگاه نفت ستاره بندرعباس با تکنیک EFMEA میثم نادریان
۳۵	ارایه یک استراتژی کنترلی بهینه برای حفاظت منبع تغذیه بی‌وقفه مبتنی بر اینورتر منبع ولتاژ در مقابل انواع اضافه جریان احسان آرامی، بابک صفری چابک، سینا یزدانی، سجاد غلامرضایی سرولات
۴۷	ارزیابی تغییر مکان ماندگار ساختمان‌های بتن مسلح بهسازی شده با CFRP تحت زلزله های بلند مدت محراب اکراقنبری
۵۷	افزایش ضریب بازیافت نفت با تزریق غیرامتزاجی گازهای CO ₂ و H ₂ S در مخزن نفتی اهواز فرشید جمالی نسب
۶۵	مروری بر کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان سحر لبافان

تخمین وزن سازه بال هواپیما جت مسافری با ارائه فرمولاسیون نوین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

محمد امین فرهمندفر^{۱*}، محمدعلی وزیری زنجانی^۲

چکیده

پس از طراحی مقدماتی هواپیما و استخراج پارامترهای اولیه هواپیما به جهت گام نهادن به مرحله بعد و ارائه اوزان به تیم‌های طراحی از جمله سازه، پیشران‌ش و سایر گروه‌ها بایستی به بررسی دقیق‌تر اوزان بر اساس داده‌های آماری و همچنین پس از اعتبارسنجی اوزان به استخراج اوزان با استفاده از فرمول‌های موجود بر اساس تحقیقات و بی‌بعد سازی‌های صورت گرفته پرداخت. راسکم [۱] که از پیشگامان عرصه طراحی هواپیما می‌باشد اوزان بخش سازه را به زیر بخش‌های بال، بدنه، دم‌ها، ارایه فرود و قنداق موتور تقسیم کرده است. بال به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های سازه مورد بررسی دقیق قرار گرفته و در ۲ مدل‌سازی ارائه شده که متدهای تورنیک و جنرال داینامیک می‌باشند تفاوت بسیار زیادی میان اوزان فرموله شده با اوزان واقعی و اعتبارسنجی شده مشاهده گردیده که به ارائه فرمول آمپریک جدید با تمرکز بر شمول بر هواپیماهای مسافری رژیونال به روز در این پژوهش گردیده است. نتایج حاصله نشان دهنده تطابق مناسب فرمول ارائه شده نسبت به فرمول تورنیک و جنرال داینامیک می‌باشد.

واژگان کلیدی: هواپیما، تخمین وزن بال، راسکم، جنرال داینامیک، تورنیک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (نویسنده مسئول)
fmaf.farahmand@aut.ac.ir

۲- هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

در فرایند طراحی هواپیما، پس از ارائه محاسبات طراحی مقدماتی و طراحی جزئیات ارائه حد مجاز اوزان به سرپرست تیم‌های طراحی به منظور ادامه فرایند طراحی نهایی از مهم‌ترین بخش‌ها می‌باشد. اوزان ذکر شده در گام اولیه به سه بخش کلی سازه، پیشران و سیستم‌ها تقسیم می‌گردند. در بخش سازه نیز به زیربخش‌های اصلی بال، بدنه، دم‌های افقی و عمودی، ارايه فرود و قنداق موتور پرداخته می‌شود. در سال ۲۰۱۵ طی یک تحقیق تاکاهاشی و لموندز [۲] با در نظر گرفتن هندسه هواپیما و استفاده از روش المان محدود با فرض المان تیر برای بال و نیروهای وارده در مانور و پاکت پروازی بر هواپیما و شرایط فرود سخت و سایر پارامترهای واقعی به تخمین وزن مورد نیاز سازه بال پرداختند. در پژوهشی دیگر الهام [۳] در سال ۲۰۱۳ به توسعه یک روش پیشرفته و شبه تحلیلی برای وزن بال هواپیما با استفاده از تکنیک‌های اولیه اندازه‌گیری جعبه بال برای محاسبات مقاومت مورد نیاز در برابر بارهای اعمالی در ترکیب با روش‌های تجربی پرداخته است. چپوزوتو [۴] در سال ۲۰۱۶ طی پروژه‌ای به بررسی آیروداستیسیته استاتیک بال پرداخته و تاثیر واگرایی آیروداستیک و کنترل معکوس ایلرون با در نظر گرفتن کماتش لمینت‌های کامپوزیتی به تخمین وزن بال پرداخته شده است. أردما و همکاران [۵] در سال ۱۹۹۶ در ناسا به بررسی تخمین وزن بدنه و بال هواپیما ترابری با استفاده از روش تحلیلی مبتنی بر هندسه و روش المان محدود بر مبنای پاکت پروازی و نیروهای موثر در آن پرداختند و گزارشات ارائه شده و تطابق آن با نتایج تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۲۸ جیمز لپ [۶] به ارائه روشی به جهت تخمین وزن سریع بال با در نظر گرفتن نیروهای موثره و هندسه بال برای هواپیماهای بزرگ پرداخت که منجر به روشی تقریبی و سریع برای شرکت داگلاس گردید. در سال ۱۹۸۵ راسکم [۷] در کتاب طراحی هواپیما در بخش تخمین وزن برای سازه بال هواپیماهای ترابری به دو متد جنرال داینامیک و تورنیک برای این دسته از هواپیماها اشاره شده است که بر اساس پارامترهای وزنی و هندسی هواپیما به ارائه تخمینی سریع از وزن سازه بال می‌پردازند. الشامه و رشیدی [۷] در پژوهش خود مدلی برای تخمین سریع وزن هواپیما ارائه کرده‌اند که در آن فرمول ارائه شده خود را با مدل‌های ارائه شده توسط تورنیک و کرو و ریمر در بخش سازه بال مقایسه کرده و در نهایت فرمول ریمر که کمترین مقدار محاسبه شده را به نمایش می‌گذاشت به عنوان حالت بحرانی مد نظر گرفته است. کرییت [۸] در تحقیقی با موضوع تخمین وزن بال هواپیما پس از توضیح مشخصه‌های موثر در تخمین وزن بال به ارائه مدل خود بر اساس تعداد متغیرهای اصلی پرداخته و رگرسیون‌های انجام شده را منتشر کرده است. در سال ۲۰۱۶ چپوزوتو [۹] در طراحی اولیه بال با در نظر گرفتن مباحث آیروداستیسیته محتمل در بال برای بال‌های کامپوزیتی و آلومینیومی دارای ضریب منطری بالا با در نظر گرفتن تئوری نواری به تحلیل در نرم افزار نسترن پرداخته و نتایج حاکی از کاهش ۱۱ تا ۱۴ درصدی وزن بال با متود ارائه شده گردیده است. دیابنه و کیپوروس [۱۰] در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ با عنوان مروری بر روش‌های تخمین وزن بال هواپیما به بررسی متودهای ارائه شده برای تخمین وزن سریع بال پرداخته و غالب روش‌ها را در این پژوهش با بیان متغیرها گردآوری کرده‌اند. سالوی [۱۱] در پژوهش خود با بررسی بال ایده آل و تحلیل استاتیکی آن و در نظر گرفتن ضریب تصحیح، به ارائه فرمول تخمین وزن بال پرداخته است.

۲- تخمین وزن بال

۲-۱- معرفی عناصر رابطه

در این پژوهش با شناخت هندسه بال هواپیماهای ترابری جت و پارامترهای طراحی آن و اشراف بر تئوری تخمین وزن آن‌ها به بررسی فرمول تورنیک پرداخته شده است. در این راستا می‌بایست در ابتدا به شناخت هندسه بال بپردازیم:

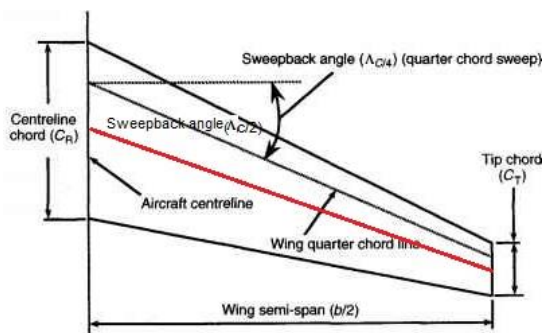
سوئپ (A): در بال هنگامی که از ریشه بال به سمت نوک بال پیش می‌رویم در برخی هواپیماها بال با زاویه‌ای گاه یا به عقب رانده شده یا جلو. مطابق شکل ۱ شاهد سوئپ رو به عقب یک بال هستیم که در دو موقعیت ۰.۲۵ کورد و ۰.۵ کورد نشان داده شده است. از جمله تاثیرات آن می‌توان به افزایش زیبایی، افزایش ماخ رشد درگ در فاز گذرا، سنگین تر شدن سازه بال، تغییر منحنی لیفت اشاره کرد.

دهانه بال (b): به فاصله میان دو انتهای بال دهانه بال گفته می‌شود در شکل ۱ نمایی از نصف بال را مشاهده می‌کنیم که در آن نصف دهانه بال مشخص شده است. هرچه دهانه بال افزایش یابد شاهد کاهش سرعت مورد نیاز جهت فرود و راحتی خلبان خواهیم بود ولی از محدودیت‌های باند و آشیانه و وزن بال نیز نباید غافل شد چرا که این افزایش منجر به افزایش وزن بال می‌گردد که در ادامه حساسیت آن مورد بررسی قرار گرفته است.

ایرفویل ریشه: ریشه بال بخشی از بال است که به بدنه نزدیک‌تر است، در هواپیماهای گذشته که بال به صورت یک تکه بر روی بدنه نصب می‌شد دقیقاً وسط طول بال ریشه بال بود ولی در هواپیماهای جدیدتر که بدنه و بال به دلایل آیرودینامیکی در یکدیگر به شکلی بسیار خاص و متبخرانه ادغام شده‌اند کمی متفاوت است. به ایرفویل استفاده شده در این مقطع نیز ایرفویل ریشه

بال گفته می‌شود. تاثیر ایرفویل بر خواص آیرودینامیک بال بر همگان واضح است ولی با در نظر گرفتن بیشینه ضخامت بال به عنوان یک پارامتر موثر در وزن می‌توان به صورت مستتر تاثیر عواملی همچون تاثیر کورد، تاثیر نسبت ضخامت بر کورد، تاثیر نوع ایرفویل استفاده شده را بررسی کرد.

مساحت گراس بال (S): در نمای بالا بال، مساحتی که تصویر بال در این ناحیه ایجاد می‌کند که شامل بخشی از بال که امتداد آن نیز درون بدنه هواپیما می‌باشد، می‌شود را مساحت گراس بال می‌نامند و هرچه مقدار مساحت افزایش یابد در عین افزایش خوش دستی و راحتی در کاهش سرعت فرود و برخاست برای خلبان شاهد افزایش وزن تحمیلی خواهیم بود که این امر الزام انتخاب مساحت بهینه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر شماتیک بال و پارامترهای آن

ضریب منظر (A): ضریبی بی بعد که از نسبت مربع دهانه بال بر مساحت بال حاصل شده و در بسیاری از فرمول‌ها و پارامترهای طراحی هواپیما نقشی کلیدی ایفا می‌کند.

نسبت باریک شونده‌گی بال (lambda): نسبت وتر انتهایی بال به وتر ریشه بال گفته می‌شود که نمایانگر میزان باریک شونده‌گی بال است. پس از شناخت هندسه بال به ۲ پارامتر اصلی بیشینه وزن بدون سوخت هواپیما و بیشینه ضریب گرانش هواپیما اشاره خواهد شد.

بیشینه ماخ پروازی (M_H): بیشینه ماخ پرواز در سطح دریا بوده که برای جنگنده‌های پرقدرت هم از ۱,۱ ماخ بیشتر نخواهد بود اما این رنج برای گونه هواپیماهای مسافربری در رقابت بین ۰,۷ تا ۰,۷۵ بوده و بیشتر نیست.

بیشینه وزن بدون سوخت (W_{MZF}): همان طور که از نام آن مشخص است چنانچه از بیشینه وزن برخاست هواپیما وزن سوخت آن کسر گردد، بیشینه وزن بدون سوخت هواپیما حاصل می‌گردد. در هواپیماها برای طراحی بال معمولاً با در نظر گرفتن ضریب اطمینان برای سازه آن مقدار وزن بارگذاری هواپیما بدون در نظر گرفتن سوخت بسیار اهمیت خاصی دارد به طوری که گاهاً با وجود این که هواپیمایی مقدار مشخصی قابلیت حمل سوخت داشته ولی نمی‌تواند از میزانی نسبت به مقدار وزن برخاست هواپیما در بال‌ها سوخت کمتری استفاده نماید که این امر ناشی از اهمیت این پارامتر خواهد بود.

بیشینه ضریب گرانش (n_{ult}): طراحان حد نهایی شتابی که هواپیما می‌تواند بدون آسیبی تحمل کند را بر اساس ضریبی از شتاب جاذبه گرانش اعلام می‌کنند که به آن بیشینه ضریب گرانش هواپیما گفته می‌شود. در هواپیماهای مسافربری این عدد از ۳ کمتر بوده و آن را در حدود ۲-۳ در نظر می‌گیرند چرا که مسافر نیز تحمل شتاب بیش از آن را نداشته و مناسب نمی‌باشد. در غالب تحقیقات ذکر شده در مقدمه، با مطالعه دقیق می‌توان دریافت که پارامترهای موثر در تخمین وزن بال غالباً تغییرات زیادی نیافته و فقط تفاوت در شیوه بکارگیری آن‌ها و ضرایب در فرمول‌هاست.

در کتاب راسکم برای تخمین سریع وزن بال بر اساس پارامترهای اصلی بال هواپیما مسافربری ۲ متد جنرال داینامیک و تورنیک ارائه شده است که این دو برای حتی هواپیماهای ذکر شده در خود کتاب راسکم برای جت‌های مسافربری نیز تفاوت بسیار زیادی با اوزان ارائه شده از سوی کارخانه‌های هواپیماسازی را نشان می‌دهد. فرمول‌های جنرال داینامیک و تورنیک [۱۲] برای این بخش از هواپیماها به ترتیب به شرح ذیل می‌باشند:

$$W_w = \frac{\{0.00428(S^{0.48})(A)(M_H)^{0.43}(W_{TO}n_{ult})^{0.84}(\lambda)^{0.14}\}}{[100(t/c)_m]^{0.76}(\cos \Lambda_{\frac{1}{2}})^{1.54}} \quad (1)$$

$$W_w = 0.0017 W_{MZF} \left(\frac{b}{\cos \Lambda_{c/2}} \right)^{0.75} \left(1 + \left\{ \frac{6.3 \cos \Lambda_{c/2}}{b} \right\}^{1/2} \right) (n_{ult})^{0.55} \left(\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Lambda_{c/2}} \right)^{0.3} \quad (2)$$

که در فرمول فوق پارامتر t_r بیشینه ضخامت ایرفویل ریشه بال است.

۲-۲- حساسیت سنجی رابطه جنرال داینامیک

بررسی‌های انجام شده حاکی از تفاوت زیاد محاسبات ناشی از فرمول فوق با داده‌های موجود و اعتبارسنجی شده هواپیما را حکایت می‌کند فلذاً با بررسی نمونه‌های آماری و تجربی و آنالیز حساسیت پارامترهای دخیل به شرح ذیل پرداخته شده است: بخش بندی فرمول به پارامترهای اصلی M_H ، W_{TO} ، $\Lambda_{c/2}$ ، n_{ult} و λ و بررسی حساسیت رابطه (۱) به هریک از پارامترهای یاد شده:

در این بخش هواپیما MD 80 برای بررسی جهت حساسیت سنجی بنا بر دلایل ذیل مورد بررسی قرار گرفته است:

جدول ۱- مشخصات هواپیما MD 80

جهت بررسی حساسیت

پارامتر	مقدار
$w_{MZF} (lb)$	۱۰۵۶۶۰٫۵
$b(ft)$	۱۰۷٫۶۸
$S(ft^2)$	۱۲۷۰
A	۹٫۱۳
$\Lambda_{C/2}$	۱۶
t_r	۲٫۸۲۹۸۲۶
λ	۰٫۲۳
M_H	۰٫۷

- وجود اطلاعات کافی و دقیق برای بررسی.
- استفاده شرکت‌های هواپیمایی بزرگی مانند ایران ایر، آسمان، ماهان ایر.
- هواپیمایی دارای ۲ موتور قدرتمند (امروزه بیشتر طراحان به علت کاهش هزینه‌های نگهداری و وزن هواپیما به دنبال کاهش تعداد موتور و استفاده از موتورهای کارآمد هستند که منجر به انتخاب معمول ۲ موتور در این سبک از مسافربری‌ها می‌گردد).
- شروع کننده خانواده‌ای از نسل سری MD می‌باشد که ناشی از پتانسیل طراحی این هواپیماست.

- به ازای افزایش ۰٫۱ واحد در M_H ، ۴۹۷٫۶۱ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۲ درجه در $\Lambda_{C/2}$ ، ۱۳۹٫۳۹ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۱ واحد در A ، ۹۲۲٫۲۲ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۱۰ فوت مربع در S ، ۳۱٫۷۶ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۰٫۲ واحد در λ ، ۹۸٫۸۶ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۵۰۰ پوند در W_{TO} ، ۲۵٫۲۵ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای کاهش ۰٫۲ واحد در n_{ult} ، ۵۰۸٫۱۶ پوند کاهش وزن بال را متحمل خواهیم شد.

۲-۳- حساسیت سنجی رابطه توربنیک

بررسی‌های انجام شده حاکی از تفاوت زیاد محاسبات ناشی از فرمول فوق با داده‌های موجود و اعتبارسنجی شده هواپیما را حکایت می‌کند فلذا با بررسی نمونه‌های آماری و تجربی و آنالیز حساسیت پارامترهای دخیل به شرح ذیل به تصحیح این فرمول پرداخته شده است:

۱. بخش بندی فرمول به پارامترهای اصلی w_{MZF} ، b ، $\Lambda_{C/2}$ ، n_{ult} ، S و t_r و بررسی حساسیت رابطه (۲) به هریک از پارامترهای یاد شده:

در این بخش هواپیما MD 80 برای بررسی جهت حساسیت سنجی مورد بررسی قرار گرفته است.

- حساسیت به پارامتر w_{MZF} با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۱۰۵۶۶۰٫۵ پوند و ۱۰۶۱۶۰٫۵ پوند و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷٫۴۴۰۰۲ پوند و ۱۰۸۲۳٫۱۴۸۰۶ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۵۰۰ پوند افزایش بیشینه وزن بدون سوخت هواپیما ۳۵٫۷۰۸۰۴ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.
- حساسیت به پارامتر b با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۱۰۷٫۶۸ فوت و ۱۱۰٫۹۶۱ فوت و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷٫۴۴۰۰۲ پوند و ۱۱۱۰۱٫۰۳۹۶۷ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۳٫۲۸۱ فوت افزایش دهانه بال هواپیما با فرض ثابت بودن مساحت گراس، ۳۱۳٫۶ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.
- حساسیت به پارامتر $\Lambda_{C/2}$ با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۱۶ درجه و ۱۸ فوت و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷٫۴۴۰۰۲ پوند و ۱۰۸۹۷٫۸۸۳۳ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۲ درجه افزایش زاویه سوئیپ بال هواپیما با فرض ثابت بودن مساحت گراس، ۱۱۰٫۴۴ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.
- حساسیت به پارامتر n_{ult} با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۲٫۸ و ۲٫۷ و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷٫۴۴۰۰۲ پوند و ۱۰۵۷۳٫۸۱۱۰۹ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۰٫۱ واحد افزایش n_{ult} ۲۱۳٫۶۳ پوند کاهش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.
- حساسیت به پارامتر S با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۱۲۷۰ فوت مربع و ۱۲۸۰ فوت مربع و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷٫۴۴۰۰۲ پوند و ۱۰۸۱۲٫۸۵۲۲۵ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۱۰ فوت مربع افزایش مساحت بال، ۲۵٫۴۱ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.

- حساسیت به پارامتر t_r با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر برای مقدارهای ۲,۸۲۹۸ فوت و ۳,۸۲۹۸ فوت و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷,۴۴۰۲ پوند و ۹۸۵۱,۲۹۹ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۱ فوت افزایش ضخامت ریشه بال، ۹۳۶,۱۴ پوند کاهش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.

۲. بخش بندی فرمول به پارامترهای ترمی ترمی W_{MZF} ، $\frac{b}{\cos \Delta_{c/2}}$ ، $1 + \left\{ \frac{6.3 \cos \Delta_{c/2}}{b} \right\}^{1/2}$ و $\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}}$ و n_{ult} و بررسی حساسیت رابطه ۱ به هریک از پارامترهای یاد شده:

حساسیت به پارامتر $\frac{b}{\cos \Delta_{c/2}}$ با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر بدست می‌آید و خواهیم داشت:

$$W_w = 0.0017 \times 105660.5 \times \left(\frac{b}{\cos \Delta_{c/2}} \right)^{0.75} \left(1 + \left\{ \frac{6.3 \cos 16}{107.68} \right\}^{1/2} \right) (2.8)^{0.55} \left(\frac{107.68 \times 1270}{2.8298 \times 105660.5 \times \cos 16} \right)^{0.3}$$

با انجام بررسی حساسیت این پارامتر برای مقدارهای ۱۱۲,۰۱۹۴۴ فوت و ۱۱۵,۰۱۹۴۴ فوت و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷,۴۴۰۲ پوند و ۱۱۰۳,۳۹۷ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۳ فوت افزایش این ترم، ۲۱۵,۹۶ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.

حساسیت به پارامتر $1 + \left\{ \frac{6.3 \cos \Delta_{c/2}}{b} \right\}^{1/2}$ با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر بدست می‌آید و برابر این روش خواهیم داشت:

$$W_w = 0.0017 \times 105660.5 \times \left(\frac{107.68}{\cos 16} \right)^{0.75} \left(1 + \left\{ \frac{6.3 \cos \Delta_{c/2}}{b} \right\}^{1/2} \right) (2.8)^{0.55} \left(\frac{107.68 \times 1270}{2.8298 \times 105660.5 \times \cos 16} \right)^{0.3}$$

با انجام بررسی حساسیت این پارامتر برای مقدارهای ۱,۳۳۷۱۵ و ۱,۳۳۷۱۵ و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷,۴۴۰۲ پوند و ۱۱۶۵۹,۳۹۸۷۹ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۰,۱ افزایش این ترم، ۸۷۲ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.

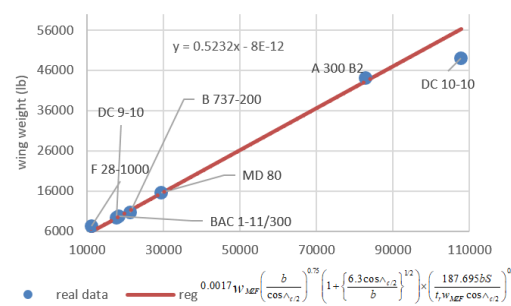
حساسیت به پارامتر $\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}}$ با در نظر گرفتن مقداری ثابت برای سایر پارامترها و تغییر این پارامتر بدست می‌آید و برابر این روش خواهیم داشت:

$$W_w = 0.0017 \times 105660.5 \times \left(\frac{107.68}{\cos 16} \right)^{0.75} \left(1 + \left\{ \frac{6.3 \cos 16}{107.68} \right\}^{1/2} \right) (2.8)^{0.55} \left(\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}} \right)^{0.3}$$

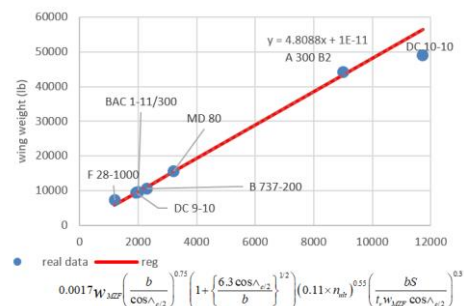
با انجام بررسی حساسیت این پارامتر برای مقدارهای ۰,۴۷۵۸ و ۰,۶۷۵۸ و حصول مقادیر ۱۰۷۸۷,۴۴۰۲ پوند و ۱۱۹۸۴,۹۵۷۵۳ پوند، می‌توان دریافت به ازای هر ۰,۲ افزایش این ترم، ۱۱۹۷,۵ پوند افزایش وزن سازه بال را شاهد خواهیم بود.

۲-۴- ارائه فرمول نوین و بررسی حساسیت

با در نظر گرفتن محاسبات فوق و بررسی بازه تغییرات برای هواپیماهای ذکر شده در راسم که در جداول (۲) و (۳) ذکر شده است برای پارامترهای بخش ۱ و ۲ می‌توان فرمول تورنیک را بر اساس رگرسیون خطی شکل ۲ و محاسبه شیب خط و مقایسه با رابطه کلی ۱، با تصحیح ۰,۱۱ برای ترم n_{ult} و تصحیح ۱۸۷,۶۹۵ برای ترم $\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}}$ که موثر از تمام پارامترهای یاد شده به جز n_{ult} می‌باشد، با توجه به شکل ۳ و طی روندی مشابه در نظر گرفت.



شکل ۲- نمودار تاثیر n_{ult}



شکل ۳- نمودار ضریب تاثیر رابطه $\frac{bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}}$

نتیجه موارد فوق مطابق رابطه‌ای به شرح ذیل می‌باشد:

$$W_w = 0.0017 W_{MZF} \left(\frac{b}{\cos \Delta_{c/2}} \right)^{0.75} \left(1 + \left\{ \frac{6.3 \cos \Delta_{c/2}}{b} \right\}^{1/2} \right) (0.11 \times n_{ult}) \left(\frac{187.695 \times bS}{t_r W_{MZF} \cos \Delta_{c/2}} \right)^{0.3} \quad (3)$$

حساسیت فرمول فوق نسبت به پارامترهای یاد شده به شرح ذیل می‌باشد:

- به ازای افزایش ۱، واحد در n_{ult} ، ۳۰۰ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۲ درجه در $\Delta_{c/2}$ ، ۱۵۷،۷ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۳،۲۸۱ فوت در b ، ۴۴۷،۹ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۱۰ فوت مربع در S ، ۳۶،۳ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۱ فوت در t_r ، ۱۳۳۷ پوند کاهش وزن بال را متحمل خواهیم شد.
- به ازای افزایش ۵۰۰ پوند در w_{MZF} ، ۵۱ پوند افزایش وزن بال را متحمل خواهیم شد.

۳- صحت سنجی فرمول نوین

به جهت بررسی فرمول ابتدا به جمع آوری داده‌های هواپیماهای مسافربری جت در جدول (۲) و جدول (۳) پرداخته شده است.

جدول ۲- بررسی آماری بخشی اول مشخصات تعدادی بالگرد

نام هواپیما	$w_{MTO} (lb)$	$w_{MZF} (lb)$	$b(ft)$	$S(ft^2)$	$\Delta_{c/2}$	$t_r (ft)$
BAC 1-11/300	۸۷۰۰۰	۷۱۰۰۰	۸۸،۴۸	۱۰۰۳	۱۶	۲،۳۰۱۱۸
DC 9-10	۹۱۵۰۰	۶۶۷۵۷	۸۹،۴	۹۳۴	۱۶	۲،۱۴۱۰۷
B 737-200	۱۱۵۵۰۰	۹۳۰۵۶،۱	۹۳	۹۸۰	۲۵	۳،۶۹۸۴۲
F 28-1000	۶۵۰۰۰	۴۸۱۵۸،۹۷	۷۷،۴۲	۸۲۲	۱۶	۲،۷۰۳۴
DC 10-10	۴۳۰۰۰۰	۳۰۲۲۵۷،۰۶	۱۵۵،۳	۳۸۶۱	۲۵	۵،۱۶۷۸۵
A 300 B2	۳۰۲۰۰۰	۱۹۵۱۴۲	۱۴۷،۱	۲۷۹۹	۲۰	۲،۴۳۵۴۶
MD 80	۱۴۰۰۰۰	۱۰۵۶۶۰،۵	۱۰۷،۶	۱۲۷۰	۱۶	۲،۸۲۹۸۲

جدول ۳- بررسی آماری بخشی دوم مشخصات تعدادی بالگرد

نام هواپیما	$w_{MTO} (lb)$	A	λ	t/c
BAC 1-11/300	۸۷۰۰۰	۷،۸۰۵	۰،۳۵	۰،۱۰
DC 9-10	۹۱۵۰۰	۸،۵۵۷	۰،۲۲	۰،۰۹
B 737-200	۱۱۵۵۰۰	۸،۸۲۶	۰،۲۷	۰،۰۸
F 28-1000	۶۵۰۰۰	۷،۲۹۲	۰،۴	۰،۰۹
DC 10-10	۴۳۰۰۰۰	۶،۲۵	۰،۲۶	۰،۱۰
A 300 B2	۳۰۲۰۰۰	۷،۷۳۱	۰،۲۸	۰،۰۹
MD 80	۱۴۰۰۰۰	۹،۱۳	۰،۲۳	۰،۰۹

سپس با استفاده از داده‌های جدول (۲) و جدول (۳) و رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳) نتایج، جدول (۴) را شکل می‌دهد:

جدول ۴- نتایج رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳)

وزن بال تخمینی رابطه (۱) (پوند)	وزن بال تخمینی رابطه (۲) (پوند)	وزن بال تخمینی رابطه (۳) (پوند)	نام هواپیما
۴۲۱۸،۹۸۹۶۷۴	۶۷۱۷،۴۳۴۳۸۹	۹۵۹۴،۱۲۳۴۵۱	BAC 1-11/300
۴۷۳۴،۱۵۰۱۵۵	۶۴۹۸،۷۸۱۵۳۲	۹۲۸۱،۸۳۴۲۰۷	DC 9-10
۷۴۸۷،۵۳۶۵۰۸	۷۷۵۱،۳۲۰۳۳۷	۱۱۰۷۰،۷۶۳۰۲	B 737-200
۳۰۹۵،۵۷۸۷۱۹	۴۰۵۱،۰۰۲۲۴	۵۷۸۵،۸۱۲۴۶	F 28-1000
۲۵۹۳۴،۶۷۴۶۱	۳۹۴۹۰،۶۳۹۰۳	۵۶۴۰۲،۱۹۸۲۲	DC 10-10
۲۱۱۵۳،۷۸۸۷۷	۳۰۳۰۵،۲۸۴۳۸	۴۳۲۸۳،۲۸۶۸۴	A 300 B2
۸۴۱۹،۹۰۳۴۶۳	۱۰۷۸۷،۴۴۰۰۲	۱۵۴۰۷،۰۷۷۳۵	MD 80

به منظور صحت سنجی نتایج از اطلاعات موجود در کتاب راسکم برای هواپیماهای ذکر شده استفاده نموده و نتایج جدول (۵) حاصل می‌گردد.

جدول ۵- داده‌های کتاب راسکم از وزن سازه بال

نام هواپیما	حداکثر وزن برخاست (پوند)	ضریب وزن بال	وزن بال (پوند)
BAC 1-11/300	۸۷۰۰۰	۰,۱۱۱	۹۶۵۷
DC 9-10	۹۱۵۰۰	۰,۱۰۳	۹۴۲۴,۵
B 737-200	۱۱۵۵۰۰	۰,۰۹۲	۱۰۶۲۶
F 28-1000	۶۵۰۰۰	۰,۱۱۳	۷۳۴۵
DC 10-10	۴۳۰۰۰۰	۰,۱۱۴	۴۹۰۲۰
A 300 B2	۳۰۲۰۰۰	۰,۱۴۶	۴۴۰۹۲
MD 80	۱۴۰۰۰۰	۰,۱۱۱	۱۵۵۴۰

حال با بررسی نتایج، جدول (۶) شکل می‌گیرد که خطای روابط (۱)، (۲) و (۳) را نشان می‌دهد.

جدول ۶- خطا روابط (۱)، (۲) و (۳)

نام هواپیما	وزن بال (پوند)	درصد خطا رابطه (۱)	درصد خطا رابطه (۲)	درصد خطا رابطه (۳)
BAC 1-11/300	۹۶۵۷	۵۶,۳۱	۳۰,۴۴	۰,۶۵۱۱
DC 9-10	۹۴۲۴,۵	۴۹,۷۷	۳۱,۰۴	۱,۵۱۳۸
B 737-200	۱۰۶۲۶	۲۹,۵۴	۲۷,۰۵	۴,۱۸۵۶
F 28-1000	۷۳۴۵	۵۷,۸۵	۴۴,۸۵	۲۱,۲۲۷۸
DC 10-10	۴۹۰۲۰	۴۷,۰۹	۱۹,۴۴	۱۵,۰۶۵۹
A 300 B2	۴۴۰۹۲	۵۲,۰۲	۳۱,۲۷	۱,۸۳۴۱
MD 80	۱۵۵۴۰	۴۵,۸۲	۳۰,۵۸	۰,۸۵۵۳

۴- بحث و نتیجه گیری

برای صحت سنجی روابط از اعداد منتشر شده در کتاب راسکم که از سازندگان هواپیماهای یاد شده دریافت گردیده و استفاده شده است و داده‌های ذکر شده برای محاسبه روابط نیز از همین کتاب و نقشه‌های سه نما موجود و طی عملیات مهندسی استخراج گردید.

با نتیجه گیری از جدول (۶)، می‌توان به تطابق خوب فرمول ارائه شده برای هواپیماهای این دسته اشاره نمود و برای دو هواپیما DC 10-10 و F 28-1000 با در نظر گرفتن بهبود خطا نسبت به فرمول می‌بایست به علل بالا بودن خطا فرمول ارائه شده برای این دو هواپیما اشاره نمود که از مجموعه علل آن می‌توان به تاثیر ضخامت زیاد مقطع ریشه بال هواپیمای DC 10-10 اشاره نمود که به علت عقب رفتن بال و نصب موتورهای سنگین این هواپیما می‌باشد و در مورد هواپیما F 28-1000 می‌توان علت این تفاوت را که ناشی از سنگینی سازه بال به علت افزایش مساحت بال نسبت به میزان مورد نیاز طراحی این هواپیما و در نظر گرفتن اتصال سازه‌ای محافظه کارانه برای این هواپیما در پروسه ساخت اشاره نمود.

طبق روند و تحلیل‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که رابطه ارائه شده تطابق بهتری با داده‌های سازنده هواپیما داشته و بهتر از رابطه تورنیک و جنرال داینامیک به بیان تخمینی نزدیک‌تر در عین سریع بودن روند، نشان می‌دهد. شایان ذکر است که روند موجود را برای سایر هواپیماها نیز بر اساس تخمین‌های مهندسی و اعتبار سنجی اوزان بر اساس داده‌های آماری سایر هواپیماها طی شده است ولی در این پژوهش به ذکر هواپیماهای فوق به علت در دسترس بودن اطلاعات سازندگان بسنده شده است.

1. J. Roskam, Airplane Design: Part 5-Component Weight Estimation. DARcorporation, 1985.
2. T. T. Takahashi and T. Lemonds, "Transport Category Wing Weight Estimation Using A Optimizing Beam-Element Structural Formulation," in 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2015, p. 1898.
3. Elham, G. La Rocca, and M. J. van Tooren, "Development and implementation of an advanced, design-sensitive method for wing weight estimation," Aerospace Science and Technology, vol. 29, no. 1, pp. 100-113, 2013.
4. G. P. Chiozzotto, "Conceptual design method for the wing weight estimation of strut-braced wing aircraft," in 5th CEAS Air & Space Conference, Delft, The Netherlands, 2015.
5. M. D. Ardema, M. C. Chambers, A. P. Patron, A. S. Hahn, H. Miura, and M. D. Moore, "Analytical fuselage and wing weight estimation of transport aircraft," 1996.
6. J. E. LIPP, "Estimation of Wing Weights," Journal of the Aeronautical Sciences, vol. 5, no. 12, pp. 491-493, 1938.
7. O. Al-Shamma and R. Ali, "Aircraft weight estimation in interactive design process," in Procs 72nd Annual International Conference on Mass Properties Engineering, 2013.
8. J. Carreyette, "Aircraft Wing Weight Estimation: A Brief Summary of the Accuracy of Some Methods of Prediction and a Suggested 'First Approximation' of Greater Accuracy," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 1950.
9. G. P. Chiozzotto, "Wing weight estimation in conceptual design: a method for strut-braced wings considering static aeroelastic effects," CEAS Aeronautical Journal, vol. 7, no. 3, pp. 499-519, 2016.
10. O. Dababneh and T. Kipouros, "A review of aircraft wing mass estimation methods," Aerospace Science and Technology, vol. 72, pp. 256-266, 2018.
11. J. Solvey, "The Estimation of Wing Weight: A Method of Predicting Structural Weight by Relating the Design to an Ideal Wing," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 1951.
12. J. Roskam, Airplane Design: Part 5-Component Weight Estimation. DARcorporation, 1985.

پیش‌بینی سطح نرخ تورم با استفاده از یادگیری ماشین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

کد مقاله: ۲۵۴۳۳

محمد حسنونند^{۱*}، مجتبی صفابخش^۲، کورش روح الهی^۳

چکیده

امروزه یکی از حوزه‌هایی که نیازمند پیش‌بینی است، پیش‌بینی تورم است. به این منظور پیش‌بینی تورم می‌تواند تا حد زیادی به برنامه‌ریزی و تعیین سیاست‌های کلی اقتصادی در آینده کمک کند. در این پژوهش هفت متغیر اقتصادی میزان پس انداز، نرخ ارز، حجم نقدینگی، درآمد مالیاتی، میزان صادرات، میزان واردات و میزان درآمد نفتی به عنوان پایگاه داده پژوهش از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استفاده شده است. میزان تورم هر سال در یکی از دسته های سه گانه نرخ تورم کم، نرخ تورم متوسط و نرخ تورم بالا دسته‌بندی شدند. میزان تورم از ۰ تا ۱۵ در دسته نرخ تورم کم، میزان تورم ۱۵ تا ۳۰ در دسته تورم متوسط و میزان تورم بالای ۳۰ در دسته تورم بالا لحاظ شدند. در این پژوهش برای دسته‌بندی، دو دسته‌بند ماشین بردار پشتیبان، K-نزدیک‌ترین همسایه بر روی مجموعه داده‌های خام اعمال شده است. دقت دسته بندی و پیش بینی در کلاسبند K-نزدیک‌ترین همسایه ۷۳٪ و در کلاسبند ماشین بردار پشتیبان ۶۶٪ بدست آمد.

واژگان کلیدی: تورم، دسته‌بندی، متغیر، اقتصاد

۱- کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر (نویسنده مسئول) Mohamadhasanvand5691@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه اشرافی اصفهانی

۳- مدرس دانشگاه اشرافی اصفهانی

۱- مقدمه

تورم در واقع کاهش قدرت خرید واحد پولی معین در طی زمان است. افزایش سطح کلی قیمت‌ها که عموماً به صورت درصدی بیان می‌شود، به معنی این است با واحد پولی یکسان می‌توان میزان کمتری خرید کرد. معنی رایج تورم به افزایش سطح قیمت‌ها اشاره می‌کند حال آن‌که، در اقتصاد امکان رخ دادن تورم منفی نیز وجود دارد. تورم منفی به افزایش قدرت خرید و کاهش سطح قیمت‌ها اشاره می‌کند. از دیدگاهی دیگر تورم را می‌توان افزایش سطح عمومی قیمت‌ها که حالتی مداوم و نامتناسب دارد تعریف کرد. عوامل متفاوتی در افزایش و یا کاهش تورم نقش دارند. یکی از بدیهی‌ترین علل بوجود آمدن تورم، افزایش حجم پول است. البته عوامل متعددی می‌توانند به افزایش میزان عرضه پول بپردازند. عرضه پول می‌تواند به سادگی از طریق چاپ اسکناس بدون پشتوانه توسط دولت افزایش یابد. از علل بوجود آورنده تورم می‌توان به افزایش مخارج عمومی و کسری بودجه دولت، افزایش سرعت گردش پول، رشد جمعیت، احتکار، کمبود حقیقی، صادرات، اتحادیه‌های کارگری و کاهش مالیات، نرخ ارز، حجم نقدینگی، واردات، درآمد نفتی و... اشاره کرد. که البته ما در این مقاله از برخی از این عوامل استفاده خواهیم نمود. در شرایط تورم طبیعی، با افزایش مستمر و البته آرام سالانه قیمت‌ها مواجه هستیم. هرچند افزایش متعادل و آرام تورم می‌تواند باعث پویایی و نشاط یک اقتصاد شود. تورم بالا تأثیرات منفی بسیاری را در یک اقتصاد از خود برجای می‌گذارد و می‌تواند تولی، مصرف، بازار، سطح رضایت عمومی و غیره را تحت شعاع خود قرار دهد. بیشتر کشورها و حتی کشورهای توسعه یافته از افزایش سطحی از تورم در امان نیستند. پیش‌بینی تورم موضوعی است که علاوه بر اهمیت ذاتی می‌تواند در تدوین سیاست‌های کلی و چشم‌اندازهای حاکمیتی نقش بسزایی داشته باشد. چون دولت‌ها هر ساله در حال تدوین سیاست‌های اقتصادی برای آینده هستند و از طرفی در پی کاهش تورم هستند، بنابراین پیش‌بینی تورم سالانه و حتی ماهیانه می‌تواند نقش بسزایی در بهبود تصمیم‌گیری‌ها داشته باشد. در نتیجه، در دهه‌های اخیر، مدل‌های پیش‌بینی گوناگونی توسعه یافته و به رقابت با یکدیگر پرداخته‌اند. از این مدل‌ها می‌توان به استفاده از هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی در جهت پیش‌بینی نرخ تورم اشاره کرد. این مدل‌ها که در حقیقت اقتباس از فرآیند یادگیری مغز انسان هستند، با استفاده از سرعت محاسباتی کامپیوتر، روابط بین متغیرها را هر چند پیچیده باشند، یاد گرفته و از آن برای پیش‌بینی مقادیر آتی استفاده می‌نمایند.

۲- پیشینه پژوهش

آدولوفو رودریگز و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین همچون KNN و LSTM با مطالعه موردی کشور کاستاریکا به پیش‌بینی سطح تورم در آن کشور اقدام نمودند. آنها از متغیرهایی همچون نرخ تغییرات شاخص قیمت مصرف کننده، نرخ تغییرات شاخص ارز، نرخ تغییرات قیمت نفت، نرخ تغییرات قیمت غلات و غیره جهت پیش‌بینی بهره‌برد. لازم به ذکر است این پژوهش برای پیش‌بینی نرخ تورم ماهیانه انجام شد.

دهدشتی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به منظور پیش‌بینی نرخ تورم و نقدینگی و اثرات آنها بر ارزش افزوده بخش کشاورزی، روند تغییرات تورم و نقدینگی در اقتصاد ایران را بررسی کردند. آنها از آزمون ناپارامتریک والیس-مور، الگوهای هارمونیک، ARCH و برای پیش‌بینی استفاده کردند و بهترین الگو برای پیش‌بینی این متغیرها انتخاب شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که الگوی (۲و۱) ARMA، در پیش‌بینی نرخ تورم و الگوی (۱و۱) GARCH در پیش‌بینی نقدینگی دارای خطای کمتر و در نتیجه کارایی بیشتر نسبت به سایر الگوهای مورد استفاده بوده است. نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ارتباط مستقیم اما ضعیفی بین حجم نقدینگی، نرخ تورم و ارزش افزوده بخش کشاورزی وجود دارد. علت اثرات ضعیف حجم نقدینگی بر ارزش افزوده بخش کشاورزی می‌تواند به دلیل ارتباط سیستم پولی کشور و بخش کشاورزی باشد.

صمدی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی رابطه بین تورم و نااطمینانی تورمی در ایران پرداختند. هدف مقاله حاضر، بررسی رابطه بین تورم و نااطمینانی تورمی با استفاده از رگرسیون چرخشی مارکوف بر اساس اطلاعات ماهیانه شاخص قیمت مصرف کننده در ایران، طی دوره ۱۳۶۹:۱۰ تا ۱۳۹۱:۶ بود. برای رسیدن به این هدف نااطمینانی تورمی بر اساس الگوی واریانس ناهمسانی شرطی خود بازگشت کننده تعمیم یافته برآورد شده است. نتایج حاصل از تخمین ضرایب الگوی خود بازگشت کننده چرخشی مارکوف نشان می‌دهد که سری زمانی نرخ تورم در طول دوره مورد بررسی از دو رژیم مختلف تبعیت می‌کند به طوری که در رژیم اول با میانگین بالا و نوسان پایین و در رژیم دوم با میانگین پایین و نوسان بالا روبرو بوده است. هم چنین بررسی رابطه بین تورم و نااطمینانی تورمی نشان می‌دهد که در هر دو رژیم یاد شده، افزایش نرخ تورم به افزایش نااطمینانی تورمی منجر شده است.

جعفری صمیمی و بالونژاد (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی کاربرد روش‌های نیمه پارامتریک و مویک‌ها در بررسی وجود پایداری نرخ تورم ایران پرداختند. برای این منظور، درجه انباشتگی کسری، با استفاده از روش‌های GPH، تعدیل رابینسون، ریزن، وایتل و مویک‌ها و با استفاده از داده‌های بانک مرکزی در مورد شاخص قیمت مصرف کننده سال‌های ۱۳۵۱-۱۳۹۰، تخمین زده شد. نتایج حاصل از تحقیق، بیانگر وجود پایداری در نرخ تورم ایران است. وجود ایستایی و پایداری نرخ تورم در اقتصاد، بیانگر

این است که در صورت بروز یک تکانه بر نرخ تورم، اثر آن تا مدتی طولانی باقی می ماند. این نتیجه می تواند در اتخاذ سیاست های مرتبط، مورد توجه تصمیم گیرندگان اقتصادی قرار گیرد.

نजारزاده و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی رابطه بین تورم و ناطمینانی تورم در کوتاه مدت و بلندمدت پرداختند. در این مقاله با استفاده از مدل ناهمسانی واریانس راه گزینی مارکف در قالب یک مدل فضا- حالت به بررسی رابطه بین تورم و ناطمینانی تورم در اقتصاد ایران در دوره ۱۳۶۷-۱۳۸۹ پرداخته شد. این مدل تورم را به دو جزء دائمی و موقت تقسیم می کند و این کار تحلیل ارتباط بین تورم و ناطمینانی تورمی در کوتاه مدت و بلندمدت را میسر می سازد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که افزایش در ناطمینانی بلندمدت منجر به افزایش نرخ روند بلندمدت تورم می شود و افزایش در ناطمینانی کوتاه مدت منجر به کاهش نرخ تورم کوتاه مدت می شود. همچنین تاثیر هم زمان افزایش در ناطمینانی کوتاه مدت و بلندمدت منجر به افزایش قابل توجهی در روند تورم اقتصاد ایران می شود.

شاهمرادی و صارم (۱۳۹۲) به بررسی سیاست پولی بهینه و هدف گذاری تورم در ایران پرداختند. در این مقاله با استفاده از روش تعادل عمومی پویای تصادفی، قاعده ی پولی بهینه برای بانک مرکزی ایران استخراج شده است. در این مقاله مکانیزم انتقال پولی مدل شامل چهار معادله ی تقاضای کل، عرضه ی کل، قیمت نفت و رابطه ی تیلور می باشد. در این مقاله ثابت می شود که فرم پویای رابطه ی تقاضای کل، با در نظر گرفتن پولی بودن تورم در ایران، تابعی از نرخ رشد حجم پول است. با این فرض که هدف بانک مرکزی پی گیری هم زمان نرخ تورم هدف و شکاف تولید است و با توجه به مکانیزم انتقال پولی، قاعده ی بهینه ی سیاست پولی برای اقتصاد ایران استخراج می شود که تابعی از شکاف تورم، شکاف تولید و نرخ رشد درآمدهای نفتی می باشد. نتایج تخمین نشان می دهد نرخ رشد حجم پول اثری بر شکاف تولید نداشته و به طور کامل در انتظارات تورمی انعکاس می یابد. هم چنین یک درصد افزایش درآمدهای نفتی سبب افزایش چهار درصدی تورم می شود.

طهرانچیان و همکاران (۱۳۹۲) به آزمون پایداری تورم در ایران با استفاده از الگوهای ARFIMA پرداختند. برای این منظور، با توجه به سری زمانی داده های نرخ تورم ایران (۱۳۹۰-۱۳۵۱)، از الگوی خود رگرسیون میانگین متحرک انباشته کسری، استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهند که براساس روش های حداکثر درست نمایی و حداکثر درست نمایی تعدیل شده، درجه انباشتگی یا تفاضل گیری به ترتیب $1d0/482$ و $2d0/483$ هستند. بنابراین براساس یافته های این تحقیق، فرضیه پایداری تورم در ایران رد نمی شود. توجه به تسویه تدریجی تاثیر تکانه های تورمی، امکان ساختاری شدن تورم و نیز رعایت انضباط پولی، از جمله مهم ترین پیشنهادهای این پژوهش محسوب می شوند.

موسوی و مستعانی (۱۳۹۱) به بررسی هدف گذاری تورم در ایران پرداختند. هدف این مقاله استخراج روند حرکتی تورم طی دوره زمانی برنامه پنجم توسعه (۱۳۸۷-۱۳۹۵) توسط مقام پولی با استفاده از نظریه کنترل بهینه است. برای این منظور با استفاده از داده های سری زمانی طی دوره (۱۳۸۶-۱۳۵۷) از طریق حداقل سازی تابع زیان بانک مرکزی با توجه به رفتار تولید، تورم و تغییرات نرخ ارز، اقدام به استخراج تابع عکس العمل نرخ بهره (نرخ سود سپرده های بانکی) برای هدف گذاری تورم شده است. یافته های مقاله نشان می دهد که مقام پولی باید برای کنترل تورم طی دوره ای نرخ سود سپرده های بانکی را افزایش دهد تا از این طریق از یک طرف نقدینگی های سرگردان در بازار و در دسترس مردم را جمع آوری کند و از طرف دیگر با تزریق نقدینگی جمع آوری شده به بخش تولید، هزینه های تامین مالی سرمایه گذاری بخش تولید را کاهش دهد. این سیاست باعث خواهد شد تورم روند کاهشی در پیش گرفته و به سمت مقدار هدف گذاری شده حرکت کند.

تشکینی و افضلی (۱۳۹۰) به سنجش تورم پایه در اقتصاد ایران پرداختند. مطالعه حاضر به اندازه گیری تورم پایه در اقتصاد ایران به روش های مختلف و به عنوان راهنمایی برای هدایت سیاست پولی پرداخته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می دهند که روش SVAR، در شمار روش های بهینه برای اندازه گیری تورم پایه در اقتصاد ایران می باشد. از سوی دیگر، گروه مسکن جزء پایدار تورم در اقتصاد ایران بوده و هماهنگ با انتظارات می باشد. همچنین تکانه های تورم پایه، قیمت واردات و تورم غیرپایه به ترتیب ۵۴، ۴۰ و ۶ درصد از واریانس در تورم را تشریح می کنند. براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد شده است تا چارچوب سیاستی هدف گذاری تورم در قالب یک برنامه پنج ساله مورد توجه قرار گیرد و در این راستا، نسبت به برقراری و تحقق الزاماتی همچون عدم وجود سلطه مالی و عدم تعیین دستوری نرخ سود تسهیلات گام برداشته شود. اجرای این سیاست متضمن کنترل حدود ۵۰ درصد از تورم در اقتصاد ایران می باشد.

۳- تهیه داده ها

داده ها شامل هفت متغیر اقتصادی میزان پس انداز، نرخ ارز، حجم نقدینگی، درآمد مالیاتی، میزان صادرات، میزان واردات و مبلغ صادرات نفت که از سوی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران منتشر شده است جمع آوری شده اند. این داده ها مربوط به سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ می باشند. این داده ها به صورت خام بوده و هیچ گونه پیش پردازشی روی آنها انجام نشده است. در حقیقت هدف اصلی در این پژوهش تعیین میزان تاثیر متغیرهای هفتگانه ذکر شده بر افزایش یا کاهش تورم می باشد. به عبارت دیگر پیش

بینی نرخ تورم با استفاده از متغیرهای میزان پس انداز، نرخ ارز، حجم نقدینگی، درآمد مالیاتی، میزان صادرات، میزان واردات و مبلغ صادرات نفت.

۳-۱- نقدینگی

نقدینگی یا به عبارت صحیح‌تر، حجم پول، مجموع پول و شبه پول است. نقدینگی به معنای مجموع اسکناس‌ها و مسکوکات و سپرده‌های دیداری در یک کشور است. تفاوت نقدینگی با حجم پول یک کشور، در سپرده‌های غیر دیداری افراد نزد بانک‌هاست. رشد پول و نقدینگی در دهه‌های اخیر روندی افزایشی و بی ثبات پیدا کرده و این در حالی است که انضباط و ثبات نقدینگی شرط اصلی ثبات اقتصادی به کشور محسوب می‌شود. اهمیت ثبات و انضباط نقدینگی به حدی است که در برنامه‌های تعدیل ساختار، هم هدف و هم شاخص ارزیابی و هم ابزار دستیابی به اهداف دیگر قلمداد می‌شود.

روند خلق پول و خلق نقدینگی در دولت‌های مختلف همواره به دلیل عدم هماهنگی هزینه‌ها و درآمدها، به طرز سریعی در حال افزایش بوده است. در سال‌های اخیر به دلیل کسری بودجه مضاعف در دولت‌های دهم و یازدهم، خلق پول توسط بانک مرکزی راه آسان اما پرضرری بوده که دولت‌ها انتخاب کرده‌اند و نتیجه آن افزایش بی حد و حصر نقدینگی در اقتصاد بوده است. هر واحد خلق پول توسط بانک مرکزی به واسطه ضربی به نام ضریب فزاینده، پنج تا شش برابر می‌شود و حجم نقدینگی موجود در اقتصاد را به سرعت بالا می‌برد. تنها یکی از آثار این فرآیند بروز تورم در اقتصاد است. نظریه مقداری پول، همبستگی بلندمدت قوی را میان رشد نقدینگی و تورم پیش‌بینی می‌کند؛ به این معنا که رشد پیوسته و زیاد حجم پول در اقتصاد موجب ایجاد تورم بالا می‌شود. بر این اساس نیز کنترل حجم پول به عنوان یکی از ابزارهای اصلی سیاست‌های پولی بانک مرکزی به منظور مهار تورم شناخته می‌شود. در اقتصاد ایران، نقدینگی حالت لجام گسیخته پیدا کرده و این مسئله خود را تا حد زیادی در تورم‌های بالا و تا حدی نیز در تورم نهفته انعکاس می‌دهد. رشد نقدینگی همچنین باعث گسترش مانده‌های سوداگرانه پولی و بخش نامولد شده است. نگاهی به تغییرات رشد نقدینگی در سالهای گذشته نشان می‌دهد این شاخص در سالهای ۱۳۹۵-۱۳۹۲ در پایین‌ترین حد خود بیش از ۲۳ درصد بوده است. طبق آمار رشد نقدینگی در ابتدای سال ۱۳۹۲ تقریباً ۲۸ درصد بود و با پشت سر گذاشتن یک مسیر کاهشی در تیر ۱۳۹۲ شروع به افزایش کرد. این روند جدا از نوسانات تا مهر ماه ادامه یافت و در مهر ۱۳۹۳ با کنترل آن توسط دولت رو به کاهش گذاشت. با این حال در ابتدای سال ۱۳۹۴ نرخ رشد نقدینگی بنای افزایش نهاد و با سپری کردن مسیر صعودی در شهریور ماه به ۳۳٫۵ درصد رسید؛ اما در مهر ماه به ۲۳٫۸ درصد کاهش یافت. بحث رابطه پول و قیمت معمایی است که باید در تحلیل‌ها مورد توجه قرار گیرد. در کشورهای دارای ثبات اقتصادی و نظام رقابتی تقریباً بین تورم و نقدینگی رابطه مشخصی وجود دارد، یعنی از رشد نقدینگی هر چه شامل رشد تولید داخلی شود، بقیه به رشد قیمت‌ها می‌انجامد، ولی در ایران این وضعیت به گونه‌ای است که گاهی اوقات به این روال پیش می‌رود و بعضی اوقات قیمت‌ها بیش از این تناسب رشد دارند و گاهی هم خصوصاً از سال ۷۹-۷۸ به بعد با وضعیت معکوسی مواجه بودیم، یعنی اگر بخواهیم تناسب رشد نقدینگی با قیمت‌ها حفظ شود، باید تورم بیشتری می‌داشتیم.

نظریه مقداری پول

سرعت گردش پول

$$M \times V = P \times Q$$

در رابطه بالا:

«M»= میزان «عرضه پول» (Money Supply)

«V»= «سرعت» (Velocity) پول در گردش

«P»= سطح کلی «قیمت» (Price)

«Q»= «مقدار» (Quantity)

نظریه مقداری پول (QTM) بیان می‌دارد که یک رابطه مستقیم بین مقدار پول در اقتصاد و سطح قیمت کالا و خدمات فروخته شده وجود دارد. براساس نظریه مقداری پول (QTM) اگر مقدار پول در اقتصاد دو برابر شود، سطح قیمت‌ها نیز همچنین دو برابر و باعث تورم (درصد افزایش سطح قیمت‌ها در یک اقتصاد) می‌شود. بنابراین مصرف‌کنندگان برای همان مقدار کالا و خدمات دو برابر می‌پردازند. راه دیگر برای فهمیدن این نظریه اینست که پول را نیز همانند یک کالای دیگر در نظر بگیریم که افزایش عرضه آن ارزش نهایی (ظرفیت خرید یک واحد بیشتر) را کاهش می‌دهد. بنابر این یک افزایش عرضه پول باعث می‌شود قیمت‌ها در عوض کاهش ارزش نهایی پول افزایش یابد.

همانطور که نظریه مقداری پول (QTM) می‌گوید که مقدار پول، ارزش پول را تعیین می‌کند، همین بنیان پول‌گرایان را تشکیل می‌دهد. پول‌گرایان می‌گویند که افزایش سرعت عرضه پول منجر به افزایش سرعت در تورم می‌شود. رشد پول جلوتر از رشد تولید اقتصاد، تورم را نتیجه می‌دهد. به طوری که پول بیش از حد در پشت تولید بسیار کم وجود دارد. به منظور مهار تورم، رشد پول باید پایین‌تر از رشد تولید در اقتصاد باشد.

۳-۲- مالیات

در ادامه به بررسی و تحلیل انواع تورم پرداخته و اینکه تورم چند سال اخیر ایران از نوع تورم تازنده (شدید) می باشد. و سپس نظریه های مختلف ایجاد تورم مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به نظریه های پولی و نظریه های مبتنی بر فشار هزینه ها و نظریه کینزی و ... به برآزش یک الگوی مناسب جهت بررسی تاثیر انواع مالیات بر تورم کشور پرداخته ایم بدین ترتیب تاثیر انواع مالیات، نرخ رشد.

مفهوم مالیات: مالیات مقدار مبالغی است که شهروندان یک کشور طبق قانون به دولت می پردازند تا در جهت اداره امور کشور، تأمین کالاها و خدمات عمومی و تضمین امنیت و دفاع همگانی و عمران و آبادانی توسط دولت مورد بهره برداری قرار گیرد. مالیات ها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: الف: مالیات های مستقیم و ب: مالیات های غیرمستقیم

مالیات های مستقیم مالیات هایی هستند که بر مبنای درآمد و ثروت افراد حقیقی و حقوقی وضع می شوند و در واقع این نوع مالیات از آنهایی که از امکانات عمومی جامعه بیشتر استفاده می کنند به صورت تصاعدی دریافت می شود در مقابل مالیات های غیرمستقیم مالیات هایی هستند که بر کالاها وضع می شود. این نوع مالیات بر همه مصرف کنندگان کالا یا استفاده کنندگان خدمات تعلق می گیرد که دولت بر آنها مالیات وضع نموده است. عموماً مالیات ها با گذر زمان افزایش پیدا می کنند. در زمان هایی، دولت ها به دلایل سیاسی مالیات ها را کاهش می دهند تا محبوبیت خود را در میان شهروندان افزایش دهند. این عمل موجب افزایش مطلوبیت شهروندان می شود و آن ها پول بیشتری خرج خواهند کرد. در نتیجه، تورم بوجود خواهد آمد.

۳-۳- صادرات و واردات

در یک اقتصاد باید کل تولیدات توانایی تامین نیازهای داخلی و خارجی را داشته باشد. اگر این اتفاق نیفتد، تورم بوجود خواهد آمد.

تورم وارداتی: یکی از عوامل به وجود آورنده تورم داخلی، تورم وارداتی است. تورم وارداتی به معنای انتقال و سرایت تورم جهانی به اقتصاد هر کشور می باشد. این نوع تورم زمانی رخ می دهد که قیمت برخی کالاها، که کالاهای اساسی و تعیین کننده در تولید یا مصرف مردم در سطح جهانی است، به علت برخی عوامل طبیعی یا تصمیمات سیاسی - اقتصادی افزایش می یابد.

این افزایش به افزایش هزینه تولید (در صورتی که مواد اولیه تولیدی باشند) یا افزایش قیمت کالاهای مصرفی منجر می شود به عنوان مثال، در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی افزایش قیمت نفت که به نام شوک اول و دوم معروف است، باعث شد که قیمت فراورده های نفتی، مواد اولیه، مواد غذایی و در نتیجه، قیمت کالاهای نهایی مثل پتروشیمی، رنگ، فولاد، خودرو و طیف وسیعی از کالاها افزایش یابد.

راه های انتقال تورم وارداتی: به طور کلی، تورم وارداتی از دو طریق ممکن است بر اقتصاد داخلی تأثیر بگذارد.

الف) تورم وارداتی از راه تجارت خارجی: تجارت خارجی از دو مولفه واردات و صادرات تشکیل شده است. واردات با توجه به نوع کالا بصورت مستقیم و غیرمستقیم بر تورم داخلی اثر می گذارد. زمانی که قیمت محصولات نهایی وارداتی (کالاهای ساخته شده وارداتی) افزایش یابد، این افزایش قیمت بصورت مستقیم در سطح عمومی قیمت ها (شاخص قیمت مصرف کننده) ظاهر می شود. غیرمستقیم حالتی را در نظر می گیرد که ابتدا افزایش قیمت مواد اولیه و محصولات نیم ساخته (کالاهای واسطه ای) وارداتی به افزایش هزینه تولید منجر می شود و سپس این افزایش قیمت به مصرف کنندگان منتقل می شود. حالت سوم از طریق صادرات صورت می گیرد. موقعی که تقاضا برای کالاهای صادراتی بدلیل افزایش قیمت در خارج از کشور افزایش می یابد. این جریان سبب کاهش احتمالی عرضه کالاهای مذکور در داخل کشور می شود و موجبات افزایش قیمت ها را فراهم می کند.

اقتصاد ایران نیز از این امر مستثنا نیست و حالت دوم، یعنی افزایش هزینه های مواد اولیه و سرمایه ای، موجب افزایش هزینه های تولید و تورم حاصل از آن در نهایت، بر جامعه تحمیل می شود. استمرار طولانی سیاست های جایگزین واردات در تاریخ اقتصادی کشور تأثیر زیادی بر ترکیب واردات در طی زمان داشته است که نتیجه آن، وابستگی شدید به واردات مواد اولیه، واسطه و کالاهای سرمایه ای بوده است.

ب) تورم وارداتی ناشی از کسری یا مازاد تراز پرداخت ها: فقدان توازن در تراز پرداخت های خارجی ممکن است زمینه های تورم را فراهم سازد. اگر تراز پرداخت های خارجی با کسری روبرو شود، ارزش پول ملی کاهش و به دنبال آن قیمت کالاهای وارداتی افزایش می یابد. این امر از سویی زمینه بروز تورم داخلی می شود و از سوی دیگر، با کاهش ارزش پول ملی، کالاهای تولید شده در داخل کشور برای خارجیان ارزان تر تمام می شود و به این ترتیب، صادرات کشور افزایش خواهد یافت. در نتیجه، امکان کاهش عرضه و افزایش قیمت کالاها در بازار داخلی خواهد بود. حال اگر تراز پرداخت های خارجی با مازاد رو برو شود درآمدهای تازه ای در جامعه تزریق می شود که به دلیل بالا بودن میل نهایی به مصرف و پایین بودن میل نهایی به پس انداز، دریافت های افراد به شکل قدرت خرید اضافی در بازار ظاهر و به افزایش قیمت ها منجر می شود.

عوامل مؤثر در شاخص قیمت کالاهای وارداتی: همان گونه که گفته شد، شاخص قیمت کالاهای وارداتی ممکن است در تورم داخلی تأثیر داشته باشد. اما این شاخص خود تحت تأثیر عواملی همچون نرخ ارز، تورم کشورهای طرف معامله و تعرفه‌های گمرکی قرار دارد. که در اینجا ما به بررسی نرخ ارز می‌پردازیم.

۳-۴- نرخ ارز

نرخ ارز حلقه قوی ارتباط اقتصادهای ملی و جهانی است؛ حلقه‌ای که کم و کیف آن به طور مستقیم و غیر مستقیم در تعیین قیمت‌های داخلی کالاهای تجاری، و عرضه و تقاضای اکثر کالاها و خدمات تأثیرگذار و بر عملکرد اقتصاد ملی مؤثر است. ارزش پول ملی نسبت به بررسی خارجی یا نرخ ارز آیینة تمام نمایی از اقتصاد هر کشور در مقابل سایر کشورها، در محیط اقتصاد بین‌الملل است. نوسانات غیرعادی در سیستم ارزی، یکی از معضلات اقتصادی هر کشور است که ثبات اقتصادی را با چالش مواجه می‌کند.

سلب اعتماد مردم از پول و کاهش نسبی قدرت خرید در مقایسه با موازنه‌های بین‌المللی نیز از اثرات همین قضیه است. در کشورهایی نظیر ایران، که قسمت عمده درآمد دولت از محل عایدات ارزی تأمین می‌شود، وقتی درآمد حاصل از صادرات نفت یا نرخ برابری ارز به مراتب بیشتر می‌شود، به طور مستقیم بر وضع مالی دولت، درآمدها و هزینه‌های آن تأثیر می‌گذارد و نرخ برابری ارز از محل فروش این فرآورده‌ها نیز تغییر می‌کند و بر کسری یا مازاد بودجه تأثیر می‌گذارد. برخی از صاحب نظران معتقدند که افزایش نرخ ارز سبب افزایش قیمت کالاهای وارداتی می‌شود و بر بخش‌های اقتصادی که حساسیت سیاسی دارند، اثر نامطلوب می‌گذارد و رشد تورم را تسریع می‌کند. تصور همگانی به این نحو شکل گرفته است که اگر قیمت ارز خارجی پایین نگهداشته شود، کالاهای وارداتی ارزان تر تمام می‌شود و در نتیجه، سطح عمومی قیمت‌ها نیز دست کم افزایش نخواهد یافت.

در چنین وضعیتی، یک حساب سرانگشتی نشان می‌دهد که اگر نرخ تسعیر دلار به ریال پایین باشد طبعاً، کالاهای وارداتی بر حسب ریال برای مصرف کننده داخلی ارزان تر خواهد بود. به دفعات این استدلال مطرح شده است که اگر نرخ تسعیر دلار را در سطح پایین تعیین کنیم، نه تنها کالاهای وارداتی، بلکه کالاهای تولید شده داخلی که به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر واردات قرار دارند نیز کم هزینه تر و در نتیجه، ارزان تر تمام می‌شود. این دیدگاه بسیار رایج است و به سرعت، به این استنتاج می‌رسد که برای کنترل سطح قیمت‌های داخلی بایستی نرخ تسعیر دلار به ریال پایین نگهداشته شود. بطور مثال زمانی که نرخ هر دلار از ۸۰۰۰ ریال به ۶۰۰۰ ریال کاهش یابد برای کالایی که قیمت آن در بازار بین المللی ۲ دلار باشد برای ورود این کالا به کشور در حالت اول باید ۱۶۰۰۰ ریال و پس از کاهش نرخ دلار ۱۲۰۰۰ ریال باید هزینه نمود. بنابراین در حالتی که نرخ برابری دلار به ریال کاهش یابد هزینه تمام شده کالاهای وارداتی کاهش و به تبع مصرف کنندگان با قیمت پایین تری در بازار مواجه خواهند شد. باید گفت که پایین نگه داشتن نرخ ارز بدون توجه به اوضاع حاکم بر اقتصاد داخلی و بدون هماهنگی با سیاست‌های پولی، قدرت رقابت را برای تولیدکنندگان داخلی کشور کاهش می‌دهد.

جالب است بدانیم، برای این که بفهمیم نرخ ارز چقدر روی تورم تأثیر دارد، در سال ۷۵ که نرخ ارز ۳۰۰ تومان بود، رشد نقدینگی ۳۶ درصد بود و با تورم ۲۴ درصد مواجه بودیم و تورم فروکش کرد، اما از سال ۷۹-۷۸ رشد نقدینگی تشدید شد و علت آن منوط کردن تأمین درآمد بودجه به نرخ ارز بود و طبق آمارهای رسمی ۲۳ تا ۲۴ درصد ارزهای رسمی به فروش نمی‌رفت و مانده ذخایر ارزی بانک مرکزی مرتباً افزایش می‌یافت، لذا از سال ۷۹ تا ۸۵ رشد نقدینگی داشتیم، اما تورم در این دوران کاهش یافت و رشد تولید ناخالص ملی هم کاهش نشان می‌دهد، لذا در گزارش‌های رسمی ملاحظه می‌شود، سرعت گردش پول در سال ۸۰ تقریباً ۱۰ درصد رشد منفی داشته است به عقیده بسیاری صاحب‌نظران، تک‌محصولی بودن و وابستگی به نفت را می‌توان ریشه اصلی بسیاری از مشکلات ساختاری اقتصاد ایران عنوان کرد. شاهد این مدعا نیز تأثیرپذیری بالای بسیاری متغیرهای کلان اقتصادی همچون تورم، درآمدهای دولت و واردات از نوسان قیمت جهانی نفت و به تبع آن، درآمدهای نفتی کشور است. در این میان یکی از مهمترین موضوعات اقتصادی کشور ارتباط نزدیک درآمدهای نفتی و تورم در اقتصاد ایران است.

می‌در خصوص افزایش یا کاهش شدید درآمدهای نفتی می‌توان اشاره کرد که در سال ۱۳۵۱ و بروز تکانه نفتی (افزایش قیمت نفت و درآمدهای نفتی) است که به تبع آن، کمبود ارز به عنوان یکی از تنگناهای اساسی کشور با رشد ۲۴۵ درصدی درآمدهای حاصل از صادرات نفت و گاز از میان برداشته شد.

بر این اساس طی دوره ۱۳۵۶-۱۳۵۲ سیاستهای انبساطی اتخاذ شد به گونه‌ای که نقدینگی بطور متوسط سالانه ۳۹٫۷ درصد رشد کرد، یعنی حدود ۱۷ درصد بیشتر از متوسط دهه قبل آن. رشد نقدینگی از محل افزایش خالص دارایی‌های خارجی بانک مرکزی رخ داد (خالص داراییهای خارجی بانک مرکزی در سال ۱۳۵۳ حدود سه برابر سال ۱۳۵۲ و ۷ برابر سال ۱۳۵۱ شد). طی دوره ۱۳۵۶-۱۳۵۲ کسری بودجه بطور متوسط ۱۸٫۴ درصد کل هزینه‌های دولت را شامل می‌شد. مجموعه عوامل مذکور منجر شد تا اقتصاد ایران وارد دوران گذر از نرخهای تورم تک رقمی به دورقمی شود، بگونه ای که طی دوره ۵۶-۱۳۵۲ به ترتیب نرخهای تورم ۱۱٫۶، ۱۵٫۶، ۹٫۹، ۱۶٫۵ و ۲۴٫۹ درصدی تجربه شد نمونه دوم مقطع سال ۱۳۶۵ است که کاهش شدید قیمت نفت، درآمدهای ارزی دولت را بشدت کاهش داد؛ کل درآمدهای ارزی سال ۱۳۶۵ حدود ۶ میلیارد دلار بود. این کاهش شدید در درآمدهای ارزی ابتدا از واردات کاست، سپس در کاهش شدید تولید متجلی شد و در ادامه برای تأمین کسری بودجه که در این سال ۴۶ درصد کل

بودجه است، به رشد نقدینگی منجر شد. مجموعه این عوامل نرخ تورم را از حدود ۷ درصد در سال ۱۳۶۴ تا ۲۳/۷ درصد در سال ۱۳۶۵ افزایش داد. کاهش قیمت نفت در بازارهای جهانی به کاهش واردات و تولید ادامه داد و نسبت کسری بودجه از کل بودجه عمومی در سال ۱۳۶۷ به رقم ۵۰ درصد رسید. طی دوره ۶۷-۱۳۶۶ نرخ رشد نقدینگی به ترتیب ۱۷٫۶ و ۲۳٫۸ درصد و نرخ تورم ۲۷٫۷ و ۲۸٫۹ درصد تجربه شد.

همچنین به عنوان نمونه دیگر در این خصوص در سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۷۷ کاهش پیاپی قیمت نفت در بازارهای جهانی منجر شد تا کاهش شدید در درآمدهای نفتی کشور در سال ۱۳۷۷ بوجود آید (این سال در دوره پس از انقلاب یک سال استثنائی از حیث درآمدهای نفتی بود بطوریکه قیمت نفت خام ۳۵ درصد پایین‌تر از متوسط قیمت این کالا در ۲۰ سال گذشته بوده است. این وضع نه تنها بصورت مستقیم از طریق کاهش سهم بخش نفت در تولید ملی بلکه از طریق غیرمستقیم هم در کاهش رشد تولید ملی اثر گذاشت به گونه‌ای که رشد تولید ناخالص داخلی از ۳٫۴ درصد در سال ۱۳۷۶ به ۱٫۶ درصد در سال ۱۳۷۸ کاهش یافت.

در خصوص نحوه تأثیرگذاری درآمدهای نفتی بر تورم می‌توان بیان داشت که افزایش یا کاهش درآمدهای نفتی هر یک از کانالهای مختلفی بر تورم داخلی تأثیر مستقیم می‌گذارند. به بیان ساده افزایش درآمدهای نفتی از طریق تبدیل دلارهای نفتی به ریال و ورود آن به چرخه اقتصاد کشور، در کنار عدم تحرک‌پذیری طرف عرضه اقتصاد، به افزایش تورم منجر شده است. از سوی دیگر کاهش درآمدهای نفتی نیز از طریق کاهش واردات و تأثیر مستقیم بر طرف عرضه و همچنین بروز کسری بودجه (و در برخی موارد رشد نقدینگی) به افزایش تورم داخلی دامن زده است. براین اساس به نظر می‌رسد افزایش و کاهش‌های شدید درآمدهای نفتی هر یک تأثیر فزاینده‌ای از کانالهای مختلف بر تورم داخلی اقتصاد ایران برجای گذارده‌اند.

۴- مبانی نظری تحقیق

الگوریتم‌های مختلفی در زمینه پیش‌بینی و دسته‌بندی وقایع وجود دارند که از آنها میتوان به الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (svm) و الگوریتم k نزدیکترین همسایه (knn) اشاره کرد.

۴-۱- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

الگوریتم SVM که در سال ۱۹۹۵ توسط کورتز و پنیک معرفی شد. برای خلاف دیگر شبکه‌های عصبی مانند پرسپترون چند لایه به جای اینکه خطای مدلسازی را کمینه کند، در واقع ریسک عملیاتی را به عنوان تابع هدف می‌شناسد و مقدار بهینه آن را محاسبه می‌کند. در فضای دوبعدی رابطه خط به شکل زیر است:

$$w_1x_1 + w_2x_2 + b = 0$$

رابطه (1)

و در فضای سه بعدی رابطه صفحه به شکل زیر است:

$$(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + b) = 0$$

و در حالت کلی رابطه‌ی یک فوق صفحه به شکل زیر است:

$$\sum_i W(x) + b = 0$$

رابطه (2)

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$\sum_i w_i x_i + b = 0 \rightarrow w^t x + b = 0$$

رابطه (3)

که رابطه‌ی کلی یک تفکیک‌کننده‌ی خطی می‌باشد.

در واقع الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به دنبال جداکننده‌ای می‌گردد که ریسک عملیاتی کمتری نسبت به سایر خطوط داشته باشد. این الگوریتم به جای استفاده از خط تفکیک‌کننده‌ی $w^t x + b = 0$ به عنوان جداکننده‌ی داده‌ها از دو خط $w^t x + b = 1$ و $w^t x + b = -1$ برای داده‌های بالای محور $w^t x + b = 0$ و $w^t x + b = -1$ برای داده‌های پائین محور $w^t x + b = 0$ استفاده می‌کند. این مسئله در واقع شکل سخت‌گیرانه‌تری را برای جدا کردن داده‌ها اعمال می‌کند. نکته حائز اهمیت این است که بین دو خط $w^t x + b = 1$ و $w^t x + b = -1$ هیچ داده‌ای نباید حضور داشته باشد. اگر فرض شود که داده‌ها به صورت زیر باشند.

$$\{x_i, y_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$x_i \in IR^d, y_i \in \{\pm 1\}$$

آنگاه می‌توان گفت اگر $y_i = +1$ آنگاه

$$w^t x_i + b \geq$$

و اگر $y_i = -1$ آنگاه

$$w^t x + b \leq -1$$

رابطه (4)

انتخاب دو خط به عنوان تفکیک کننده به این دلیل است که جا برای ریسک کردن وجود داشته باشد و فضای بین دو خط فضایی برای ریسک به وجود می‌آورد. هرچه فاصله بین این خطوط بیشتر باشد، تفکیک کننده بهتری است. فاصله هر یک از این خطوط از خط مرکزی را با d_1 و d_2 نشان می‌دهد که کاملاً باهم برابر می‌باشند. برای به دست آوردن d_1 و d_2 ابتدا فاصله خط تفکیک کننده اصلی از مبدأ مختصات محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} x_0 = tw \\ w^t x + b = 0 \end{cases} \rightarrow tw^t w + b = 0 \rightarrow w \cdot w^t = \|w\|^2$$

$$\rightarrow t = \frac{b}{\|w\|^2} =$$

$$\|x_0\| = t\|w\| = -\frac{b}{\|w\|^2} \|w\| = \frac{-b}{\|w\|} \quad \text{رابطه (5)}$$

که x_0 فاصله خط از مبدأ می‌باشد. حال فاصله دو خط دیگر از مبدأ محاسبه می‌شود و به این طریق d_1 و d_2 نیز محاسبه می‌شود. که در نهایت به فرمول زیر می‌رسد:

$$d_1 = d_2 = \frac{1}{\|w\|}$$

تابع هدف به این صورت است که باید فاصله دو خط از هم ماکزیمم شود:

$$\max\{d_1 + d_2\}$$

$$\cdot d_1 + d_2 = \frac{1}{\|w\|} + \frac{1}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|}$$

که مفهوم را جمله ی بالا به این صورت است $\|w\|$ باید مینیمم شود. یا به صورت دقیق تر:

$$\min \|w\|$$

$$\min \frac{1}{2} \|w\| = \frac{1}{2} w w^t$$

که منجر به تفکیک کننده ای می‌شود که بیشترین حاشیه را داشته باشد البته با اعمال شروطی که بیان شد:

$$\min \frac{1}{2} w w^t$$

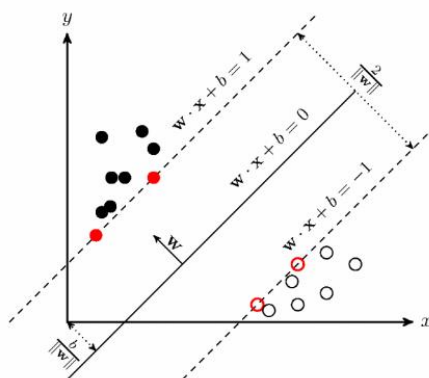
$$s.t \begin{cases} \text{if } y_i = 1 \rightarrow w^t x + b \geq 1 \\ \text{if } y_i = -1 \rightarrow w^t x + b \leq -1 \end{cases}$$

که با ضرب طرفین شرط بالا در هم داریم:

$$y_i(w^t x + b) \geq 1 \rightarrow y_i(w^t x + b) - 1 \geq 0$$

$$y_i(w^t x + b) \leq 1$$

رابطه (6)



جداسازی داده‌های دو کلاس با استفاده از ماشین بردار پشتیبان^۱

شکل ۱ نشان دهنده ی تفکیک دو کلاس با استفاده از الگوریتم SVM می‌باشد:

همان طور که مشاهده می‌شود دو شرط بالا به یک شرط تبدیل شد. مسئله بالا یک مسئله ابتدایی می‌باشد که به راحتی قابل حل نمی‌باشد. برای حل مسئله برای هر کدام از شرطها یک ضریب $\alpha \geq 0$ تعریف می‌شود. و تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۷):

$$LP = \frac{1}{2} w^t w - \sum_i \alpha_i [y_i(w^t x_i + b) - 1]$$

1- https://en.wikipedia.org/wiki/Support-vector_machine#/media/File:SVM_margin.png

که LP باید مقداری مینیمم داشته باشد. اما برای یافتن αI باید مقداری ماکزیمم داشته باشد:

ماکزیمم $\alpha_I \rightarrow LP \leftarrow$ مینیمم

بنابراین LP یک نقطه‌ی زینی است.

حال باید w, b از رابطه حذف شوند. برای این کار مشتق جزئی LP نسبت به w, b گرفته می‌شود.

$$\frac{\partial LP}{\partial W} = 0 \rightarrow w - \sum_i \alpha_i y_i x_i = 0 \rightarrow w = \sum_i \alpha_i y_i x_i \quad \text{رابطه (8)}$$

$$\frac{\partial LP}{\partial W} = 0 \rightarrow \sum_i \alpha_i y_i = 0 \rightarrow \text{قید بایاس}$$

که در حقیقت حالت دوگان LP به صورت زیر است.

$$\rightarrow LD = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \times \alpha_j y_i y_j x_i x_j + \sum_i \alpha_i$$

عبارت بالا باید ماکزیمم شود که شروط زیر را دارد:

$$\sum_i a_i y_i = 0, \quad \alpha_i \geq 0 \quad \forall i$$

اگر تابع بالا قرینه شود آنگاه باید مینیمم آن به دست آید:

حال اگر

$$y_i y_j x_i x_j = h$$

داریم:

$$\frac{1}{2} \sum_i \sum_j h_{ij} \alpha_i \alpha_j = \alpha^t H \alpha$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{nn1} & \dots & h_{nnn} \end{bmatrix}$$

$$H = IR^{n \times n}, \quad \sum_i \alpha_i \in [-1, -1 \dots -1] \quad \alpha = f^t \alpha$$

$$\text{Dual problem} \quad f = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\min \frac{1}{2} \alpha^t H \alpha + f^t \alpha$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i \alpha_i y_i = 0, \quad \alpha_i \geq 0$$

مسئله ی بالا یک مسئله ی برنامه‌ریزی درجه‌ی دوم می‌باشد. تابع هدف باید در شرایطی صدق کند که به آن‌ها شرایط kkt می‌گویند:

$$\alpha_i [y_i (w^t x_i + b - 1)] = 0$$

پس یا $\alpha_i = 0$ یا کل رابطه‌ی $y_i (w^t x_i + b - 1)$ باید مثبت باشد و برعکس اگر $\alpha_i > 0$ باشد آنگاه:

$$(w^t x_i + b - 1) = 0 \rightarrow y_i (w^t x_i + b) = 1$$

با ضرب طرفین در y_i داریم:

$$y_i^2 (x_i^t x_i + b) = y_i$$

چون $y_i = \pm 1$ در نتیجه $y_i^2 = 1$ پس نتیجه $\alpha_i \alpha_i$ باشد آنگاه:

$$w^t x_i + b = y_i$$

$$S = \{i | \alpha_i > 0\}$$

S مجموعه‌ی بردارهای پشتیبان که:

$$\forall i \in S \rightarrow w^t x_i + b = y_i$$

یعنی یا روی خط بالایی یا روی خط پایینی قرار دارند. درواقع این نقاط مرزداران هر گروه از داده‌ها هستند که اجازه ورود خطوط را به حریم خود نمی‌دهند.

$$\forall i \in s \rightarrow bi = yi - w^t xi$$

$$\rightarrow b = \frac{1}{|S|} \sum_{i \in S} bi =$$

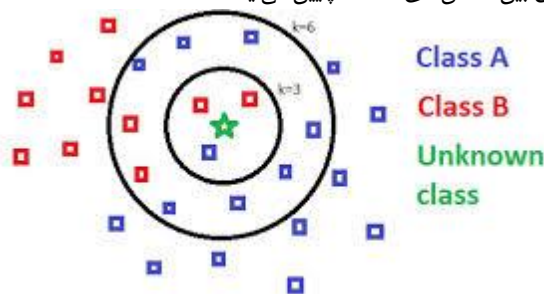
$$\frac{1}{|S|} \sum_{i \in S} (yi - w^t xi)$$

رابطه (9)

که b ضریب بایاس می‌باشد.

الگوریتم K-نزدیک‌ترین همسایه:

الگوریتم KNN یک الگوریتم یادگیری بانظارت است. در این الگوریتم فاصله نمونه ورودی (داده تست) با نمونه‌های آموزشی محاسبه شده و نمونه‌های آموزشی براساس فاصله‌ی بدست آمده و انتخاب K همسایه نزدیک مرتب می‌شوند. کلاسی که داده‌های آموزشی آن اکثریت را در داده‌های نزدیک به داده را دارد به عنوان تخمینی برای کلاس نمونه ورودی مطرح می‌شود. این الگوریتم داده‌ها را به دو دسته‌ی آموزش و تست تقسیم می‌نماید و داده‌های تست یک به یک بررسی می‌کند. سپس فاصله‌ی هر نمونه تست باهمه‌ی داده‌های آموزش یافته می‌شوند. سپس K تا نزدیک‌ترین نمونه آموزش به نمونه تست انتخاب شده و رای‌گیری آغاز می‌شود. داده تست به کلاسی تعلق دارد که بیشترین نمونه را دارد. معیار فاصله بر حسب داده‌ها تعیین می‌شود. در شکل ۲ نمونه‌ای از انتساب یک داده‌ی تست ناشناخته به یکی از دو دسته مربع قرمز یا مربع آبی می‌باشد. همانطور که از شکل پیداست الگوریتم KNN به‌ازای دو مقدار K=3 و K=6 اجرا شده است. در حالت K=3 الگوریتم طبق سیاست فاصله مخصوص به خود فاصله داده‌ی تست (ستاره سبز رنگ) را با سایر داده‌های آموزش محاسبه کرده و ۳ داده‌ای که بیشتر از بقیه به آن داده تست نزدیک‌تر هستند به عنوان همسایگان داده تست در نظر گرفته می‌شوند. حال کلاسی که بیشترین داده را بین این همسایگان دارد به عنوان کلاس داده تازه وارد (داده تست) انتخاب می‌شود. طبق شکل زیر کلاس داده تست به‌ازای K=3 کلاس قرمز می‌باشد و به‌ازای K=6 کلاس داده تست مورد نظر آبی می‌باشد که نشان از حساسیت انتخاب مقدار K دارد. انتخاب مقدار زیاد برای K منجر به کاهش تاثیر نویز بر روی دسته‌بندی می‌شود اما تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های مختلف پایین می‌آید.



شکل ۲- نمونه‌ای از دسته‌بندی داده‌ها با استفاده از الگوریتم KNN

به منظور دسته‌بندی با روش KNN همانگونه ه گفته شد نیاز به محاسبه فاصله داده تست با داده‌های آموزش است. معیارهای مختلفی برای محاسبه این فاصله مطرح شده‌اند که هر کدام بر روی نوع داده‌های خاص نتیجه بهتری را برمی‌گرداند. برای مثال اگر داده‌ها به صورت منحنی باشند و شکل منحنی‌ها مد نظر باشد از معیار کرویشن استفاده می‌شود. در زیر چند نمونه از روابط معیارها تحت عنوان فاصله‌ی اقلیدسی، فاصله‌ی منهن و فاصله‌ی میکوفسکی نمایش داده شده است: [۲۵ و ۲۶]

Euclidean =

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

رابطه (10)

$$Manhattan = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i|$$

رابطه (11)

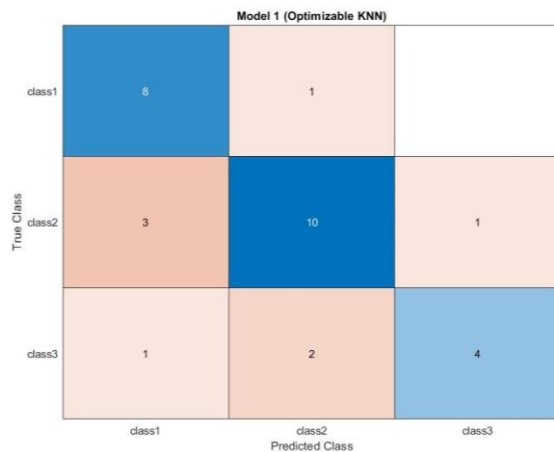
$$Minkowski = (\sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|)^{1/q})^{1/q}$$

رابطه (12)

انتخاب تعداد نزدیک‌ترین نمونه آموزشی (K)، بسیار در نتیجه کلاس‌بندی تاثیر دارد.

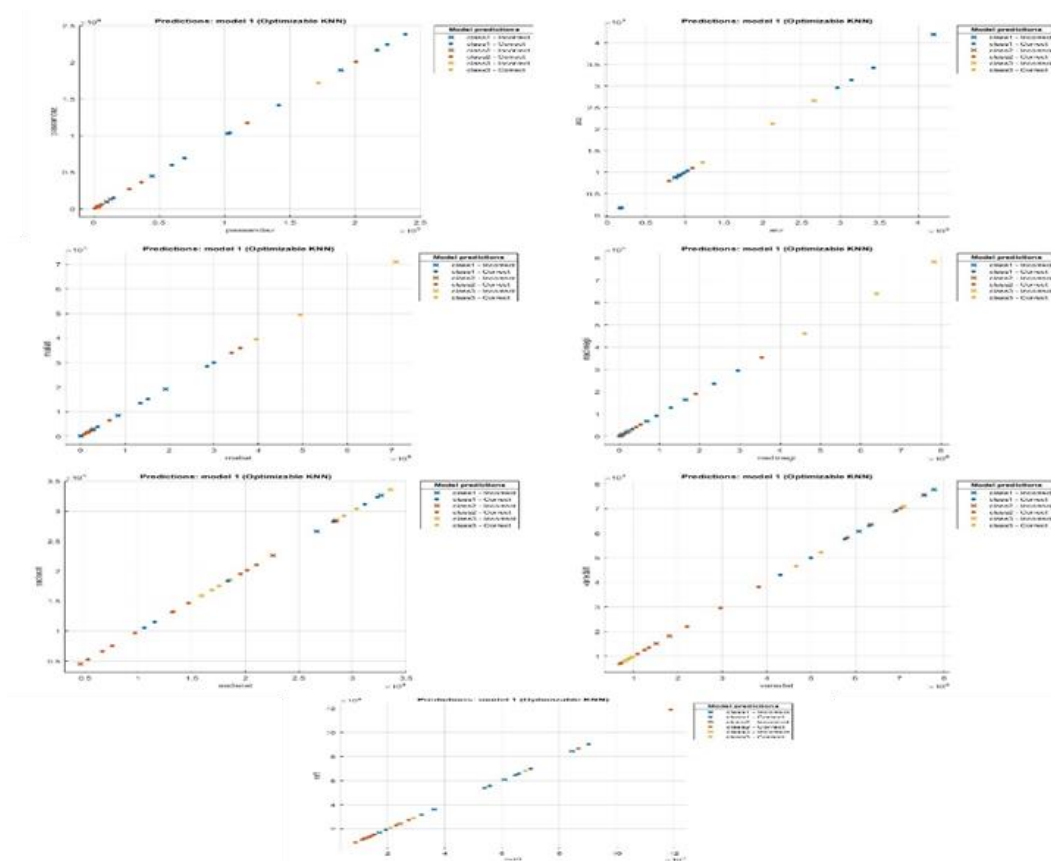
۵- نتایج

با آموزش کلاسبند svm با داده های حاصل از متغیرهای هفتگانه ذکر شده دقت نهایی در دسته بندی و پیش بینی ۶۶ درصد و برای کلاسبند knn دقت نهایی ۷۳ درصد بدست آمد که با توجه به تاثیرات عوامل غیر پارامتریک و احساسی بر اقتصاد ایران این نتایج مناسب هستند. نتایج بدست آمده برای کلاسبند knn در نمودار کانفیوژن به صورت زیر هستند:



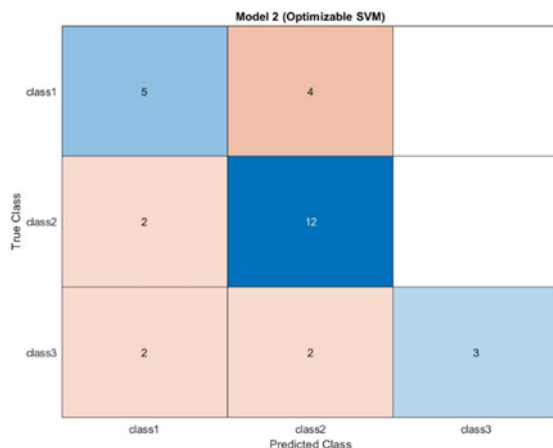
شکل ۳ - نمودار کانفیوژن مربوط به کلاسبندی دادهها رد کلاسبند knn

شکل ۳ درستی و یا عدم درستی انتساب نمونه های هر کلاس به کلاس هدف را نشان می دهد. نتایج بدست آمده برای کلاسبند knn در نمودار اسکاتر به صورت زیر هستند:



شکل ۴ - نمودار اسکاتر مربوط به متغیر ها در کلاسبند knn

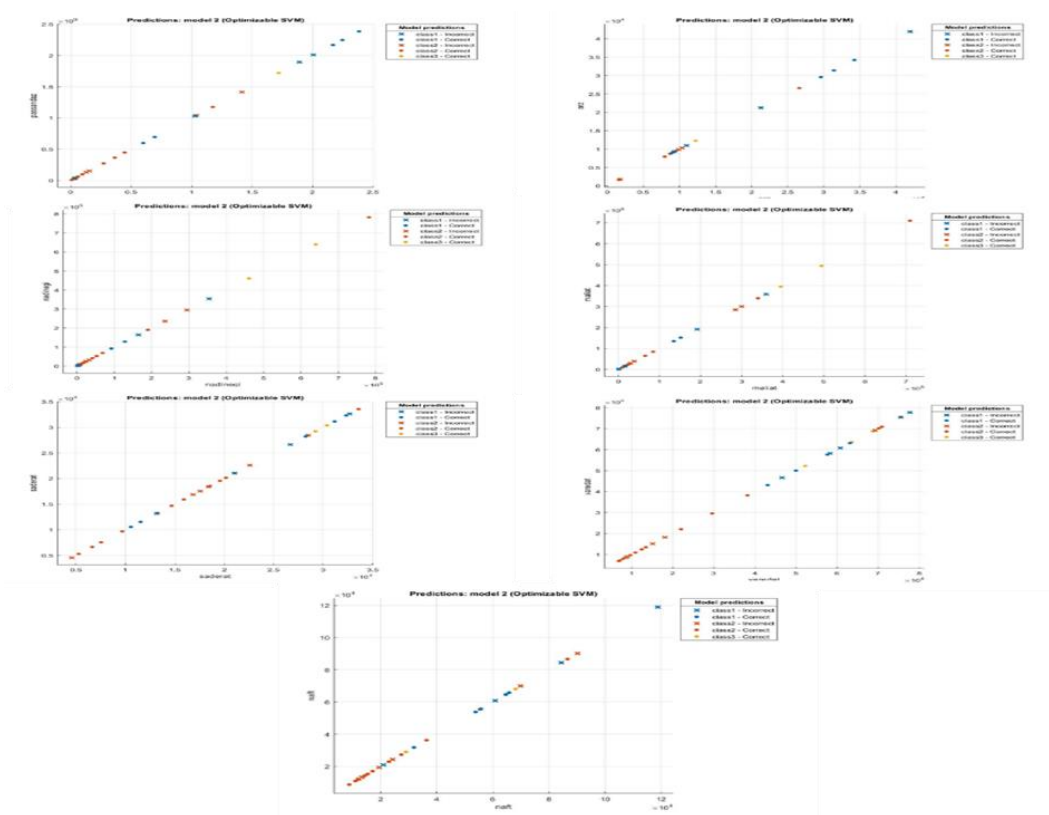
نمودارهای موجود در شکل ۴ تفکیک پذیری هر یک از متغیرهای هفتگانه را نشان می دهد. در حقیقت هرچقدر تفکیک پذیری این متغیرها در کلاسها بیشتر باشد کلاسبندی و پیش بینی با دقت بالاتری انجام خواهد شد.



نتایج بدست آمده برای کلاسیک SVM در نمودار کانفیوژن به صورت زیر هستند:

شکل ۵ درستی و یا عدم درستی انتساب نمونه های هر کلاس به کلاس هدف را نشان می دهد. نتایج بدست آمده برای کلاسیک SVM در نمودار اسکاتر به صورت زیر هستند:

شکل ۵- نمودار کانفیوژن مربوط به کلاسیک داده ها رد کلاسیک svm



شکل ۶- نمودار اسکاتر مربوط به متغیر ها در کلاسیک knn

۶- نتیجه گیری

یکی از مهم ترین اهداف هر نظام اقتصادی دستیابی به تورم پایین و باثبات و رشد اقتصادی مداوم است. در مطالعه حاضر، نخست، عوامل مؤثر بر تورم شناسایی شده. سپس، با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در قالب سناریوهای مختلف، به بررسی تأثیر هر یک از این عوامل بر نرخ تورم در اقتصاد ایران پرداخته شده است. نتایج تحلیل حساسیت نرخ تورم را با متغیرهای حجم نقدینگی، نرخ ارز، مالیات، پس انداز، صادرات، واردات و با درآمد نفتی نشان می دهد. صرف نظر از آثار و پیامدهای تورم، یکی از مهمترین مباحث، بحث عوامل ایجاد کننده آن است. تاکنون تحقیقات گسترده ای در زمینه شناسایی عوامل مؤثر بر تورم انجام شده است که در هر یک از آنها فهرستی از متغیرهای اقتصادی به عنوان عوامل مؤثر بر تورم معرفی شده که مهمترین آنها رشد

نقدینگی و افزایش نرخ ارز است که در این پژوهش با استفاده از یادگیری ماشین توانستیم با دقت مطلوبی اقدام به پیش بینی نوع تورم نماییم.

۷- کارهای آینده

با توجه به تعدد متغیرهای موثر در افزایش و کاهش تورم با اضافه کردن این متغیرها از لحاظ تعداد میتوان به سطح بالاتری از صحت دسته بندی و پیش بینی رسید. علاوه بر آن میتوان با وارد کردن علم یادگیری عمیق در اقتصاد و پیش بینی توسط این الگوریتم ها به صورت دقیقتر و کاربردی تر به این هدف مهم دست پیدا کرد.

منابع

۱. دهدشتی، مسعود و محمدی، حمید و دهباشی، وحید و دهقانپور، حامد (۱۳۹۱)، پیش بینی نرخ تورم و نقدینگی و اثرات آنها بر ارزش افزوده بخش کشاورزی، فصلنامه اقتصاد کشاورزی، سال ششم، شماره ۴، ص ۱۷.
۲. صمدی، علی حسین و مجدزاده طباطبائی، شراره (۱۳۹۲) رابطه بین تورم و نااطمینانی تورمی در ایران با استفاده از رگرسیون چرخشی مارکوف، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، شماره ۲۳، صص ۴۷-۶۵.
۳. جعفری صمیمی، احمد و بالونژاد نوری، روزبه (۱۳۹۲)، کاربرد روش های نیمه پارامتریک و مویک ها در بررسی وجود پایداری نرخ تورم ایران، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، شماره ۲۳، صص ۱۵-۳۰.
۴. نجارزاده، رضا و سبحانی، بهرام و سلیمانی، سیروس (۱۳۹۲)، بررسی رابطه بین تورم و نااطمینانی تورم در کوتاه مدت و بلندمدت: کاربردی از مدل های فضا-حالت با واریانس ناهمسانی راه گزینی مارکف، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، شماره ۵۴، صص ۱-۲۶.
۵. شاهمرادی، اصغر و صارم، مهدی (۱۳۹۲)، سیاست پولی بهینه و هدف گذاری تورم در ایران، فصلنامه تحقیقات اقتصادی، شماره ۱۰۳.
۶. طهرانچیان، امیرمنصور و جعفری صمیمی، احمد و بالونژاد نوری، روزبه (۱۳۹۲)، آزمون پایداری تورم در ایران (۱۳۹۰-۱۳۵۱): کاربردی از الگوهای ARFIMA، فصلنامه پژوهش های رشد و توسعه اقتصادی، شماره ۱۱، صص ۱۹-۲۸.
۷. موسوی، میرحسین و مستعانی، زهرا (۱۳۹۱)، هدف گذاری تورم: کاربردی از نظریه کنترل بهینه، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، شماره ۱۹، ص ۴۱.
۸. تشکینی، احمد و افضل، حسین (۱۳۹۰)، اندازه گیری تورم پایه بر اساس روش بهینه: مطالعه موردی اقتصاد ایران، فصلنامه پژوهشها و سیاستهای اقتصادی، شماره ۵۹، ص ۱۰۱.
9. AdolfoRodríguez-Vargas, " Forecasting Costa Rican inflation with machine learning methods" 2020"Latin American Journal of Central Banking
10. Cortes, C., Vapnik, V., Support-Vector Networks. 1995. Journal Machine Learning archive 20(3):273-297
11. Altman, N, S., An intrduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression.1992. The American Statistician. 46 (3): 175-185.

بررسی ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی پالایشگاه نفت ستاره بندرعباس با تکنیک EFMEA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

میثم نادریان^۱

چکیده

در این پژوهش ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی پالایشگاه نفت ستاره بندرعباس با تکنیک EFMEA مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. روش EFMEA با ۳ پارامتر تمام آیت‌ها را بررسی کرده ($RPN=S \times O \times D$) روش پالایشگاه با ۵ پارامتر ($S=A^{20} \times B^{21} \times C^{22} \times D^{23} \times E^{24}$) روش EFMEA به صورت کمی و بر اساس جداول شدت، احتمال وقوع و کشف رتبه‌بندی و روش پالایشگاه به صورت کیفی رتبه‌بندی شده است. جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته‌ی ریسک‌های بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می‌شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. جنبه زیست‌محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته‌ی ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه زیست‌محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آلودگی که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می‌شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است. احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله‌ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، ایمنی، بهداشت، زیست محیطی، تکنیک EFMEA

۱- گروه مهندسی شیمی، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران
naderi.iau.ac@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه سازمان‌ها تلاش می‌کنند مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، سیستم مناسبی برای حفظ و ارتقای محیط کار سالم بدون هیچگونه حادثه، آسیب و آلودگی ایجاد کنند. سیستم مدیریت HSE ابزاری است برای کنترل و بهبود عملکرد بهداشت، ایمنی و محیط کار در کلیه برنامه‌های توسعه‌ای صنعتی و غیرصنعتی [۱]. در واقع سیستمی ادغام یافته و یکپارچه است که کلیه منابع انسانی، تجهیزاتی و مالی در حمایت از یکدیگر برای تأمین سلامت و محیطی عاری از هرگونه حادثه و آسیب به کار می‌گیرند [۲]. امروزه ایجاد محیطی ایمن که در آن تمامی عوامل آسیب‌رسان شناسایی، ارزیابی، حذف یا کنترل گردیده تا سلامت افراد و تأسیسات را تضمین نماید از اولویت‌های مدیریت‌های صنعتی می‌باشد [۳]. علم ایمنی نیز همانند نگرش سنتی به ایمنی عکس‌العملی بوده است یعنی تا هنگامی که حوادث رخ نمی‌داد مدیران به فکر یافتن اشکالات و رفع آن‌ها بر نمی‌آمدند [۴]. در دهه‌های اخیر ملاحظات وجدانی و اخلاقی صاحبان صنایع در کنار الزامات قانونی و تعهدات بیمه‌ای، توجه به علم ایمنی را در جایگاهی ویژه قرار داده است. در این میان از تأثیر زیاد ایمنی بر سودآوری و افزایش رقابت با همکاران نیز نباید غافل شد [۵]. بنابراین توجه به ایمنی با نگرش پیشگیرانه نسبت به حوادث به خصوص در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی که پتانسیل بالایی جهت ایجاد سوانح انسانی و زیست‌محیطی دارند، محور توجه قرار گرفته است. صنعت گاز در ایران به دلیل وجود ذخایر عظیم گازی در این کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۶]. پالایشگاه‌های یکی از مهم‌ترین قسمت‌های این صنعت به شمار می‌روند و لزوم افزایش ایمنی در این بخش‌ها از مهم‌ترین موارد مورد توجه همه می‌باشد زیرا کوچک‌ترین مشکلی در این صنعت علاوه بر فجایع عظیم زیست محیطی و انسانی ممکن است مسایل اقتصادی جبران‌ناپذیری را به کشور تحمیل نماید [۷].

۲- روش تحقیق

۲-۱- ارزیابی ریسک های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی

برای حصول نتایج از روش EFMEA استفاده شده است. روش FMEA در چارچوب به کارگیری گسترده از ابزارهای مدیریت و مهندسی کیفیت در کشورمان، کاربرد فراوانی داشته است. روش FMEA دارای کاربردهای بسیاری است و متناسب با آن‌ها، FMEAهای مختلفی نیز وجود دارد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- FMEA مربوط به فرآیند
- FMEA مربوط به طراحی
- FMEA مربوط به سیستم
- FMEA مربوط به ماشین‌آلات
- FMEA مربوط به محیط‌زیست

بنابراین، با توجه به شرایط عملیاتی ناشی از فشار و دمای بالا در واحد هیدروکراکر، جنبه‌های مربوط به ریسک‌های ایمنی و بهداشتی بیشتر از جنبه‌های زیست‌محیطی گزارش و با روش FMEA جدول (۱) رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده‌اند.

جدول (۱): نمونه‌ای از کاربرد روش روش FMEA

شماره عملیات		P1	P2	P3
شرح عملیات		انبارش عملیات قابل اشتعال	عملیات پرس کاری	دفع ظروف پستیندی
حالت خرابی بالقوه (جنبه)		آتش	افزایش سطح سر و صدا (بالتر از ۸۵ دسی‌بل)	دفع کنترل نشده
آثار بالقوه‌ی خرابی (پیامد)		آلودگی هوا، زمین و آب	سلامت شغلی	محیط زیست آلوده (مثلاً زمین)
شدت (S)		۷	۹	۶
وضعیت		E	N	A
عمل خرابی بالقوه		شرایط نامناسب انبارش و جابه‌جایی	طراحی اولیه‌ی دستگاه	دفع ضایعات عمومی در محل زیاده
وقوع (O)		۷	۷	۵
کنترل‌های جاری		روش مقایله یا شرایط اضطراری	اتفاک عایق اطراف ماشین	جمع‌آوری بازیافت از سوی پیمانکار
تشخیص (D)		۳	۲	۵
PRN		۱۴۷	۱۳۶	۱۵۰
تدابیر پیشنهادی	مسئول	تعریف سیستم‌های اطفای حریق	کنترل ماهانه‌ی شدت صدا	کنترل و جداسازی روزانه‌ی ضایعات
	زمان	مسئول زیست محیطی	مسئول زیست محیطی	مسئول زیست محیطی
اقدام انجام نشده		۸۳/۶/۳	مداوم	مداوم
	S	۷	۹	۶
	O	۵	۳	۲
	D	۲	۲	۲
	RPN	۷۰	۵۴	۲۴

جدول (۲) جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی و به صورت کیفی رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده و جنبه‌های حاصل از ریسک‌های ایمنی و بهداشتی شناسایی نشده‌اند.

جدول (۲): جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی و به صورت کیفی رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده

مرحله‌ی چرخه‌ی حیات					
	Production (تولید)			USE (مصرف)	Disposal (ضایعات)
شماره فعالیت	V6017, H6001, H6002 چرخه حیات تولید	چرخه حیات تولید	چرخه حیات تولید	چرخه حیات مصرف	چرخه حیات تولید و دفع ضایعات
فرایند/فعالیت	Fuel Gas Section فرام کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره				
حالت خرابی بالقوه (جنبه)	جنبه‌های زیست‌محیطی؛ آلودگی محیط زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	جنبه‌های مربوط به ریسک‌های امنیتی؛ ۱- احتمال آتش‌سوزی در اثر نشتی از فلنج‌ها لایبی سوراخ شده روی مسیر گاز از قسمت ظرف تفکیک (کانو درام) به سمت کوره‌ها	ریسک‌های بهداشتی: ۱- سر و صدای زیاد حاصل از سوختن گاز در کوره ۲- نشت گاز از فلنج و احتمال آتش‌سوزی و انفجار و تولید ترس	۱- مصرف منابع و واد اولیه و انرژی ۲- مصرف انرژی و استفاده از سوخت فسیلی (گاز طبیعی)	ضایعات: ۱- ضایعات انرژی و مصرف سوخت ۲- ضایعات مواد نفتی
آثار خرابی بالقوه (پیامد)	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back زدن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت عادی شعله‌ی درون کوره می‌سوزد در حالت مثبت شدن شعله به بیرون حرکت می‌کند.	۱- افت شنوایی ۲- تولید استرس شغلی	۱- کاهش منابع طبیعی در اثر استفاده از گاز طبیعی	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرایند و کاهش بهروری ۲- اثر زیست محیطی ندارد
شدت (S)	۹	۹	۸ ۹	۶	۵ ۴
وضعیت جنبه	۱- اضطراری - مستقیم	۱- اضطراری - مستقیم	۱- عادی - مستقیم ۲- اضطراری	۱- عادی - مستقیم	۱- عادی - غیرعادی، مستقیم ۲- غیرعادی بودن
علل بالقوه خرابی	۱- خرابی گسکی، خرابی گلند کنترل ولو، سوراخ شدن مسیرها (لوله‌ها)	۱- نشتی از ولو، گسست و سوراخ شدن مسیر	۱- سروصدای بالاتر از ۸۵ دسی‌بل حاصل طراحی اولیه دستگاه و صدای ناشی از کارکرد ادوات	۱- برای گرم کردن مخلوط خوراک واحد و گاز هیدروژن	۱- تنظیم نبودن شرایط کارکرد کوره- عایق‌کاری نکردن مناسب مسیرها ۲- نشت از گسکت
وقوع (O)	۳	۳	۹ ۳	۱۰	۵ ۴
کنترل‌های جاری	۱- استفاده از detector Gas در نزدیک کوره چک کردن مداوم کوره به وسیله افراد عملیات - تعویق گسکت معیوب و در نهایت بستن واحد در حالت اضطراری	۱- کوره چک کردن مداوم کوره به وسیله افراد عملیات - تعویق گسکت معیوب و در نهایت بستن واحد در حالت اضطراری	۱- استفاده از گوشی ۲- از طریق آموزش	۱- تنظیم هوای کوره یا اکسیژن کوره و تنظیم در افت (مکش کوره) - تنظیم برنرها (مشعل کوره)	۱- بازدید و تنظیم شرایط کارکرد کوره‌ها و عایق‌کاری مناسب مسیرها ۲- بازدید و در صورت نشتی زیاد از سرویس خارج کردن
کشف (D)	۳	۳	۳ ۵	۳	۳ ۳
RPN	۸۱	۸۱	۲۱۶ ۱۳۵	۱۸۰	۵۰ ۴۸

۲-۲- تشریح روش EFMEA (تشکیل گروه)

طی اجرای EFMEA انتظار می‌رود کلیه بخش‌های سازمان که به گونه‌ای در شناسایی و ارزیابی جنبه‌ها دخیل‌اند، حضور یابند. EFMEA روش سیستماتیک با رویکرد گروهی است که یک تیم چند تخصصی را دربر می‌گیرد. بنابراین، کل واحد به منزله‌ی جامعه‌ی آماری در نظر گرفته شده و طبقه‌بندی فرآیندهای فعالیت‌های واحد برای نمونه به کل واحد تعمیم داده شده است.

۲-۳- شناسایی فرآیندها

عملیات یا فرآیندهای مورد تجزیه و تحلیل که در سازمان وجود دارد، شناسایی و همراه شماره‌ی آن ثبت می‌شود.

۲-۴- حالت خرابی بالقوه (جنبه‌ها)

حالت خرابی بالقوه حالتی است که فرآیند تشریح شده در ستون قبل، به طور بالقوه نیازمندی‌های مشخص شده (استانداردها، قوانین، مقررات و غیره) را برآورده نمی‌کند.

۲-۵- آثار بالقوه‌ی خرابی

(پیامدها) آثار بالقوه‌ی خرابی به منزله‌ی آثار حالت خرابی روی مشتریان، کارکنان و سایر طرف‌های ذی‌نفع تعریف می‌شود. شدت ارزیابی از میزان جدی‌بودن پیامد و نقاط شکست بالقوه (محیط‌زیست و انسان) است. شدت، صرفاً در مورد اثر به کار می‌رود و با تخصیص عددی بین ۱ تا ۱۰ مطابق جدول (۳) رتبه‌بندی می‌شود. برای تعیین رتبه‌ی شدت به موارد زیر توجه شده است.

جدول (۳): رتبه‌بندی شدت اثر روی محیط زیست و انسان (ایمنی و بهداشتی)

رتبه	معیار: شدت اثر	اثر
۱۰	نتایج به صورت زیان شدید به سلامت انسان یا محیط زیست بدون هیچگونه اخطار یا هشدار، محتمل است (ایمنی و بهداشتی: شدت اثر و زیان‌رسانی روی انسان با توجه به مدت قرارگیری افراد کنار دستگاه یا تماس با ماده‌ی شیمیایی) (استرس: شدت اثر وقوع آتش‌سوزی و انفجار یا زیان‌رسانی که به استرس منجر می‌شود) در مورد همه‌ی پارامترها به همین ترتیب است.	خطرناک بدون اخطار
۹	نتایج به صورت زیان شدید به سلامت انسان، محیط‌زیست همراه با اخطار یا هشدار، محتمل است	خطرناک با اخطار
۸	تأثیر قابل توجه روی محیط زیست و انسان	خیلی بالا
۷	تأثیر زیاد روی محیط زیست و انسان	بالا
۶	تأثیر متوسط روی محیط زیست و انسان	متوسط
۵	تأثیر کم روی محیط‌زیست و انسان	کم
۴	تأثیر جزئی	خیلی کم
۳	محدود و کنترل‌شده	ضعیف

میزان تواتر به وقوع پیوستن علت خرابی (مشخص شده در ستون قبلی) است. رتبه‌ی احتمال وقوع با توجه به موارد زیر تعیین شد. برای تعیین رتبه‌ی احتمال وقوع باید مدت قرارگرفتن افراد کنار ادوات را در نظر گرفت. ممکن است احتمال وقوع آلودگی صوتی همیشگی، اما مدتی که فرد کنار دستگاه قرار می‌گیرد کوتاه باشد بنابراین، رتبه‌ی احتمال وقوع پایین می‌آید. احتمال وقوع نشستی که به آتش، سوزی انفجار و سوختگی افراد منجر می‌شود چقدر است؟ احتمال وقوع بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته و جدول (۴) تعیین شده است.

تشخیص ارزیابی از احتمالی است که کنترل‌های جاری تعریف شده، عیب یا حالت خرابی بعدی را شناسایی کند. باید فرض شود خرابی اتفاق افتاده است سپس، قابلیت‌های کلیه‌ی کنترل‌های جاری، برای پیشگیری پیامد ارزیابی شوند. در تعیین رتبه‌ی کشف به موارد زیر توجه شده است: عدد کشف به کنترل‌های جاری بستگی دارد، به هر میزان کنترل‌های جاری بالا و کارساز باشد و از خرابی‌های بعدی جلوگیری کند رتبه‌ی کشف پایین می‌آید (جدول (۵)).

جدول (۴): رتبه‌بندی احتمال وقوع

رتبه	نرخ خرابی	احتمال خرابی
۱۰	بیشتر از ۱ در ۲	خیلی بالا: خرابی اصولاً اجتناب‌ناپذیر است
۹	۱ از ۳	
۸	۱ از ۸	بالا: معمولاً مرتبط با فرایندهایی است که دارای خرابی مشابه با فرایندهای دیگرند (تکراری)
۷	۱ از ۲۰	
۶	۱ از ۸۰	متوسط: معمولاً مرتبط با فرایندهایی است که مشابه فرایندهای دیگر از آن‌ها انتظار خرابی‌های موردی می‌رود، اما تعداد آن‌ها زیاد نیست (موردی)
۵	۱ از ۴۰۰	
۴	۱ از ۲۰۰۰	پایین: خرابی‌های کنترل شده مرتبط با سایر فرایندهای مشابه (نادر)
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰	خیلی پایین: فقط خرابی‌های کنترل‌شده مرتبط با اغلب فرایندهای یکسان
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰	خرابی‌های غیرمحمتمل؛ هیچگونه خرابی در خصوص فرایندهای یکسان وجود ندارد

جدول (۵): رتبه‌بندی احتمال کشف

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی کشف شود	احتمال کشف
۱۰	هیچ کنترل شناخته شده‌ای برای کشف حالات خرابی شناسایی نشده است	غالباً غیرممکن
۹	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی بعید است	خیلی بعید
۸	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری بعید است	بعید
۷	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی پایین است	خیلی پایین
۶	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری پایین است	پایین
۵	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری متوسط است	متوسط
۴	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری کمی بالاست	کمی بالا
۳	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری بالاست	بالا
۲	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی بالاست	خیلی بالا
۱	کنترل‌های جاری غالباً به طور حتم حالات خرابی را کشف می‌کنند. در فرایندهای مشابه، کنترل‌های آشکارکننده قابل اطمینانی وجود دارد	غالباً حتمی

جدول (۶): رتبه‌بندی شدت اثر یا میزان مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: میزان مصرف	مصرف
۱۰	صرف زیاد منابع (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف زیاد منابع (بدون در نظر گرفتن توصیه‌های قانونی)
۹	مصرف زیاد منابع با رعایت توصیه‌های قانونی (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	مصرف زیاد منابع (با در نظر گرفتن توصیه‌های قانونی)
۸	مصرف خیلی بالای منابع (به میزان خیلی بالا باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع خیلی بالا
۷	مصرف بالای منابع (به میزان بالا باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع بالاست
۶	مصرف متوسط منابع (به میزان متوسط باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع متوسط
۵	مصرف کم منابع (به میزان کم باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف کم
۴	مصرف خیلی کم منابع (خیلی کم باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف خیلی کم
۳	مصرف ضعیف منابع (به میزان ضعیف باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف ضعیف

منظور از شدت اثر در خصوص مصرف منابع میزان آن است که برای رتبه‌بندی شدت یا استفاده از منابع به موارد زیر توجه شده است. هر قدر میزان مصرف منابع بالا باشد رتبه‌ی شدت اثر نیز بالا می‌رود، زیرا مصرف زیاد به کاهش زیاد منابع منجر می‌شود که اثر بالایی در منابع طبیعی دارد (جدول (۶)).

برای رتبه‌بندی احتمال وقوع به موارد زیر توجه شده است:

آیا از منابع به صورت مداوم و همیشگی استفاده می‌شود؟ در صورت مثبت بودن جواب رتبه‌ی احتمال وقوع بالا می‌رود. آیا در این فرایند اتلاف منابع وجود دارد؟ (جدول (۷)).

جدول (۷): احتمال وقوع مصرف منابع، مواد اولیه انرژی

رتبه	میزان مصرف (کاهش منابع، تولید آلودگی و اثر در اکوسیستم دریا)	احتمال وقوع (کاهش یا اتلاف منابع، ایجاد آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا در اثر میزان مصرف یا برداشت منابع)
۱۰	بیشتر از ۱ در ۲	احتمال وقوع خیلی بالا: همیشه از منابع استفاده می‌شود، تکرارپذیر است (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده خیلی بالاست) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا خیلی بالاست، همیشه از آن برداشت می‌شود و اثر خیلی بالایی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۹	۱ از ۳	
۸	۱ از ۸	احتمال وقوع بالا: همیشه از منابع استفاده می‌شود، (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده بالاست) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا بالاست، همیشه از آن برداشت می‌شود و اثر بالایی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۷	۱ از ۲۰	
۶	۱ از ۸۰	احتمال وقوع متوسط: از منابع به میزان متوسط استفاده میشود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده موردی یا متوسط است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا متوسط است و اثر متوسطی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۵	۱ از ۴۰۰	
۴	۱ از ۲۰۰۰	احتمال وقوع پایین: از منابع به میزان کم استفاده می‌شود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده پایین است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا کم است و اثر کمی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰	احتمال وقوع خیلی پایین: از منابع خیلی کم و کنترل شده استفاده می‌شود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده خیلی پایین است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا خیلی کم است و اثر خیلی کمی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰	احتمال وقوع بعید است: هیچگونه کاهش یا اتلاف منابع، ایجاد آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا در اثر مصرف منابع با برداشت منابع وجود ندارد، از منابع به گونه‌ای استفاده می‌شود که احتمال زیان‌رسانی وجود ندارد.

در این رتبه‌بندی نیز به کنترل‌های جاری درباره‌ی مصرف منابع توجه شده است به این صورت که هر چه کنترل‌ها در زمینه‌ی مصرف قوی‌تر باشند، رتبه کشف پایین‌تر و هر چه کنترل‌های جاری ضعیف عمل کنند به همان نسبت، عدد کشف رتبه بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد (جدول (۸)).

جدول (۸): احتمال کشف، مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به‌وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی، کشف شود	کشف
۱۰	هیچ کنترل شناخته شده‌ای برای کنترل مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود شناسایی نشده است.	غالباً غیرممکن
۹		خیلی بعید
۸	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری بعید است	بعید
۷		خیلی پایین

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی، کشف شود	کشف
۶	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری پایین است	پایین
۵ ۴	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری متوسط است	متوسط
۳	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری بالاست	بالا
۲ ۱	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری خیلی بالاست	خیلی بالا

۲-۶- شیوهی تحلیل داده‌ها

ابتدا جنبه‌های زیست محیطی در فرم EFMEA وارد شدند و RPN بر اساس رتبه‌ی شدت، احتمال وقوع و کشف محاسبه شد. به این صورت که ابتدا درجه‌ی مخاطره‌پذیری محاسبه شد و جنبه‌ها بر اساس عدد اولویت ریسک RPN بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری اولویت‌بندی و به منزله‌ی فعالیت‌های بحرانی که نیازمند اقدامات اصلاحی است در نظر گرفته شدند. پردازش داده‌ها نیز برای جنبه‌های بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از نرم‌افزار Excel و خروجی نمودار تجزیه و تحلیل و برای RPN‌های بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری اقدامات اصلاحی پیشنهاد شده است.

۲-۷- روش محاسبه‌ی تعیین RPN شاخص یا درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از روش توزیع فراوانی

حالات خرابی بالقوه (جنبه) بر مبنای مقدار RPN به صورت نزولی از بالاترین عدد اولویت ریسک ۳۴۳ به پایین‌ترین عدد اولویت ریسک ۲۴ مرتب و درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از روش توزیع فراوانی محاسبه شده که برای محاسبه‌ی این روش به دو مؤلفه‌ی تعداد رده و طول رده نیاز است.

۲-۸- روش محاسبه‌ی تعداد رده

جدول (۸): محاسبه‌ی حدود رده

محاسبه حدود رده	
24+36=60	L1=24-59
60+36=96	L2=60-95
96+36=132	L3=96-131
132+36=168	L4=132-167
168+36=204	L5=168-203
204+36=240	L6=204-239
240+36=276	L7=240-275
276+36=312	L8=276-311
312+36=348	L9=312-347

$$K = 1 + 3/3 \text{Log}n$$

$$n = 291 \quad K = 1 + 3/3 \text{Log}n$$

$$= \frac{\text{کوچک ترین مقدار} - \text{بزرگ ترین مقدار}}{\text{تعداد رده}}$$

$$\frac{343-24}{9} = 36$$

نتایج حاصل از محاسبات تعیین درجه‌ی مخاطره‌پذیری به روش توزیع فراوانی نشان داد که بیشترین یا ۷۴ مورد از اعداد اولویت ریسک در حدود رده ۹۶ - ۱۳۱ با فراوانی نسبی $\frac{74}{391}$ قرار گرفته است به عبارت دیگر، از ۲۹۱ عدد اولویت ریسک ۷۴ مورد در این محدوده قرار گرفته است که از میانگین اعداد ۹۶ و ۱۳۱ یا حد پایین و بالای این رده درجه‌ی مخاطره‌پذیری محاسبه شد.

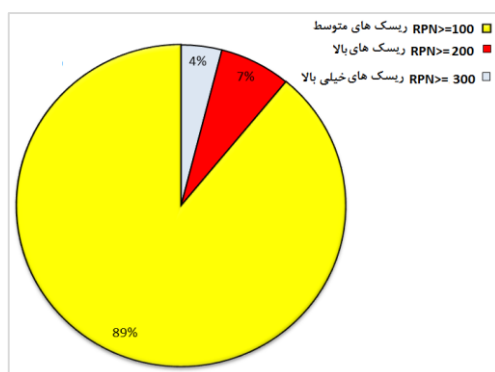
$$\text{درجه‌ی مخاطره‌پذیری} = \frac{96+131}{2} = 113$$

بنابراین، درجه‌ی مخاطره‌پذیری برابر با ۱۱۳ است و اعداد اولویت ریسک جنبه‌هایی که بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری قرار گرفته‌اند به منزله‌ی اعداد اولویت ریسک بحرانی شناخته می‌شوند که به اقدامات اصلاحی و کنترلی نیاز دارند.

جدول (۹): تعیین بیشترین فراوانی رده برای محاسبه درجه مخاطره‌پذیری

رده	حدود رده	فراوانی رده	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
1	24-59	56	$\frac{56}{291}$	56
2	60-95	63	$\frac{63}{291}$	119
3	96-131	74	$\frac{74}{291}$	193
4	132-167	50	$\frac{50}{291}$	243
5	168-203	35	$\frac{35}{291}$	278
6	204-239	5	$\frac{5}{291}$	283
7	240-215	2	$\frac{2}{291}$	285

۳- نتایج و بحث



شکل (۱): دسته‌بندی ریسک‌های بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری

در پژوهش حاضر دو سری جدول و شکل را با نتایج مجزا از هر فرآیند ارائه می‌دهد. بعد از شناسایی و رتبه‌بندی جنبه‌ها، ریسک‌هایی که بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری قرار گرفته‌اند به صورت نزولی از بزرگترین RPN برابر با عدد ۳۴۳ به کوچکترین RPN برابر با عدد ۲۴ مرتب و با توجه به شکل (۱)، به ۳ دسته تقسیم شده‌اند.

- (۱) ریسک‌های خیلی بالا با عدد اولویت ریسک (۳۰۰) به بالا خیلی بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری).
- (۲) ریسک‌های بالا با عدد اولویت ریسک ۲۰۰ به بالا (بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری).
- (۳) ریسک‌های متوسط با عدد اولویت ریسک (۱۰۰) به بالا کمی بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری)

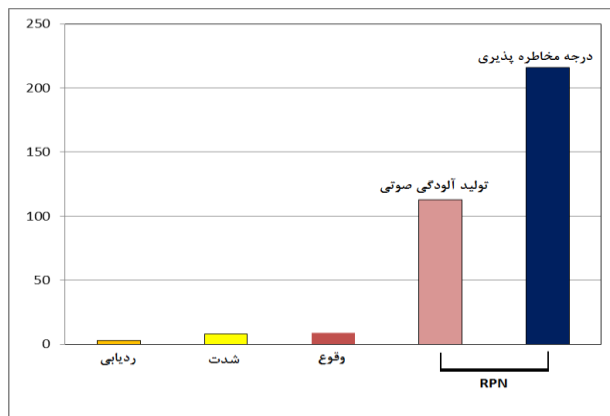
بنابراین، عدد ۱۱۳ یا درجه‌ی مخاطره‌پذیری RPN‌هایی که بالاتر از این عددند، به منزله‌ی RPN‌های بحرانی معرفی شده‌اند و به اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی‌تری نیاز دارند و جنبه‌هایی نیز که عدد اولویت ریسک آن‌ها بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری است به صورت دو جدول مجزا شامل جدول مربوط به ریسک زیست‌محیطی و ریسک ایمنی و بهداشتی تجزیه و تحلیل شده‌اند.

۳-۱- اولویت‌بندی RPN، تجزیه و تحلیل اثر و ارزیابی پیامد جنبه‌های بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری و ارائه‌ی اقدامات اصلاحی و کنترلی

حالات خرابی بالقوه (جنبه) بر مبنای مقدار RPN بر اساس بزرگ‌ترین عدد اولویت ریسک به کوچک‌ترین عدد اولویت ریسک در محاسبات توزیع فراوانی RPN اولویت‌بندی شده‌اند. سپس، ۱۰ درصد یا ۳۰ مورد از بالاترین ریسک‌ها که بالاترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده‌اند به صورت جدول و ارائه‌ی شکل برای مقایسه‌ی RPN با درجه‌ی مخاطره‌پذیری تجزیه و تحلیل و برای آن‌ها اقدامات اصلاحی ارائه شده‌اند. اقدامات اصلاحی به منزله‌ی نتیجه‌ی اجرای پروژه FMEA از اهمیت بسزایی برخوردارند.

جدول (۱۰): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فعالیت فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی) و پیامد حاصل از آن
216>113	سر و صدای زیاد حاصل کارکرد ادوات مکانیکی	سر و صدای زیاد حاصل از سوختن گاز در کوره (تولید عوارض شنوایی)



شکل (۲): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل از فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

با توجه به جدول بالا و شکل (۲) مشاهده می شود که جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته ریسک های بالا در اولویت بندی RPN محسوب می شود. نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. البته هر چند کنترل های جاری نسبتاً بالاست، اما ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که چون مدتی که فرد کنار دستگاه حضور دارد زیاد است در طولانی مدت می تواند به افت شنوایی در کارکنان منجر شود.

کنترل های جاری که درباره این جنبه صورت می گیرد، استفاده از گوشی از سوی کارکنان است، اما با توجه به عدد اولویت ریسک ۲۱۶، از درجه مخاطره پذیری بالاتر و نیازمند اقدامات اصلاحی است. از جمله اقدامات اصلاحی توصیه شده می توان به محصور کردن ادوات پر سر و صدا یا استفاده از ادواتی با تکنولوژی برتر در طراحی که برنرهای کم سر و صدا در آن طراحی شده باشد و سوختن شعله با صدای کمتر صورت گیرد اشاره کرد.

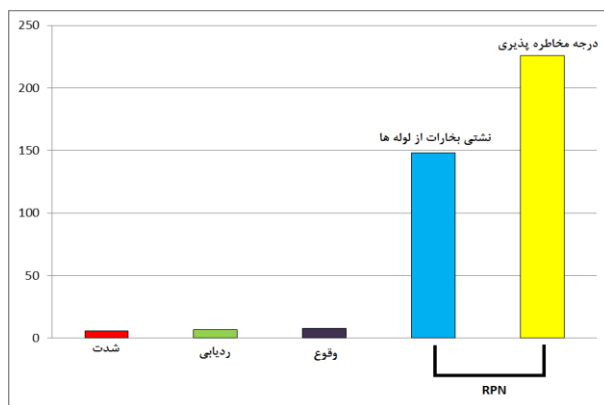
جدول (۱۱): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فرایند سولفایدینگ برای شستن اتم گوگرد در زمان تعمیرات اساسی

ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه i مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه زیان رسانی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی و پیامد حاصل از آن)
336>113	خرابی گسکت ها، شل شدن پیچ و مهره، پارگی شیلنگ ها و خرابی ادوات (تلمبه) و در صورت استفاده نکردن از لباس و ماسک (با توجه به شرایط کار استفاده از وسایل کار مشکل است)	نشت بخارهای سمی سولفایدینگ از بشکه (تولید عوارض تنفسی و اختلالات ریوی و در صورت تماس با پوست بدن ایجاد عوارض پوستی و چشمی)

با توجه به جدول (۱۲) و شکل (۳)، مشاهده می شود جنبه زیست محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته ریسک های خیلی بالا در اولویت بندی RPN محسوب می شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه زیست محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزیست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است. علاوه بر این، با توجه به عدد کشف، این جنبه گویای این است که کنترل ها متوسط عمل می کنند لذا، ارزیابی پیامد جنبه مورد نظر حاکی از آن است که این آثار می توانند موجب آلودگی هوا به ذرات آزیست شوند. کنترل های جاری که در این زمینه در واحد صورت می گیرد: رعایت نکات ایمنی گزارش شده است لذا، با توجه به عدد اولویت ریسک این جنبه مشاهده می شود که از درجه مخاطره پذیری بالاتر است و با توجه به رتبه کشف ۵ (متوسط) یعنی کنترل های جاری نسبت به این جنبه متوسط است و به اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی تر نیاز دارد. اقدامات اصلاحی برای این جنبه به دلیل اینکه ذرات آزیست نسبتاً در محیط زیست پایداری دارند، در هوا تبخیر نمی شوند و به وسیله هوا جابه جا می شوند مهم ترین ریسک بهداشتی را برای انسان به وجود می آورند.

جدول (۱۲): ریسک زیست‌محیطی برای بازدید مسیرها در زمان تعمیرات اساسی

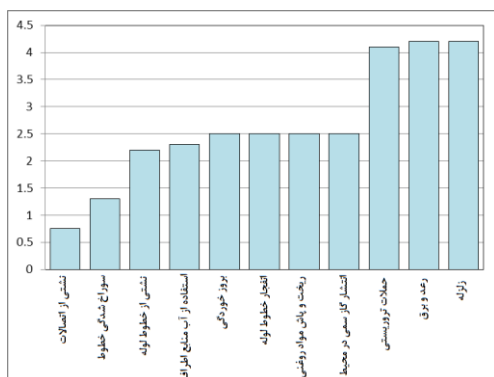
ریسک زیست محیطی (درجه مخاطره‌پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه زیست محیطی)
315>113	بازدید مسیرها از سوی بازرس فنی و تعویض آزیست، ذرات معلق آزیست در محیط پراکنده می‌شود	پراکندگی ذرات آزیست در محیط (آلودگی هوا در اثر ذرات آزیست در هوا)



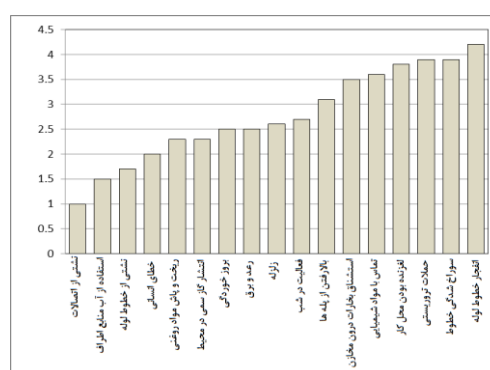
شکل (۳): ریسک زیست‌محیطی برای بازدید مسیرها در زمان تعمیرات اساسی

از این رو، این آثار در طولانی مدت می‌توانند به ایجاد عوارض تنفسی و اختلالات ریوی در افراد و در نهایت سرطان ریه منجر شوند. در این زمینه اقدامات اصلاحی و کنترلی ارائه شده، استفاده از عایق‌های غیرآزیستی، مانند فایبرگلاس، که آلودگی کمتری دارد، یا تغییر روش بازرسی فنی برای اندازه‌گیری ضخامت مسیرهاست. همچنین، توصیه می‌شود از سوی عایق کاران دریچه‌ای مستطیل مانند روی زانو‌ها نصب شود که احتیاج به عایق کاری مجدد، آلودگی هوا و موجب به خطر افتادن سلامت شغلی کارکنان نشود.

شکل (۴) شدت اثر ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا پالایشگاه را نشان می‌دهد. احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.



شکل (۵): گستره آلودگی ریسک‌های زیست‌محیطی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا



شکل (۴): شدت اثر ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا

احتمال کشف ریسک‌های ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا نشان داد که استنشاق بخارات درون مخازن بیشترین احتمال کشف و تماس با مواد شیمیایی کمترین احتمال کشف را در بین ریسک‌های مورد مطالعه داشته‌اند. شکل (۵) گستره آلودگی ریسک‌های زیست‌محیطی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

۱) روش EFMEA با ۳ پارامتر تمام آیتم‌ها را بررسی کرده $(RPN = S \times O \times D)$ روش پالایشگاه با ۵ پارامتر $(S = A^{20} \times B^{21} \times C^{22} \times D^{23} \times E^{24})$ روش EFMEA به صورت کمی و بر اساس جداول شدت، احتمال وقوع و کشف رتبه‌بندی و روش پالایشگاه به صورت کیفی رتبه‌بندی شده است در روش EFMEA مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی نیز

رتبه‌بندی و برای آن‌ها جداول شدت، احتمال وقوع و کشف طراحی شده که در روش پالایشگاه مصرف منابع بر اساس جداول شناسایی و رتبه‌بندی نشده است.

(۲) جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته‌ی ریسک‌های بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود.

(۳) نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می‌شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. البته هر چند کنترل‌های جاری نسبتاً بالاست، اما ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که چون مدتی که فرد کنار دستگاه حضور دارد زیاد است در طولانی مدت می‌تواند به افت شنوایی در کارکنان منجر شود.

(۴) کنترل‌های جاری که درباره این جنبه صورت می‌گیرد، استفاده از گوشی از سوی کارکنان است، اما با توجه به عدد اولویت ریسک ۲۱۶، از درجه‌ی مخاطره‌پذیری بالاتر و نیازمند اقدامات اصلاحی است. از جمله اقدامات اصلاحی توصیه شده می‌توان به محصور کردن ادوات پر سر و صدا یا استفاده از ادواتی با تکنولوژی برتر در طراحی که برنرهای کم سر و صدا در آن طراحی شده باشد و سوختن شعله با صدای کمتر صورت گیرد اشاره کرد.

(۵) جنبه زیست‌محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته‌ی ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه‌ی زیست‌محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزرست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می‌شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است.

(۶) احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله‌ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.

منابع

- [۱] کاظمی ب، ایمنی و بهداشت کار (حفاظت صنعتی)، چاپ دوم، پشتون ۱۳۸۲.
- [۲] سپانلو ک، نگرش نوین به ایمنی، بخش تحقیقات و توسعه ایمنی هسته‌ای، اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، اسفند ۱۳۸۴.
- [۳] گوهررخی م، ارزیابی کیفی و کمی ریسک در واحدهای فرآیندی، روش‌های بررسی حوادث و شبیه سازی شبکه فلر با نرم‌افزار Aspen flare net، انتشارات دانشگاه صنعت پدوه، ۱۳۸۸.
- [۴] گوگل م، شناسایی مخاطرات و آنالیز کیفی ریسک در صنایع فرآیندی توسط نرم‌افزار PHA-pro، انتشارات دانشگاه صنعت پدوه، ۱۳۸۴.
- [5] Kletz, T., Learning from Accidents, Third ed., Gulf Professional Publishing, Oxford, 2001.
- [6] Arendt, J. S. and Lorenzo, D. K., Evaluating Process Safety in the Chemical Industry, American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.
- [7] Drs. P. L. B. A Van Geel, Guidelines for Quantitative Risk Assessment, 2005.

ارایه یک استراتژی کنترلی بهینه برای حفاظت منبع تغذیه بی‌وقفه مبتنی بر اینورتر منبع ولتاژ در مقابل انواع اضافه جریان

احسان آرامی^۱، بابک صفری چابک^{۲*}، سینا یزدانی^۳

سجاد غلامرضایی سرولات^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲

کد مقاله: ۶۷۳۶۳

چکیده

مبدل‌های منبع تغذیه بی‌وقفه مورد استفاده در سیستم‌های تشخیص خطا و حفاظت، نقش مهمی در بهبود کیفیت توان شبکه بازی می‌کنند. در این مقاله، یک استراتژی جدید کنترلی برای حفاظت آن‌ها در مقابل رخداد اضافه جریان شامل اتصال کوتاه و اضافه بار ارائه می‌شود و برای بهینه‌سازی ضرایب کنترلی در حلقه‌های ولتاژی و جریانی بکارگرفته شده از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد. به منظور اعتبارسنجی و تایید کارایی استراتژی کنترلی پیشنهادی، مطالعات عددی برای شرایط اتصال کوتاه سه فاز متقارن و اضافه بار در یک فاز بکار گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی گواه این حقیقت است که طرح کنترلی پیشنهادی می‌تواند گذرای جریانی و ولتاژی ایجاد سیستم را در هنگام اتصال کوتاه با کمترین زمان نشست و ماکزیمم اورشوت میراسازی نموده و عملکرد سیستم را به مقدار مطلوب بازیابی نماید، بعلاوه، قادر است تا وظیفه مقابله با گذاری حاصل از رخداد اضافه بار را با کمترین چالش انجام دهد.

واژگان کلیدی: منبع تغذیه بی‌وقفه (UPS)، اینورتر منبع ولتاژ (VSI)، حفاظت اضافه جریان، سیستم تشخیص خطا-حفاظت، ضرایب کنترلی-تناسبی-انتگرالی، و الگوریتم ژنتیک.

۱- کارشناس ارشد مهندسی برق، مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی الکتریکی، فارغ‌التحصیل دانشگاه آزاد کرج

۲- کارشناس ارشد مهندسی برق-قدرت، رئیس شرکت کهکشان پژوهش گستر برق (نویسنده مسئول)

Babak.safari9941@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت، دانشجوی دانشگاه گیلان

۴- کارشناس ارشد مهندسی برق-الکترونیک، مربی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

مبدل‌های منبع تغذیه بی وقفه (UPS) برای مقابله با مشکلات کیفیت توان در برخی از سیستم‌های ویژه طراحی و بکار گرفته می‌شوند. سیستم تشخیص خطا و حفاظت جایگاه مهمی را در سیستم‌های UPS دارد. به طور کلی، برای این تجهیزات دو نوع روش حفاظت اضافه جریان وجود دارد که شامل روش‌های مبتنی بر سخت افزار و روش‌های مبتنی بر نرم افزار می‌باشد. برای جلوگیری از آسیب‌های ناشی از گرمای بیش از حد و تخریب کلیدهای مبدل الکترونیک قدرت VSI در UPS، تشخیص سریع خطای اضافه جریان شامل اتصال کوتاه یا اضافه بار بسیار ضروری است (Martins, A. P, 1995:584-589). با توجه به اهمیت بحث مطالعات زیادی در این حوزه برای بسط و توسعه روش‌های حفاظت اضافه جریانی انواع UPS انجام شده است. برای مثال، مرجع (Iwade, T, 2003:480-484) طرحی برای عملکرد موازی سیستم‌های UPS تکفاز و سه فاز پیشنهاد شده است که در آن قادر به افزودن هر تعداد مطلوب از UPS به طور موازی با هدف افزایش قابلیت اطمینان سیستم هستیم. مرجع (Guerrero, J.M, 2008:2845-2859) طرح کنترلی برای بهره‌برداری موازی سیستم‌های UPS ارائه می‌کند. تکنیک‌های تقسیم بار اکتیو و رهیافت‌های کنترل دروپی بحث می‌شود و مزایای طرح کنترلی پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر تشریح می‌گردد. مرجع (Faiz, J., 2008:29-49) عملکرد فیلتر خروجی متوالی دو مرحله‌ای برای اینورتر تکفاز منبع ولتاژ UPS را مورد تحقیق قرار داده است و با فیلتر خروجی LC مقایسه کرده است. نتایج شبیه‌سازی، کاهش هارمونیک تولیدی به کمتر از ۴ درصد را تایید می‌کند. در مرجع (Aamir, M, 2016:276-289) یک مطالعه جامع برای انواع ساختار و تکنیک‌های کنترلی سیستم UPS فراهم می‌گردد و مقایسه این سیستم‌ها بر اساس عملکرد، اندازه، هزینه و راندمان آنها ارائه می‌گردد. در مرجع (Zhang, C, 2016: 5176-5188)، یک استراتژی کنترلی دو لایه برای بهره‌برداری موازی اینورترهای سه فاز به شکل UPS آنلاین ارائه گردید. در مرجع (Hussain-Bukhari, S. S, 2017:1149-1156) یک سیستم UPS آنلاین معرفی می‌شود که با بکارگیری طرح کنترلی جریان ویژه‌ای قادر به حذف هارمونیک‌های تولیدی بواسطه جریان هجومی کشیده شده در زمان راه‌اندازی ترانسفر موتورهای تحت بار می‌باشد. در مرجع (Katir, H, 2022:145-150) یک روش کنترل بازگشتی تطبیقی برای حفظ پایداری عملکرد اینورترهای هابرید متوالی بکار گرفته شده در سیستم‌های UPS ارائه گردید. در مرجع (Bloemink, J. M, 2012:2122-2132) روشی برای کنترل یک ریزش‌بکه با حضور منابع انرژی پراکنده مجهز به واسطه‌های VSI تحلیل شده است. در مرجع (Koseoglu, C, 2019:1-7) یک الگوریتم محدود کننده جریان ترکیبی برای اینورترهای کنترل شده ولتاژی ارائه شده است. این الگوریتم از الحاق الگوریتم‌های دیجیتال و آنالوگ یک سیستم با قابلیت پاسخگویی سریع و شکل موج ولتاژ خروجی با کیفیت بالا حتی حین رخدادهای گذار فراهم می‌کند. همان طور از مرور مقالات اخیر استنباط می‌شود، پژوهش‌های کمی در حوزه حفاظت سیستم‌های UPS مبتنی بر VSI و CSI انجام شده است. بنابراین، در این مقاله یک استراتژی کنترلی جدید برای حفاظت تجهیز UPS مبتنی بر VSI در مقابل رخداد انواع اضافه جریان‌ها شامل اتصال کوتاه و اضافه بار ارائه می‌گردد. برای بهینه‌سازی ضرایب کنترلی تناسبی و رزونانسی در حلقه‌های ولتاژی و جریانی بکار گرفته شده از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد. مابقی بخش‌های مقاله به صورت ذیل سازماندهی می‌شود: در بخش دوم، طرح پیشنهادی حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه جریان ارائه می‌شود و سپس طرح حفاظت در مقابل اتصال کوتاه و اضافه بار بر اساس روابط حاکم آنالیز می‌شود. در بخش سوم، کدسازی مسئله بهینه‌سازی مذکور برای حل توسط الگوریتم ژنتیک تشریح می‌گردد. در بخش چهارم، مطالعات عددی و شبیه‌سازی با هدف ارزیابی عملکرد استراتژی کنترلی پیشنهادی برای حفاظت سیستم UPS مبتنی بر VSI تست در مقابل رخداد اضافه جریان شامل اتصال کوتاه سه فاز متقارن و اضافه بار بکار گرفته می‌شود و در بخش پنجم نیز نتایج مفهومی حاصل از شبیه‌سازی ارائه می‌گردد.

۲- استراتژی کنترلی پیشنهادی برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه جریان

در این بخش، استراتژی کنترلی پیشنهادی ما برای حفاظت سیستم UPS مبتنی بر VSI در مقابل رخداد اضافه جریان شامل اتصال کوتاه و اضافه بار تشریح می‌شود. بمنظور دستیابی به قابلیت اطمینان و دسترسی‌پذیری بالای UPS، طرح حفاظتی اتصال کوتاه و اضافه بار ضروری می‌باشد. وقتی اضافه بار رخ می‌دهد با استفاده از روش کنترلی پیشنهادی دامنه جریان خروجی را می‌توان به مقدار ثابتی محدود نمود، که این مقدار از طرف مصرف‌کننده برای اجتناب از خرابی کانورتر و همچنین برای فراهم‌سازی بازایی سریعتر قابل تنظیم می‌باشد. روش حفاظت پیشنهادی اساساً سه بخش کنترلی برای محدودسازی جریان را شامل می‌شود، بخش اول شامل آنتی-ویندآپ در کنترلرهای جریان و ولتاژ است، بعدی بخش فیدفوروارد ولتاژ خازن برای حلقه کنترل جریان است و نهایتاً، بخش سوم برای بازنشانی سریع قسمت رزونانسی کنترلر جریان وقتی که اضافه جریان رخ می‌دهد، است. در روش کنترلی پیشنهادی، ضرایب تناسبی-رزونانسی حلقه‌های کنترلی ولتاژ و جریان بترتیب شامل K_{PV} و K_{RV} و K_{PI} و K_{RI} را به

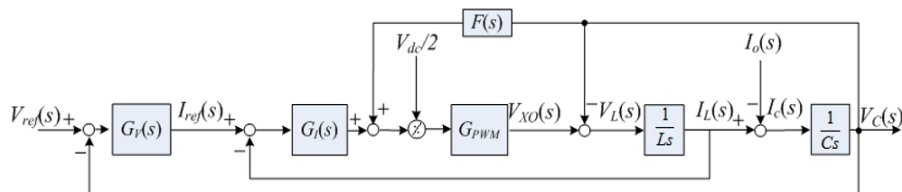
طور بهینه از طریق الگوریتم هوشمند ژنتیک تعیین می‌گردد تا بهترین پاسخ کنترلی حاصل شود. روش حفاظت اتصال کوتاه و اضافه بار پیشنهادی ما در واقع بر مبنای کاربرد یک الگوریتم جدید می‌باشد که در این طرح کنترلی، حلقه فیدفوروارد اضافه می‌شود، و وقتی اضافه جریان رخ می‌دهد دیگر اصلاً مهم نیست زیرا که اضافه بار یا اتصال کوتاه در فازهای خروجی، خروجی قسمت رزونانسی کنترلر جریان با مقدار صفر تنظیم مجدد می‌شود که این امر مانع تجاوز جریان‌های خروجی از مقادیر از پیش تعیین شده خواهد شد. استفاده از ولتاژ خروجی به صورت فیدفوروارد یک پاسخ سریع برای فرآیند حفاظتی توسط حذف اثر ولتاژ خازن ایجاد خواهد کرد. بعلاوه، حلقه آنتی-ویندآپ همچنین به کنترلر رزونانسی اضافه می‌شود. برای یک سیستم UPS سه فاز، خروجی طوری ساخته می‌شود که قادر به عملکرد تکفاز یا سه فاز باشد تا اینکه برای اتصال به انواع بارها به طور همزمان مناسب بوده و از انعطاف‌پذیر برخوردار باشد. بنابراین، کنترل تحت قاب هماهنگ ایستا است، که کار برای تست کارایی استراتژی فاز به فاز و سه فاز باهم بسیار ساده و آسان می‌گردد. شکل (۱) ساختار اینورتر NPC سه فاز سه سطحی با فیلتر Lc در سمت خروجی را نشان می‌دهد. شکل (۲) طرح کنترلی پیشنهادی ما را نشان می‌دهد. به طور متداول، حلقه‌های آنتی ویندآپ به کنترلرهای رزونانسی جریان و ولتاژ برای اجتناب از امکان اورشوت بیش از حد در خروجی آنها اضافه می‌گردد. به هر حال، این نوع کنترل به تنهایی کفایت لازم برای یک عملکرد عالی حفاظتی در مقابل اتصال کوتاه یا اضافه بار را نخواهد داشت. اما در طرح کنترل پیشنهادی، بمنظور داشتن یک پاسخ مناسب و سریع در جهت محدودسازی جریان اضافه بار یا اتصال کوتاه، اگر جریان خروجی از مقدار از پیش تعیین شده تجاوز نمود، قسمت رزونانسی کنترلر PR در حلقه کنترل، جریان را با مقدار صفر جایگزین خواهد نمود.

$$G_V(s) = K_{PV} + \frac{K_{RV}S}{S^2 + \omega^2} \quad (۱)$$

$$G_I(s) = K_{PI} + \frac{K_{RI}S}{S^2 + \omega^2} \quad (۲)$$

$$G_{PWM}(s) = K_{PWM} + \frac{1}{1+1.5T_S} \quad (۳)$$

که K_{PV} و K_{RV} بترتیب ضرایب تناسبی و رزونانسی کنترلر ولتاژ **PR** هستند، که K_{PI} و K_{RI} بترتیب ضرایب تناسبی و رزونانسی کنترلر جریان **PR** هستند، برای **VSI** سه سطحی مقدار گین K_{PWM} برابر با $V_{dc}/2$ است. به هر حال، به منظور سرکوب و حذف تاثیر ولتاژ باس **DC**، این باس همیشه در کنترل مورد توجه می‌باشد، سیگنال PWM به مقدار $V_{dc}/2$ قبل از ارسال به مدار درایور تقسیم خواهد شد به نحوی که گین مسیر از خروجی کنترلر جریان به خروجی اینورتر، از نقطه PWM^* به نقطه $V_{XO}(s) (X = A, B, C)$ در شکل (۲) معادل مقدار عددی ۱ خواهد بود. متعاقباً، یک واحد کنترل فیدفورواردر در اینجا $F(s) = 1$ بکار گرفته می‌شود. آنالیز کنترلر **PR** برای تشریح روش کنترلی پیشنهادی ضروری است زیرا آن یک بخش مهم در رهیافت کنترلی پیشنهادی محسوب می‌شود. دیاگرام کلی کنترلر **PR** در شکل (۳) نمایش شده است.



شکل (۳): مدل کنترلی ساده شده برای VSI در UPS

تابع تبدیل کنترلر **PR** در رابطه (۴) بیان می‌شود. با توجه به سیگنال خطای ورودی فرکانس مشابه با **PR** نظیر $u_{error}(t) = M \sin(\omega t + \phi)$ ، تبدیل لاپلاس $u_{error}(t)$ مطابق رابطه (۵) خواهد شد. در بخش رزونانسی کنترلر **PR**، خروجی $y_{KR}(s)$ مشاهده می‌شود و از رابطه (۵) برای نوشتن رابطه (۶) استفاده می‌شود. با گرفتن عکس لاپلاس از رابطه (۶) مطابق ذیل رابطه (۷) حاصل می‌شود.

$$G_{PR}(s) = K_P + \frac{K_R S}{S^2 + \omega^2} \quad (۴)$$

$$u_{error}(s) = \ell[M \sin(\omega t + \phi)] = \ell[M \sin(\omega t) \cos \phi + M \cos(\omega t) \sin \phi] \quad (۵)$$

$$= M(\cos \phi) \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} + M(\sin \phi) \frac{s}{s^2 + \omega^2} \quad (۶)$$

$$y_{KR}(s) = KR.M \left\{ (\cos \phi) \frac{\omega s}{(s^2 + \omega^2)^2} + \frac{\sin \phi}{2} \left[\frac{s^2 - \omega^2}{(s^2 + \omega^2)^2} + \frac{1}{(s^2 + \omega^2)} \right] \right\}$$

$$y_{KR}(t) = \left[M(\cos \phi) \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} + M(\sin \phi) \frac{s}{s^2 + \omega^2} \right] \frac{KR.s}{s^2 + \omega^2} \quad (۷)$$

$$= KR.M \left\{ \frac{\cos \phi}{2} t \sin(\omega t) + \frac{\sin \phi}{2} \left[t \cos(\omega t) + \frac{1}{\omega} \sin(\omega t) \right] \right\}$$

می‌توان به این نکته توجه کرد که خروجی با زمان افزایش می‌یابد تا وقتی که سیگنال ورودی صفر شود. بنابراین، مقدار نهایی کنترلر رزونانسی مقدار ثابتی با خطای حالت دائمی صفر خواهد شد البته اگر کنترلر به درستی تنظیم شده باشد. کنترلر رزونانسی زمانی عملکرد دارد که یک سیگنال خطا موجود باشد. بعلاوه، باید توجه داشت که کنترل رزونانسی فقط با یک سیگنال ورودی غیر صفر کار می‌کند بدین معنی که همواره خروجی کنترل رزونانسی به گردآوری سیگنال خطا با گذر زمان ادامه می‌دهد. بنابراین، یک خطای کوچک می‌تواند منجر به یک اصلاح بزرگ شود اگر زمان کافی باشد. از آنجایی که خطا جمع می‌شود، سیستم تحت فشار خواهد بود تا خطا را اصلاح کند تا در حالت دائمی به مقدار صفر برسد. به هر حال، با کنترلر رزونانسی یا انتگرالی همیشه اورشوت روی سیگنال کنترلی رخ می‌دهد. بمنظور ارزیابی عملکرد یک کنترلر در دیاگرام کنترلی، برخی ابزار را می‌توان بکار گرفت. پاسخ پله اغلب برای تایید کارایی و پایداری یک طرح کنترلی بکار گرفته می‌شود. پاسخ دینامیکی سریع برای یک سیستم قدرت ضروری است و آن می‌تواند انحراف ولتاژ و جریان خروجی را طی خطاهای گذرا با کنترل موثر کاهش دهد. پاسخ پله واحد به طور گسترده در سیستم قدرت استفاده می‌شود، این یک رفتار زمانی از خروجی سیستم است وقتی که در یک زمان

کوتاه ورودی از مقدار صفر به یک پریونیت تغییر می‌کند. از دیدگاه عملی، دانستن اینکه سیستم چگونه به یک ورودی ناگهانی پاسخ خواهد داد بسیار حائز اهمیت است زیرا انحرافات تا حد ممکن سریع و بزرگ از وضعیت حالت دائمی طولانی مدت ممکنه اثرات شدیدی بر کنترولر و تمامی بخش‌های دیگر کل سیستم که وابسته به این کنترولر هستند، داشته باشد. بعلاوه، سیستم قادر به فعالیت نیست تا اینکه خروجی کنترولر به مجاورت حالت دائمی خود برسد. به طور نرمال، دانستن پاسخ پله یک سیستم دینامیکی اطلاعاتی در ارتباط با پایداری اینچنین سیستمی و توانایی آن برای رسیدن به حالت ثابت و استاتیک جدید می‌دهد. به طور نرمال، از طریق پاسخ پله سیستم می‌توان اطلاعاتی نظیر ماکزیمم اورشوت، زمان نشست و پاسخ حالت دائمی سیستم را تعیین کرد. هنگامی که یک اضافه بار یا اتصال کوتاه رخ می‌دهد، سیستم به سمت یک نقطه کار جدید حرکت می‌کند، از دیدگاه بار، می‌توان یک تغییر بزرگ پله‌ای بار را مشاهده کرد، و جریان بیشتری که باید از طریق کانورترها فراهم شود، برای حفاظت سخت افزاری، ما نیاز به تمرکز بر روی این سه جنبه خواهیم داشت: کاهش ماکزیمم اورشوت و زمان نشست و همچنین دستیابی به یک حفاظت محدودساز جریانی مناسب. بنابراین، آنالیز پاسخ پله سیستم حلقه-بسته برای استراتژی کنترلی پیشنهادی می‌تواند یک رهیافت بهینه برای بهبود فرآیند کنترلی سیستم ارائه دهد. در اینجا سه ساختار کنترلی متفاوت برای تحلیل پاسخ پله طرح کنترلی پیشنهادی مورد توجه قرار می‌گیرد. **مورد ۱**، استفاده تنها از کنترولر تناسبی K_{PI} در حلقه کنترلی جریان با کنترل فیدفوروارد ولتاژ خازن V_C منجر می‌شود که تابع تبدیل حلقه بسته در نتیجه شامل حلقه کنترلی جریان مطابق رابطه (۸) شود. **مورد ۲**، استفاده از کنترولر **PR** در حلقه کنترلی جریان بدون کنترل فیدفوروارد V_C منجر می‌شود که تابع تبدیل حلقه بسته شامل حلقه کنترل جریان مطابق رابطه (۹) خواهد شد که با توجه به رابطه (۱۰) می‌توان رابطه (۹) را به شکل رابطه (۱۱) بازنویسی کرد. در رابطه (۹) به روشنی نشان داده می‌شود که بدون کنترل فیدفوروارد $V_C(s)$ ، تاثیر ولتاژ خازن بر روی جریان سلف قابل حذف نمی‌باشد. در رابطه (۸) مولفه $I_0(s)$ را می‌توان به عنوان یک وقفه خارجی مشاهده نمود. **مورد ۳**، برای مجزاسازی ولتاژ خازن $V_C(s)$ و جریان سلف $I_L(s)$ ، کنترل فیدفوروارد به حلقه کنترل جریان اضافه می‌شود، پس تابع تبدیل حلقه بسته حلقه کنترلی جریان مطابق رابطه (۱۲) خواهد شد. در مطالعه وضعیت سوم می‌توان متوجه شد که تاثیر ولتاژ خازن بر روی جریان سلف حذف می‌شود.

$$I_L(s) = \frac{G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}}{1+G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}} I_{ref}(s) = \frac{K_{PI}}{Ls+r_L+K_{PI}} I_{ref}(s) \quad (8)$$

$$I_L(s) = \frac{G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}}{1+G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}} I_{ref}(s) - \frac{\frac{1}{Ls+r_L}}{1+G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}} V_C(s) \quad (9)$$

$$= \frac{K_{PI}s^2 + K_{RI}s + K_{PI}\omega_0^2}{Ls^3 + (K_{PI} + r_L)s^2 + (\omega_0^2 L + K_{RI})s + (K_{PI} + r_L)\omega_0^2} I_{ref}(s) - \frac{s^2 + \omega_0^2}{Ls^3 + (K_{PI} + r_L)s^2 + (\omega_0^2 L + K_{RI})s + (K_{PI} + r_L)\omega_0^2} V_C(s)$$

$$V_C(s) = \frac{I_L(s) - I_0(s)}{Cs} \quad (10)$$

$$I_L(s) = \frac{K_{PI}Cs^3 + K_{RI}Cs^2 + K_{PI}\omega_0^2Cs}{A(s)} I_{ref}(s) - \frac{s^2 + \omega_0^2}{B(s)} I_0(s) \quad (11)$$

$$A(s) = LCs^4 + K_{PI}Cs^3 + [(\omega_0^2 L + K_{RI})C + 1]s^2 + K_{PI}\omega_0^2Cs + \omega_0^2$$

$$B(s) = LCs^4 + (K_{PI} + r_L)Cs^3 + [(\omega_0^2 L + K_{RI})C + 1]s^2 + (K_{PI} + r_L)\omega_0^2Cs + \omega_0^2$$

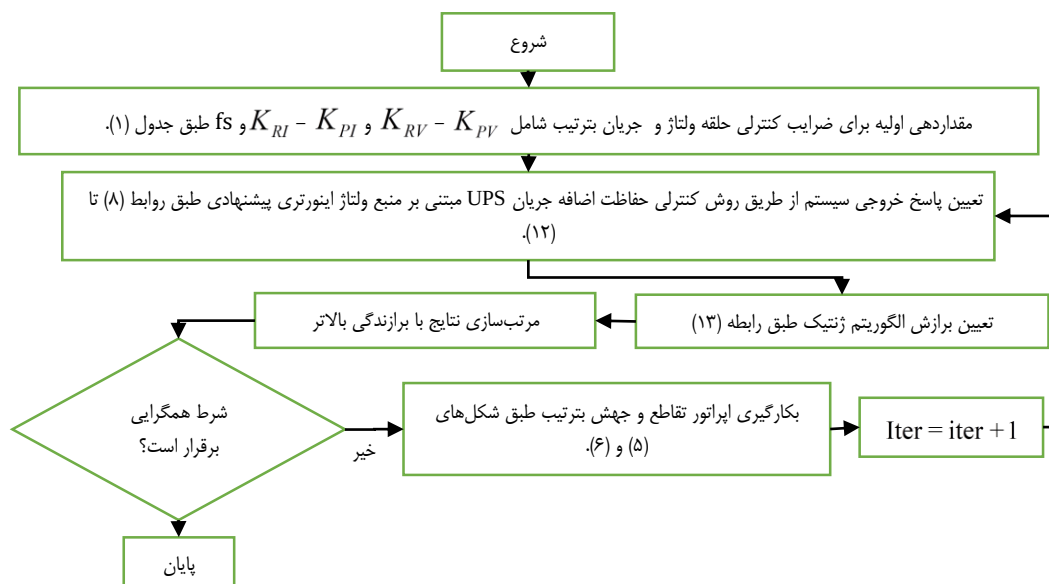
$$I_L(s) = \frac{G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}}{1+G_I(s) \frac{1}{Ls+r_L}} I_{ref}(s) \quad (12)$$

$$= \frac{K_{PI}s^2 + K_{RI}s + K_{PI}\omega_0^2}{Ls^3 + (K_{PI} + r_L)s^2 + (\omega_0^2 L + K_{RI})s + (K_{PI} + r_L)\omega_0^2} I_{ref}(s)$$

۳- کدسازی مسئله حفاظت اضافه جریانی UPS مبتنی بر VSI توسط الگوریتم ژنتیک

در این بخش، ابتدا فلوچارت کار بمنظور دستیابی به پاسخی مطلوب‌تر از طریق روش کنترلی پیشنهادی ارائه می‌گردد و سپس نحوه کدسازی مسئله بهینه‌سازی کنترل حفاظت اضافه جریانی **UPS** مبتنی بر **VSI** در الگوریتم هوشمند ژنتیک با هدف تعیین

مقادیر بهینه ضرایب تناسبی-رزونانسی حلقه‌های کنترلی ولتاژ و جریان و فرکانس سوئیچینگ **VSI** بترتیب شامل K_{PV} - K_{RV} و K_{PI} - K_{RI} و f_s تشریح می‌گردد. فلوجارت کلی کار در شکل (۴) به نمایش در آمده است. در این بخش، الگوریتم هوشمند ژنتیک به منظور تعیین مقادیر بهینه ضرایب تناسبی و رزونانسی حلقه‌های ولتاژ و جریان کنترلر پیشنهادی بکار گرفته می‌شود.



شکل (۴): فلوجارت کار بمنظور دستیابی به پاسخی مطلوب تر از طریق روش کنترلی پیشنهادی

به طور کلی، برای ساخت مدل بهینه‌سازی کنترلی با هدف حفاظت **UPS** مبتنی بر **VSI** در مقابل اضافه بار و اتصال کوتاه با بارگیری الگوریتم ژنتیک چهار جزء مهم آن باید درست طراحی گردد: اول، دستور زبان یا گرامر کروموزم که در واقع کدبندی و رمزگذاری یک قالب اطلاعاتی است که در فرمت کروموزم کدسازی می‌شود. دوم، تعبیر و تفسیر اطلاعات درون هر کروموزم در واقع کشف رمز از آن می‌باشد. سوم، محاسبه و تعیین برازندگی کروموزم که معادل تنظیمات حفاظتی بهتر برای اینورتر منبع ولتاژ **VSI** در مقابل اضافه بار و اتصال کوتاه می‌باشد. چهارم، عملگرهای مناسب برای امور آمیزش و انتزاج و جهش کروموزم‌ها بخش دیگری از کار است که باعث می‌شود تا تنظیمات حفاظتی نامناسب برای حلقه کنترلی ولتاژ و جریان طرح کنترلی منبع تغذیه بی-وقفه **UPS** مبتنی بر **VSI** با مقادیر بهتر جایگزین کنند. الگوریتم هوشمند ژنتیک به جای اینکه روی پارامترها یا متغیرهای مسئله کار کند، با شکل کد شده آنها به طور مناسب سروکار دارد. متداولترین روش کدگذاری کاربرد اعداد حقیقی در رشته‌های بیتی است. در این روش پارامترها با دنباله‌های مناسب از اعداد حقیقی جایگزین می‌شوند. تعداد بیت‌هایی که برای کدگذاری متغیرها استفاده می‌شود وابسته به محدوده تغییرات پارامترها و رابطه بین متغیرها می‌باشد. برای نمونه، در کنترلر حلقه ولتاژی مقدار عددی K_{PV} بین ۰٫۵ تا ۰٫۹ آمپر به ولت و K_{RV} بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ آمپر ثانیه بر ولت می‌باشد و برای کنترلر حلقه جریانی K_{PI} در محدوده ۱ تا ۲ آمپر به ولت و K_{RI} بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ آمپر ثانیه بر ولت و fs بین ۱۵ تا ۲۵ کیلوهرتز است. از آنجایی که در حل مسئله بهینه‌سازی پاسخ روش کنترلی با هدف حفاظت **UPS** مبتنی بر **VSI** در مقابل اضافه بار و اتصال کوتاه مورد توجه قرار گرفته است ساختار کروموزم کدسازی شده معادل حل مسئله مطابق جدول (۱) می‌شود.

جدول (۱): کرموزوم نمونه بعنوان تنظیم پارامترهای بهینه روش حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه جریان

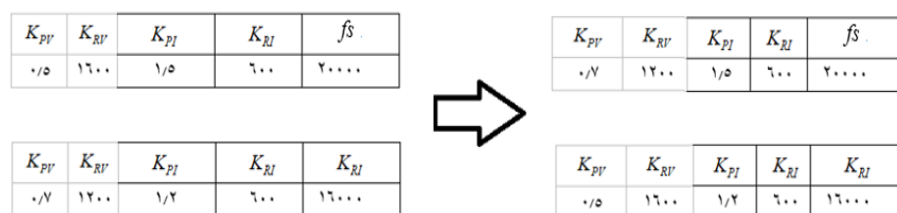
K_{PV}	K_{RV}	K_{PI}	K_{RI}	f_s
••	•••	••	•••	••••

از آنجایی که اجرای فرایند کنترل سیستم **UPS** مبتنی بر **VSI** در مقابل اضافه جریان هدف نهایی کار می‌باشد. بنابراین، باید پاسخ این سیستم در مقابل رخداد اضافه جریان توسط عملکرد کنترلر پیشنهادی با پارامترهای تنظیم حلقه ولتاژ و جریان شامل $K_{RI} - K_{PI}$ و $K_{RV} - K_{PV}$ و همچنین فرکانس سوئیچینگ اینورتر منبع ولتاژ fs تولیدی الگوریتم ژنتیک در هر تکرار برازش شوند. در اینجا، برازندگی هر مجموعه تنظیم پارامترهای کنترلی از طریق مجموع وزندار شده ماکزیمم اورشوت و زمان نشست پاسخ سیستم به رخداد اضافه بار تعیین می‌گردد. برای مثال، فرکانس سوئیچینگ اینورتر منبع ولتاژ fs معادل ۲۰ کیلوهرتز در

نظر گرفته می‌شود و دامنه جریان در خروجی اینورتر به ۲۰ آمپر محدود گردد و فرکانس پایه سیستم ۳۱۴ رادیان بر ثانیه باشد. بعلاوه، ولتاژ نامی خروجی اینورتر ۲۳۰ ولت موثر باشد. رابطه برازش تنظیم پارامترهای کنترلی مطابق رابطه (۱۳) تعیین می‌گردد.

$$Fitness_{Control Method} = \alpha.(MAX_{overshoot}) + \beta.(Settling time) \quad (13)$$

با توجه به محاسبه برازش برای جمعیت اولیه کروموزوم‌ها یا به عبارت دیگر پارامترهای تنظیم روش کنترلی برای حفاظت اضافه جریان سیستم **UPS** مبتنی بر **VSI**، اجرای الگوریتم **GA** در تکرار بعد نیاز به مرتب‌سازی کروموزوم‌های والد بهتر بر اساس نتایج برازش بر اساس پاسخ مطلوب سیستم دارد. عملگر تقاطع بر روی یک جفت از کروموزوم‌ها شامل پارامترهای تنظیم روش کنترلی عمل می‌کند و می‌تواند به صورت نقطه‌ای و یا چند نقطه‌ای باشد. عملگر جابجایی تک نقطه‌ای، دو کروموزوم را به طور تصادفی از یک نقطه شکسته و بخش‌های دو کروموزوم را جابه‌جا می‌کند بدین ترتیب دو کروموزوم جدید بدست می‌آید. به کروموزوم‌های اولیه، کروموزوم‌های والد و به کروموزوم‌های حاصل شده از عمل جابه‌جایی و عمل جهش، کروموزوم‌های فرزند گویند. عملگر تقاطع با احتمال **pc** بر روی کروموزوم‌های والد عمل می‌کند. بدین معنی که با احتمال **pc** عمل جابجایی انجام می‌گیرد. در عمل جابجایی، ابتدا نقطه‌ای در حد فاصل دو بیت مجاور از کروموزوم‌های والدین به تصادف انتخاب شده و سپس جابه‌جایی از آن نقطه صورت می‌گیرد. معمولاً اگر کروموزوم از کدگذاری چندین متغیر بوجود آمده باشد، بهتر است که نقطه جابجایی، محل اتصال متغیرها انتخاب شود. در شکل (۵) کروموزوم‌ها از شکل کد شده متغیرهای $K_{PI} - K_{PV}$ و $K_{RV} - K_{RL}$ و **fs** ساخته شده‌اند و محل اتصال متغیرها می‌تواند به عنوان نقطه جابجایی باشد. برای مثال در این شکل محل اتصال متغیرهای K_{RV} و K_{PI} بعنوان نقطه جابجایی انتخاب شده است. تفاوت بین عملگر جابه‌جایی در مقایسه با عملگر جابه‌جایی تک نقطه‌ای در این است که نقطه شکست دو کروموزوم بیش از یکی است و جابه‌جایی در بخش‌های شکسته شده دو کروموزوم به صورت یک در میان انجام می‌گیرد. عملگر جهش به طور تصادفی یک ژن از یک کروموزوم را انتخاب کرده که در اینجا شامل محتوی یک پارامتر تنظیم روش کنترلی است که با تغییر آن به طور تصادفی یک کروموزوم جدید مطابق شکل (۶) ساخته می‌شود.



شکل (۵): تقاطع در کروموزوم‌های معادل پارامتر تنظیم روش کنترلی حفاظت اضافه جریان سیستم **UPS**

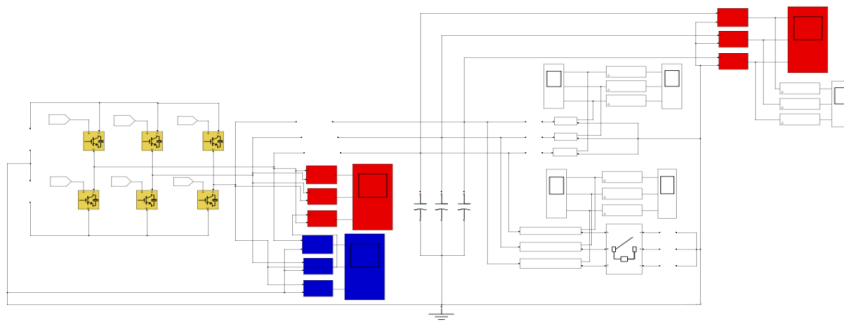


شکل (۶): جهش در کروموزوم معادل پارامتر تنظیم روش کنترلی حفاظت اضافه جریانی تجهیز **UPS**

عملگر انتخاب با انتخاب تعدادی از کروموزوم‌های یک جمعیت، جمعیت جدیدی را تشکیل می‌دهد. این انتخاب به گونه‌ای است که احتمال حضور کروموزوم‌های با برآزندگی بالاتر در جمعیت نهایی، بیشتر از سایر کروموزوم‌ها است.

۴- مطالعات عددی و نتایج شبیه‌سازی

بمنظور اعتبارسنجی و تایید کارایی مدل پیشنهادی حفاظت اضافه جریان **UPS** مبتنی بر **VSI** سه فاز، مطالعات عددی بر روی سیستم تست مطابق شکل (۷) بکار گرفته می‌شود. پارامترهای طرح کنترلی سیستم شامل فرکانس برق **ac** خروجی **UPS**، خازن، سلف فیلتر و مقاومت بار و همچنین محدودیت جریان عبوری از اینورتر منبع ولتاژ سه فاز **VSI** در جدول (۲) نمایش شده است. پیاده‌سازی مدل کنترلی پیشنهادی برای سیستم خطی‌سازی شده مطابق شکل (۸) در محیط نرم افزار متلب بر روی کامپیوتر **ASUS** با پردازشگر چهار هسته‌ای ۲،۴ گیگاهرتزی انجام شده است و از الگوریتم هوشمند ژنتیک **GA** برای مسئله بهینه‌سازی تنظیم پارامترهای کنترلی در حلقه جریانی و ولتاژی و همچنین فرکانس سوئیچینگ **VSI** استفاده گردیده است.

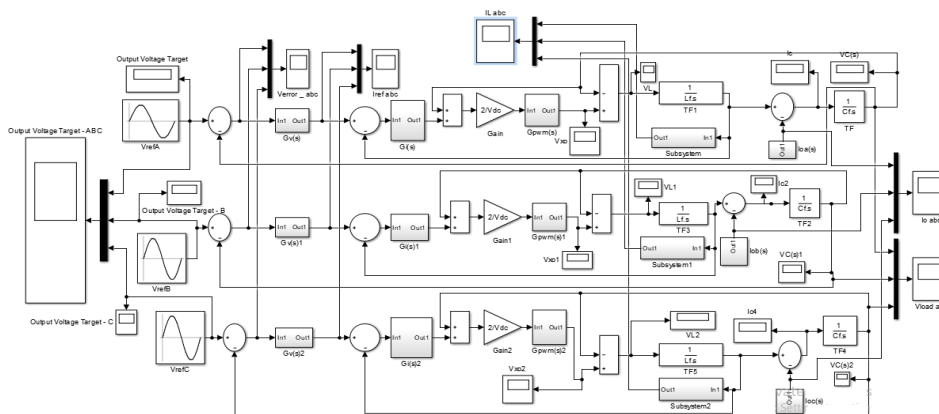


شکل (۷): شبیه‌سازی منبع تغذیه بی وقفه UPS مبتنی بر اینورتر منبع ولتاژ سه فاز VSI

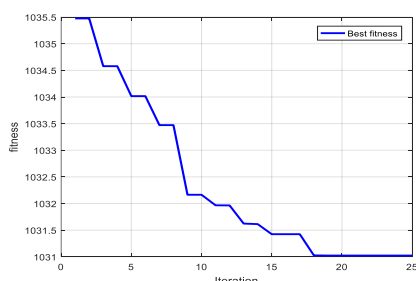
جدول (۲): پارامترهای طرح کنترلی پیشنهادی برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI در برابر اضافه جریان

Coefficient	Parameters	Value
Fundamental frequency	ω_o	314 rad/s
Filter capacitor	C_f	60 μ F
Filter inductor	L_f	200 μ H
Equivalent series resistance of filter inductor	r_L	0.06 Ω
Preset current amplitude limit value	I_{limit}	35 A
Nominal output voltage	V_{ref}	230 V(rms)

در ابتدا فرض شده که سیستم تست مورد مطالعه تحت شرایط نرمال عملکرد داشته است که شکل موج‌های ولتاژ و جریان بر اساس ضرایب کنترلی حلقه جریان-ولتاژ و فرکانس سوئیچینگ بهینه که توسط الگوریتم ژنتیک تعیین می‌گردد، پارامترهای الگوریتم ژنتیک برای تعداد ۱۰ تکرار، تعداد جمعیت ۲۰ کروموزوم و همچنین احتمال تقاطع و جهش بترتیب ۰٫۳ و ۰٫۷ تنظیم می‌شوند. تعداد ۵ ژن برای هر کروموزوم معادل پاسخ بهینه مسئله بهینه‌سازی می‌باشد.

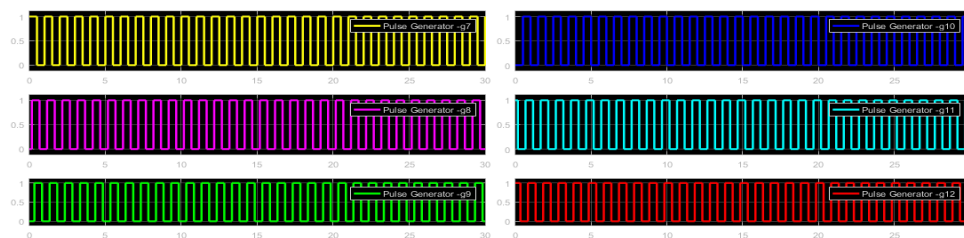


شکل (۸): شبیه‌سازی مدل کنترل پیشنهادی برای خطی شده سیستم UPS مبتنی بر VSI سه فاز



شکل (۹): منحنی همگرایی GA به جواب بهینه مسئله طرح کنترلی حفاظت UPS مبتنی بر VSI

پس از همگرایی حل مسئله به نتایج بهینه مطابق شکل (۹)، همان طور که از نتایج شبیه‌سازی بر می‌آید فرمان کنترلی به گیت ترانزیستورهای اینورتر منبع ولتاژ VSI تحت شرایط نرمال مطابق شکل (۱۰) می‌شود. نتایج شبیه‌سازی تحت شرایط نرمال برای ضرایب کنترلی حلقه ولتاژ-جریان و فرکانس سوئیچینگ اینورتر منبع ولتاژ مطابق جدول (۳) محاسبه می‌شود.

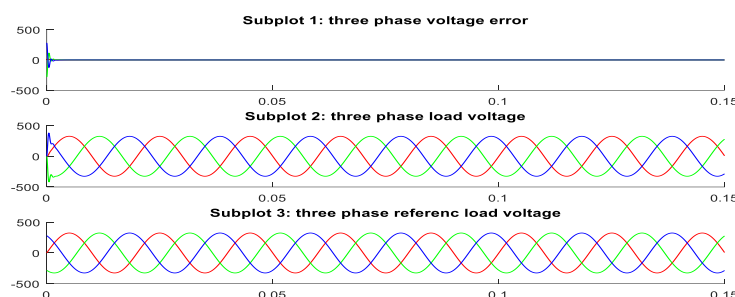


شکل (۱۰): فرمان کنترلی به گیت ترانزیستورهای اینورتر منبع ولتاژ VSI تحت شرایط نرمال

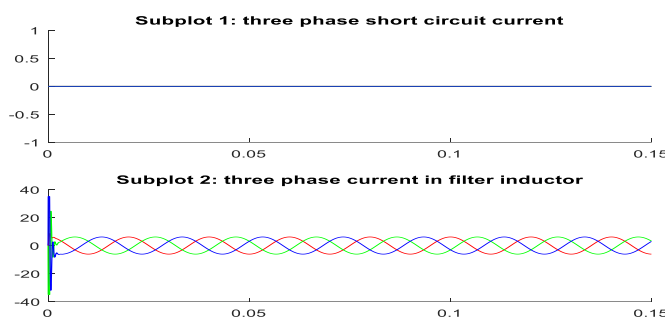
جدول (۳): نتایج شبیه‌سازی برای پارامترهای تنظیم روش کنترلی UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه جریان

K_{PV}	K_{RV}	K_{PI}	K_{RI}	f_s
0.5	500	1.2456	500	15342

مقایسه ولتاژ رفرنس و ترمینال UPS مبتنی بر VSI تحت شرایط نرمال و همچنین خطای ولتاژ در شکل (۱۱) به نمایش در آمده است. مطابق انتظار تحت شرایط عدم وقوع اضافه بار و اتصال کوتاه، مقدار خطای ولتاژ دو سر ترمینال بار پس از عبور از گذرای لحظه راه اندازی سیستم همواره صفر است. مقایسه جریان سلف فیلتر و جریان اتصالی برای UPS مبتنی بر VSI تحت شرایط نرمال در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۱): ولتاژ دو سر بار و خطای ولتاژ در ترمینال UPS مبتنی VSI تحت شرایط نرمال



شکل (۱۲): نتایج شبیه‌سازی برای جریان سلف فیلتر و جریان اتصالی UPS مبتنی VSI تحت شرایط نرمال

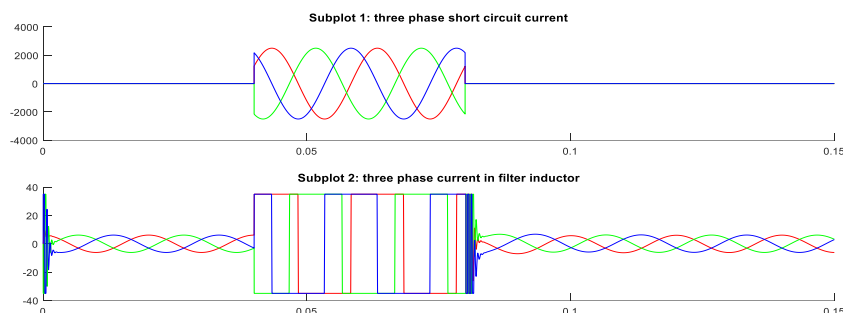
مطابق انتظار جریان اتصال کوتاه و اضافه بار محاسبه شده صفر و دامنه جریان سلف فیلتر معادل ۵ آمپر می‌باشد. بمنظور انجام اعتبارسنجی و تایید کارایی روش کنترلی پیشنهادی، مطالعات موردی برای دو رخداد اضافه جریان شامل اتصال کوتاه سه فاز متقارن با جریانی معادل ۲۵۰۰ آمپر و اضافه بار ۵۰ آمپر برای سیستم شبیه‌سازی می‌گردد و نتایج متناظر با هر مطالعه با جزییات بحث و بررسی می‌شود.

۴-۱- اتصال کوتاه سه فاز متقارن به زمین با جریانی معادل ۲۵۰۰ آمپر

در این مطالعه موردی روش کنترلی پیشنهادی برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اتصال کوتاه سه فاز متقارن رخ داده با جریان نامی ۲۵۰۰ آمپر تست می‌گردد. الگوریتم ژنتیک پس از ۲۴ تکرار به جواب بهینه مسئله مذکور همگرا می‌شود و ضرایب کنترلی بهینه مطابق جدول (۴) تعیین می‌شود. تحت شرایط اتصال کوتاه سه فاز رخ داده با جریان نامی ۲۵۰۰ آمپر، نتایج شبیه‌سازی برای جریان سلف فیلتر و جریان اتصالی UPS مبتنی بر VSI در فازهای A و B و C در شکل (۱۳) آورده شده است.

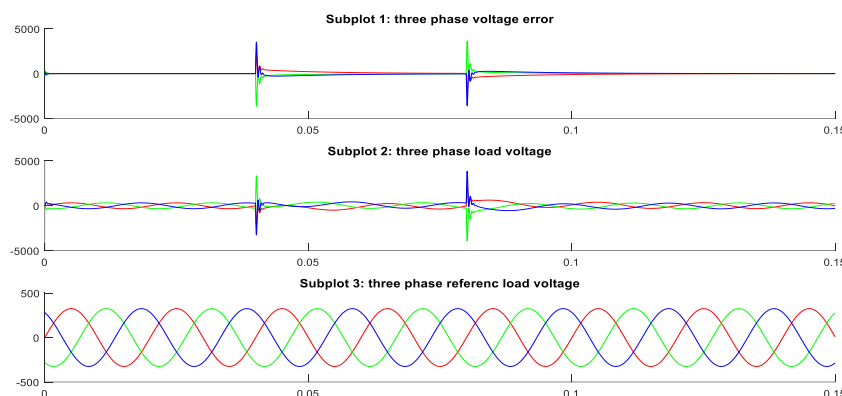
جدول (۴): نتایج شبیه‌سازی برای پارامترهای کنترلی بهینه UPS مبتنی بر VSI در شرایط اتصال کوتاه سه فاز متقارن

K_{PV}	K_{RV}	K_{PI}	K_{RI}	f_s
1	1500	1.5	1000	18199



شکل (۱۳): نتایج شبیه‌سازی برای جریان سلف فیلتر و اتصال UPS مبتنی بر VSI هنگام اتصال کوتاه سه فاز متقارن

جریان سه فاز در زمان اتصالی بین ۰,۰۴ تا ۰,۰۸ ثانیه در سیکل منفی و مثبت در ماکزیمم مقدار ۳۵ آمپر محدود گردیده است که پس از طی گذاری بعد پاکسازی خطا در سیستم به شرایط نرمال ۵ آمپری باز می‌گردد. با توجه به تغییرات جریان سیستم مقایسه نتایج ولتاژ رفرنس و ترمینال بار و همچنین اختلاف ولتاژ واقعی ترمینال UPS مبتنی بر VSI از مقدار مطلوب تحت شرایط اتصال کوتاه سه فاز متقارن رخ داده با جریان نامی ۲۵۰۰ آمپر در فازهای A و B و C در شکل (۱۴) به نمایش در آمده است.



شکل (۱۴): مقایسه نتایج ولتاژ رفرنس، ولتاژ ترمینال بار و همچنین اختلاف ولتاژ واقعی ترمینال UPS مبتنی بر VSI از مقدار مطلوب تحت شرایط جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن ۲۵۰۰ آمپر

همان طور که دیده می‌شود طرح کنترلی پیشنهادی در مواجهه با رخداد اتصال کوتاه سه فاز متقارن که در واقع بدترین حالت ممکن برای رخداد خطا در تجهیز UPS مبتنی بر VSI است نیز عملکرد مناسبی از خود نشان داده و گذرای جریانی و ولتاژی ایجاد می‌کند را با کمترین ماکزیمم اورشوت و زمان نشست پاسخ به مقدار مطلوب باز می‌گرداند.

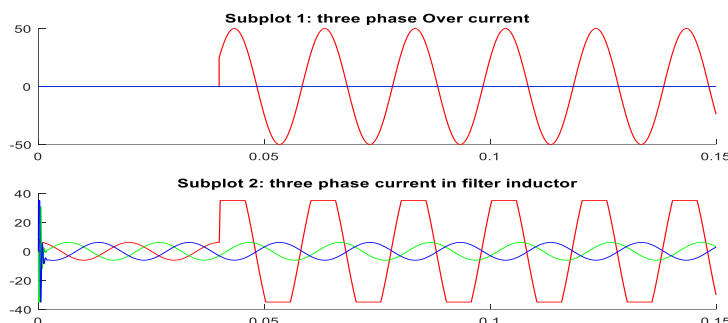
۴-۲- اضافه بار با جریان ۵۰ آمپر در فاز A

در این مطالعه موردی روش کنترلی پیشنهادی برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه بار رخ داده با جریان نامی ۵۰ آمپر در فاز A از زمان ۰,۰۴ ثانیه تا ۰,۱۵ ثانیه بکار گرفته می‌شود. الگوریتم ژنتیک پس از ۱۹ تکرار به حل بهینه مسئله همگرا می‌شود و در نتیجه ضرایب کنترلی بهینه بمنظور حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل رخداد اضافه بار با جریان نامی ۵۰ آمپر در فازهای A مطابق جدول (۵) تعیین می‌کند.

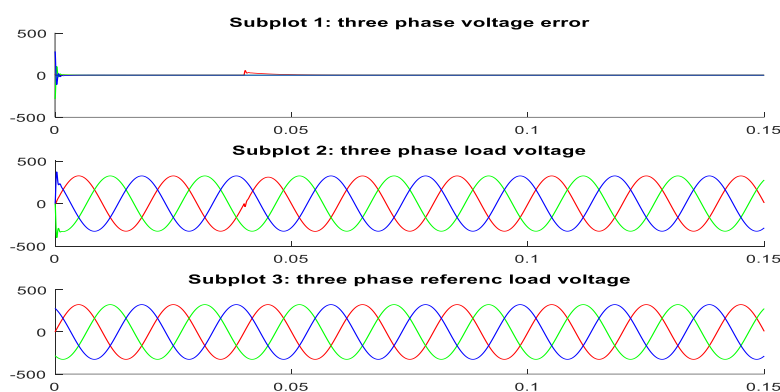
جدول (۵): نتایج شبیه‌سازی برای پارامترهای ضرایب کنترلی بهینه UPS مبتنی بر VSI در مقابل اضافه بار ۵۰ آمپری

K_{PV}	K_{RV}	K_{PI}	K_{RI}	f_s
0.71702	500	1.5	520	21339

تحت شرایط جدید اضافه بار رخ داده با جریان نامی ۵۰ آمپر در فاز A از زمان ۰.۰۴ تا ۰.۱۵ ثانیه، نتایج شبیه سازی برای جریان سلف فیلتر و جریان اتصال UPS مبتنی بر VSI در فازهای A و B و C مطابق شکل (۱۵) به نمایش در آمده است. شکل (۱۶) مقایسه نتایج ولتاژ رفرنس و ترمینال بار و همچنین اختلاف ولتاژ واقعی ترمینال UPS مبتنی بر VSI از مقدار مطلوب تحت شرایط اضافه بار رخ داده با جریان نامی ۵۰ آمپر در فاز A را نشان می دهد.



شکل (۱۵): نتایج شبیه سازی برای جریان سلف فیلتر و جریان UPS مبتنی بر VSI تحت شرایط اضافه بار رخ داده در فاز A با جریان نامی ۵۰ آمپر



شکل (۱۶): نتایج شبیه سازی ولتاژ رفرنس، ولتاژ ترمینال بار و همچنین اختلاف ولتاژ واقعی ترمینال UPS مبتنی بر VSI از مقدار مطلوب طی اضافه بار رخ داده با جریان ۵۰ آمپری فاز A

نتایج شبیه سازی نشان می دهد ولتاژ ترمینال UPS مبتنی بر VSI در وضعیت اضافه بار گذاری چندان چشمگیر و چالش برانگیزی برای کنترلر پیشنهادی ایجاد نمی کند بدین معنی که کنترلر حلقه ولتاژ برای بازگرداندن سیستم به شرایط نرمال از نظر ولتاژی عملکرد مناسبی دارد و این در حالی است که حلقه جریان کنترلر پیشنهادی نیز در زمان رخداد جریان بیش از مقدار محدودیت جریانی UPS معادل ۵۰ آمپر در مقدار ۳۵ آمپر محدود می شود تا از رسیدن آسیب به تجهیزات جلوگیری شود.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، یک استراتژی کنترلی جدید برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI پیشنهاد شد و در ادامه نحوه کدسازی پارامتریک ضرایب کنترلی حلقه های جریانی و ولتاژی در الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بیان گردید. بمنظور اعتبارسنجی و تایید کارایی روش کنترلی پیشنهادی برای حفاظت UPS مبتنی بر VSI در مقابل اتصال کوتاه و اضافه بار، مطالعات عددی و شبیه سازی بر روی سیستم تست بکار گرفته شد. دو رخداد اضافه بار شامل اتصال کوتاه سه فاز متقارن با جریانی معادل ۲۵۰۰ آمپر و همچنین اضافه بار در فاز A با جریان ۵۰ آمپر شبیه سازی گردید. نتایج گواه این حقیقت است که طرح کنترلی پیشنهادی عملکرد مناسبی داشته و گذرای جریانی و ولتاژی ایجاد می شود تا از رسیدن آسیب به تجهیزات جلوگیری شود. به علاوه، مطالعات اضافه بار نیز نشان می دهد که گذاری حاصل از رخداد اضافه بار در مقایسه با اتصال کوتاه برای کنترلر پیشنهادی چندان چشمگیر و چالش برانگیزی ایجاد نمی باشد بدین معنی که کنترلر حلقه ولتاژ برای بازگرداندن سیستم به شرایط نرمال از نظر ولتاژی کار سختی در پیش نخواهد داشت و ضمناً حلقه جریانی کنترلر نیز جریانی UPS را در کمترین زمان پس از افزایش به بیش از محدودیت معادل ۳۵ آمپر محدود می سازد تا از رسیدن آسیب جدی به تجهیزات جلوگیری شود.

1. Martins, A. P., Carvalho, A. S., and Arajo, A. S. (1995). Design and implementation of a current controller for the parallel operation of standard UPSs, Proc. IEEE IECON, pp. 584-589.
2. Iwade, T., Komiyama, S., Tanimura, Y., Yamanaka, M., Sakane, M., and Hirachi, K. (2003). A novel small-scale UPS using a parallel redundant operation system, Proc. 25th Int. Telecommun. Energy Conference, pp. 480-484.
3. Guerrero, J. M., Hang, L., and Uceda, J. (2008). Control of distributed uninterruptible power supply systems, IEEE Trans. Ind. Electron 55, 8, pp. 2845-2859.
4. Faiz, J., Shahgholian, G., and Ehsan, M. (2008). Stability analysis and simulation of a single-phase voltage source UPS inverter with two-stage cascade outputfilter, European Transactions on Electrical Power 18, 1, pp. 29- 49.
5. Aamir, M., Kalwar, K. A., and Mekhilefn, S. (2016). Uninterruptible power supply systems - A review", Electromotion13, 4, pp. 276-289.
6. Zhang, C., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., and Coelho, E. A. A. (2016). Control architecture for parallel-connected inverters in uninterruptible power systems, IEEE Transaction on Power Electronics 31, 7, pp. 5176- 5188.
7. Hussain-Bukhari, S. S., Lipo, T. A., and Kwon, B. (2017). An online UPS system that eliminates the inrush current phenomenon while feeding multiple load transformers, IEEE Transact on Industry Applications 53, 2, pp. 1149-1156.
8. Katir, H., Abouloifa, A., Noussi, K., Lachkar I., and Giri, F. (2022). Cascaded Hybride inverters for UPS applications: Adaptive backstepping control and formal stability analysis, IEEE Control Systems Letters 6, pp. 145-150.
9. Bloemink, J. M. and Iravani, M. R. (2012). Control of a Multiple Source Micro-Grid With Built in Islanding Detection and Current Limit, IEEE Transaction on Power Delivery 27, 4, pp. 2122-2132.
10. Koseoglu, C., Altin, N., Zengin, F., Kelebek, H., and Sefa, I. (2019). A Hybrid Overload Current Limiting and Short Circuit Protection Scheme: A Case Study on UPS Inverter, 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 1-7.

ارزیابی تغییر مکان ماندگار ساختمان های بتن مسلح بهسازی شده با CFRP تحت زلزله های بلند مدت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

محراب اکرانبری^{*}

چکیده

در این تحقیق کارایی بتن مسلح شده با الیاف کربنی (CFRP) در بهبود عملکرد لرزه ای قابهای بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، یک ساختمان با سیستم قاب خمشی بتن مسلح ۸ طبقه مطابق با ضوابط شکل پذیری متوسط آیین نامه ACI 318-14 در نرم افزار SAP2000 طراحی شده اند. به منظور بهبود عملکرد لرزه ای سازه ها، از تقویت کننده های CFRP در نواحی مستعد به رفتار غیر الاستیک به عنوان تکنیک اصلی بهسازی در این مقاله استفاده شده است. رسیدن به سطح پذیرش مدنظر آیین نامه به عنوان اصلی ترین هدف در مقاوم سازی ساختمان های مذکور انتخاب شده است. در گام دوم مقاوم سازی، کنترل ضابطه ستون قوی-تیر ضعیف مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نیاز به تقویت سازه پرداخته شده است. جهت ارزیابی لرزه ای سازه های مدنظر از نشریه ۳۶۰ استفاده شده است. سپس به بررسی نتایج سازه های اولیه و بهسازی شده تحت زلزله های با مدت دوام بالا پرداخته شده است. نتایج از نظر تغییر مکان ماندگار در سازه با هم مقایسه شده است. نتایج نشان داد که طرح بهسازی شده در بهبود عملکرد لرزه ای سازه و کاهش تغییر مکان ماندگار در سازه ها می تواند کارا و مفید باشد.

واژگان کلیدی: CFRP، بهسازی لرزه ای، مفصل پلاستیک، تغییر مکان ماندگار، طراحی عملکردی

۱- مقدمه

در کشورهای مختلف جهان بسیاری از ساختمان‌ها بر پایه ی آیین نامه های قدیمی طراحی و ساخته شده بودند. در این آیین نامه ها نسبت به آیین نامه های امروزی، توجه کمی روی بارگذاری زلزله شده بود و عمدتاً بارهای ثقلی به عنوان بارهای مهم طراحی مد نظر قرار گرفته می شد. همانگونه که در زلزله های گذشته مانند نورتریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵، چی چی ۱۹۹۹، بم ۲۰۰۳ و کریستچارج ۲۰۱۱ دیده شد، این امر باعث آسیب پذیری زیاد سازه در برابر زلزله بود. لذا به منظور کاهش احتمال آسیب پذیری و عدم بروز نارسایی های کوچک یا بزرگ در ساختمان در اثر زلزله، بحث بهسازی لرزه ای مطرح شد [۱]. در میان تکنیکهای متفاوت بهسازی، نصب کامپوزیت های FRP روی سطوح بیرونی سازه های بتنی به منظور مقاوم سازی آنها، توجه پژوهشگران و مهندسان را به خود جلب کرده است. این موضوع به ویژه به مزیت های ذاتی FRP شامل مقاومت کششی بالا، مقاومت مناسب در برابر خوردگی و سادگی اجرا در محل نصب مربوط می شود [۲].

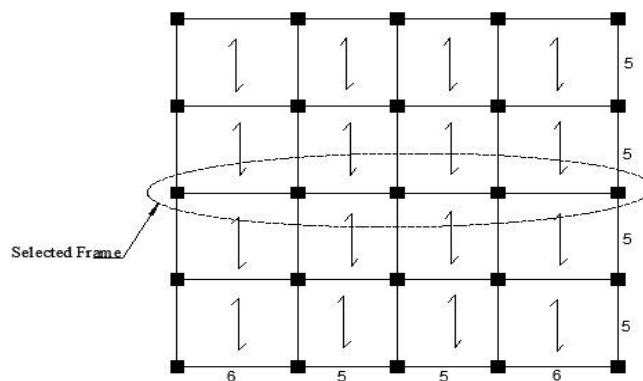
مطالعات انجام شده تا به امروز، تأثیرات مثبت FRP در بهبود عملکرد سازه های ناکارا را مورد تأیید قرار داده اند. دی لودویکو و همکاران با انجام مطالعاتی در سال ۲۰۰۸ توانستند بطور قابل ملاحظه ای ظرفیت شکل پذیری قاب طراحی شده ی بتن مسلح را با استفاده از GFRP افزایش دهند و در نتیجه باعث بهبود عملکرد لرزه ای سازه شدند [۳]. تأثیر کامپوزیت های FRP روی بهبود رفتار لرزه ای سازه های بتن مسلح ناکارا، بوسیله ی گارکيا و همکاران در سال ۲۰۱۰ تأیید شد. آن ها از طریق آنالیز عددی و تجربی نمونه ها نشان دادند که استفاده از CFRP برای بهسازی می تواند منجر به بهبود چشمگیر عملکرد لرزه ای یک سازه ی بتن مسلح خسارت دیده تحت حرکت های متفاوت زمین شود [۴]. لی ترانگ و همکاران در تحقیق خود در سال ۲۰۱۰ دریافتند که اضافه کردن کامپوزیت های FRP می تواند بطور قابل ملاحظه ای مقاومت جانبی و شکل پذیری نمونه های طراحی شده غیرسازه ای را ارتقا دهد [۵]. مرتضایی و همکاران در مطالعه ای در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که اجرای درست FRP باعث بهبود سختی، مقاومت و ظرفیت جابه جایی جانبی در سازه ی بهسازی شده می شود. نتایج آنها این موضوع را بیان می کند که تقویت با FRP در کاهش تقاضای جابه جایی برای سازه ها موثر می باشد [۶]. ماهینی و رونق با انجام مطالعاتی در سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، هم بصورت عددی و هم بصورت تجربی، توانایی ورق های FRP را در جلوگیری از تشکیل مفصل پلاستیک در اتصالات خارجی ستون های ساختمان بتنی نشان دادند [۷، ۸، ۹، ۱۰]. اسلامی و رونق در سال ۲۰۱۳ در مطالعه ای عددی، به بررسی عملکرد جانبی یک سازه ی بتنی مسلح ۸ طبقه تحت آنالیز استاتیکی غیرخطی پرداختند. آن ها با استفاده از پوشش GFRP در ناحیه های مفصل پلاستیک ستون، یک افزایش ۵۲ درصدی در ظرفیت جابه جایی کلی سازه های ناکارا را مشاهده کردند [۱۱]. در مطالعه ای دیگر در سال ۲۰۱۳ رونق و اسلامی به بهسازی خمشی یک سازه ی بتن مسلح ۸ طبقه با استفاده از مواد کامپوزیت، مطابق با آیین نامه ی سازه های بتن مسلح پرداختند. این محققین منحنی های مقاومت - جابه جایی سازه اصلی و بهسازی شده را با استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی بدست آوردند و باهم مقایسه کردند. بر اساس نتایج این مقایسه، بهسازی GFRP می تواند مقاومت جانبی کل سازه اصلی را تا ۴۳ درصد افزایش دهد. همچنین در قابهای بهسازی شده با CFRP افزایش مقاومت جانبی به ۸۰ درصد نیز می رسد. به علاوه، حداکثر جابه جایی درون طبقه ای قاب ها به میزان ۱۸ و ۲۳ درصد بترتیب بعد از بهسازی با GFRP و CFRP کاهش یافته بود [۱۲].

در این تحقیق به منظور بررسی اثر زلزله های بلند مدت بر روی تغییر مکان ماندگار یک ساختمان بتنی ۸ طبقه بهسازی شده با CFRP انجام شده است. نتایج تحلیل تاریخچه زمانی این ساختمان ها در هر دو حالت اولیه و بهسازی شده جهت ارزیابی رفتار لرزه ای آن ها با هم مورد مقایسه قرار گرفته است.

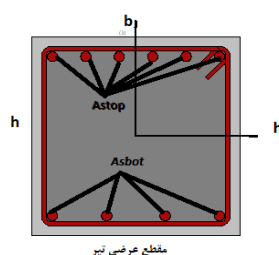
۲- مشخصات ساختمان های اصلی

در این مطالعه ی ساختمان بتن مسلح ۸ طبقه مطابق با ضوابط شکل پذیری متوسط آیین نامه [۱۳] ACI 318-14 طراحی شده است. پلان کف ساختمان در شکل (۱) نشان داده شده است. هم چنین جزئیات قاب و میلگرد گذاری آن ها در شکل (۲) ارائه شده است. بارگذاری لرزه ای بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰ [۱۴] انجام پذیرفته است.

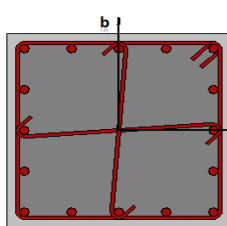
فرض شده است ساختمان ها در یک ناحیه با خطر لرزه ای بالا (حداکثر شتاب زمین $0.3g$) و بر بستر با خاک نوع ۳ (مطابق با آیین نامه ی ۲۸۰۰) قرار گرفته است. علاوه بر وزن خود تیرها و ستون ها یک بارگسترده ۴ کیلو پاسکال و ۲ کیلو پاسکال به ترتیب به عنوان بار مرده و زنده اعمال شده است. هم چنین مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال فرض شد. به علاوه برای میلگرد طولی و عرضی از میلگرد رده ی ۶۰ مطابق ASTM با مقاومت تسلیم ۴۲۰ مگاپاسکال استفاده شده است. از میلگرد آجدار به قطر ۱۰ میلی متر به عنوان میلگرد عرضی استفاده شده است. مود اول ارتعاش سازه ی ۸ طبقه بطور تقریبی بترتیب برابر $T_1 = 1.095$ تعیین شده است.



شکل ۱: پلان ساختمان



مقطع عرضی تیر



مقطع عرضی ستون

(الف)

C22	B4	C23	C24
C19	B4	C20	C21
C16	B3	C17	C18
C13	B3	C14	C15
C10	B2	C11	C12
C7	B2	C8	C9
C4	B1	C5	C6
C1	B1	C2	C3
		CL	

(ب)

شکل ۲: الف (الف) ساختمان ۸ طبقه (ب) مقطع عرضی تیر و ستون

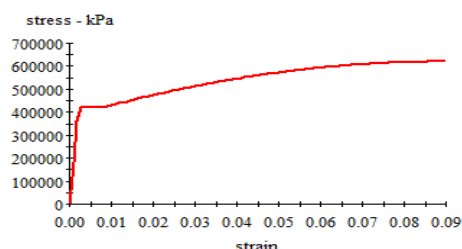
جدول ۱: ساختمان ۸ طبقه

section	story	b	h	Ast	Astop	Asbot	stirrup interval
C1-C6	1-2	600	600	16Φ22			150
C7-C12	3-4	550	550	16Φ18			150
C13-C18	5-6	500	500	16Φ18			125
C19-C24	7-8	450	450	12Φ16			125
B1	1-4	550	550		6Φ22	4Φ20	110
B2	5-6	450	450		6Φ22	4Φ18	110
B3	7-8	400	400		5Φ22	3Φ16	110

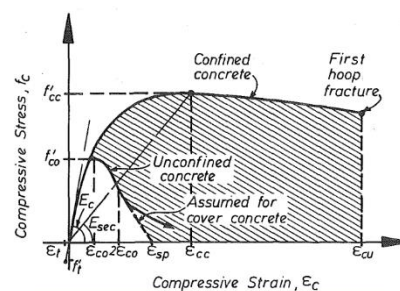
۳-۲- مشخصات غیر خطی

یکی از کارهای اساسی در تحلیل غیرخطی سازه ها استخراج منحنی لنگر-انحنای برای مقاطع اعضا است. این منحنی ها برای استخراج منحنی های ظرفیت اعضا تیر و ستون به کار می رود. منحنی های لنگر-انحنای همه ی عضوهای سازه ای با استفاده از تحلیل فایبر در نرم افزار [۱۵] XTRACT تعیین شده است. در چنین تحلیلی خصوصیات مقطع، جزئیات میلگردگذاری و بار محوری ستون در نظر گرفته شده اند. در این مطالعه بار محوری ستون از بارهای مرده به علاوه ی ۲۰ درصد بارهای زنده محاسبه شده در حالی که بار محوری در تیرها صفر فرض شده است. مدل تنش-کرنش بتن و میلگرد فولادی که در تحلیل لنگر-انحنای

برای اعضا استفاده شده در شکل (۳) نشان داده شده است. برای بتن محصور شده با فولاد از مدل بتن محصور شده و غیر محصور مندر (مندر و همکاران ۱۹۸۸) [۱۶] استفاده شد. برای میلگردهای فولادی یک مدل الاستیک پلاستیک کامل با یک سخت شدگی کرنشی مطابق خواص غیر الاستیک پیشنهاد شده در ASTM A615M در نظر گرفته شده است (ASTM 2009) [۱۷].

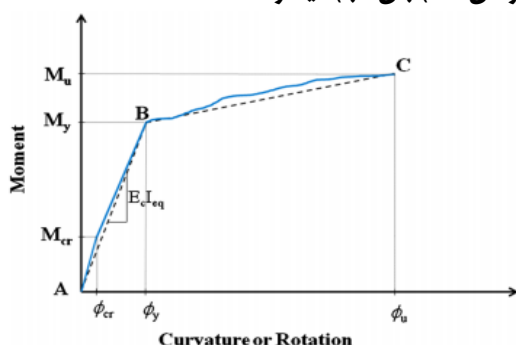


(ب) [۱۶]



الف [۱۷]

شکل ۳- رفتار تنش - کرنش الف) بتن ب) میلگرد



شکل ۴- نمودار لنگر-انحناء و منحنی ایده آل متناظر آن [۲]

در رابطه (۱) ϵ_{cu} برابر با کرنش فشاری نهایی بتن، ρ_s برابر با نرخ حجمی میلگرد های عرضی، و f_{sh} برابر با مقاومت تسلیم میگرد عرضی است. با این حال اولین معیار از شرایط گفته شده در این مطالعه مد نظر نبود.

در این مطالعه انحنای نهایی به عنوان کوچکترین مقدار متناظر شرایط زیر فرض شد:

- ۱) ۲۰ درصد کاهش در ظرفیت چرخشی عضو
- ۲) کرنش کششی نهایی در میلگرد طولی
- ۳) کرنش فشاری نهایی بتن بر پایه ی یک مقدار پیشنهاد شده بوسیله ی اسکات و همکاران (۱۹۸۲) [۱۸]

بطوری که:

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + 0.9 \rho_s \left(\frac{f_{sh}}{300} \right)$$

۳- تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور)

تحلیل غیر خطی استاتیکی جهت بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه در نرم افزار SAP 2000 انجام شده است. با توجه به آیین نامه [19] FEMA 356، نیروی جانبی به صورت مثلی در ارتفاع سازه پخش شده است. برای لحاظ کردن رفتار غیر خطی مصالح از مفاصل پلاستیک متمرکز استفاده شده است. روش استاتیکی غیر خطی توانایی قابل قبولی برای تخمین رفتار غیر خطی سازه دارد. در این روش بار جانبی تحت اثر یک الگوی خاص مرحله به مرحله افزایش می یابد و تغییر مکان جانبی یک نقطه کنترلی در تراز بام با استفاده از نمودار «برش پایه - تغییر مکان جانبی» ارزیابی می شود. همچنین اثرات $p - \Delta$ در تحلیل غیر خطی در نظر گرفته شده است.

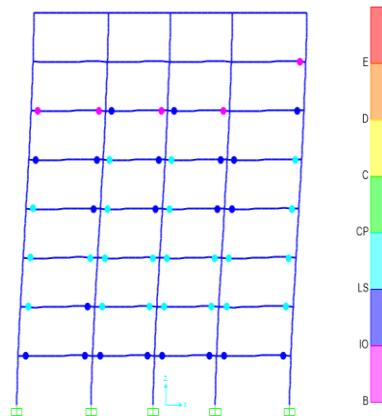
همانطور که در شکل (۷) مشاهده می شود، پس از تحلیل استاتیکی غیر خطی، مفصل های پلاستیک در هر سه ساختمان از سطح پذیرش مدنظر آیین نامه که ایمنی جانی است عبور کرده اند که قابل قبول نمی باشد. همچنین ضابطه تیرضعیف-ستون قوی رعایت نشده است. لذا برای رسیدن به سطح مد نظر آیین نامه و انتقال مفاصل پلاستیک از ستون ها به تیرها جهت رعایت ضابطه تیرضعیف-ستون قوی اجرای بهسازی ضروری به نظر می رسد.

۴- طرح بهسازی

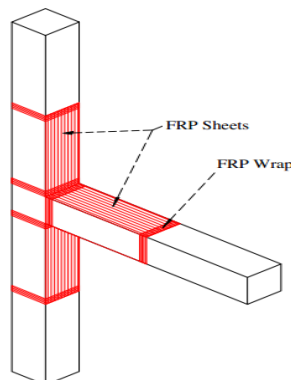
برای بهسازی سازه‌ی های طراحی شده ورقه های FRP بصورت کششی در جهت میلگردهای طولی در بالا و پایین تیر وستون ها، در نواحی مستعد تشکیل مفصل پلاستیک اعمال شده است. این استراتژی که توسط اسلامی و همکاران [۲] با هدف افزایش نیروی جانبی سازه اتخاذ شده بود، در شکل (۸) بصورت یک طرح نشان داده شده است.

عرض ورقه های FRP در اتصالات با عرض مقطع مورد استفاده برابر است. هم چنین راستای الیاف FRP هم جهت با میلگردهای طولی است. بهسازی می تواند باعث افزایش مقاومت خمشی اعضای سازه ای در مناطق انتهایی تیرها و ستون ها شود که به طول معمول مستعد تغییر شکل پلاستیک هستند. برای این منظور از ورقه های CFRP با مقاومت کششی ۳۹۰۰ مگا پاسگال، کرنش کششی نهایی ۱٫۶۳، مدول الاستیسیته ۲۴۰۰۰ مگا پاسگال و ضخامت ۰٫۱۶۵ میلی متر برای هر لایه استفاده شده است. برای بهبود مقاومت چسبندگی بین ورقه های CFRP و بتن، از ۹ لایه دورپیچ CFRP به ضخامت ۵۰ میلی متر استفاده شده است.

تعداد ورقه های CFRP اعمال شده در ناحیه مفصل پلاستیک برای هر تیر و ستون در قاب بهسازی شده جهت رسیدن به سطح پذیرش ایمنی جانی مطابق با نشریه ۲۲[۳۶] (و رعایت ضابطه ستون قوی-تیر ضعیف در جدول های (۳)، (۴) و (۵) بترتیب برای ساختمان های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه آورده شده است. تنها تفاوت بین سازه ی اصلی و بهسازی شده مشخصات مفصل های پلاستیک و مقدار سختیشان است.



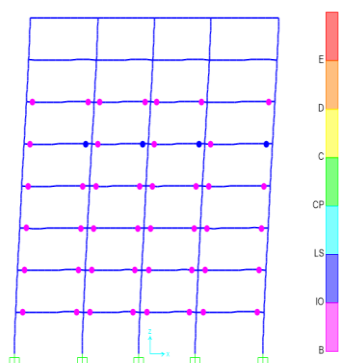
شکل ۵- ساختمان ۸ طبقه



شکل ۶- طرح بهسازی اتخاذ شده [۲]

جدول ۲- تعداد لایه های CFRP جهت طرح بهسازی مورد نظر برای ساختمان ۸ طبقه

تیر	B4	B4	B3	B2	B1
شماره طبقه	۸	۷	۶-۵	۴-۳	۲-۱
تعداد لایه ها	۴	۴	۴	۴	-
ستون	C19-C24		C13-C18	C7-C12	C1-C6
شماره طبقه	۸-۷		۶-۵	۴-۳	۲-۱
تعداد لایه ها	۶		۷	۶	۶



شکل ۷- رسیدن به سطح پذیرش ایمنی جانی و رعایت ضابطه تیرضعیف- ستون قوی بعد از بهسازی در ساختمان ۸ طبقه

همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است، مشاهده می شود که با اتخاذ تعداد لایه های CFRP مورد نظر می توان به سطح پذیرش مدنظر آیین نامه (سطح ایمنی جانی) دست یافت. به علاوه طرح بهسازی مورد استفاده منجر به حذف کامل مفصل های پلاستیک در ستون های قاب بهسازی شده تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی و رعایت ضابطه ی تیرضعیف- ستون قوی شده است.

۴- تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی

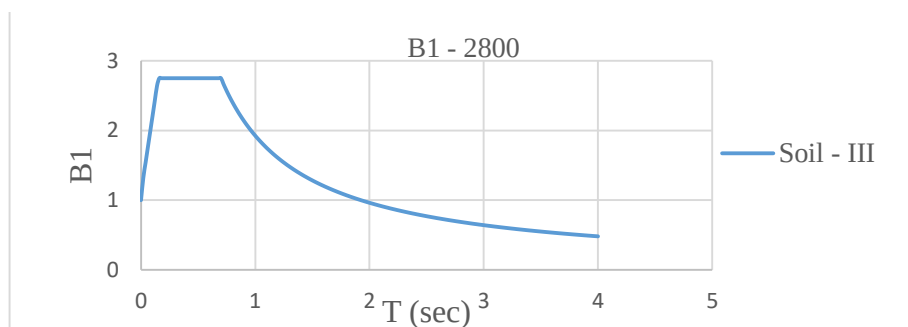
در پژوهش حاضر از زلزله های بلند مدت مطابق جدول های ۳-۱۰ استفاده شده است. زلزله های بلندمدت انتخابی دارای D5-95 کمتر از ۳۰ ثانیه می باشند. همچنین تمام زلزله های بلند مدت استفاده شده در این تحقیق دارای A_g بزرگتر از ۰٫۲ g و V_g بزرگتر از ۱۵ سانتی متر بر ثانیه هستند.

به علاوه بزرگای تمام این زلزله ها بیشتر از ۶٫۵ و R_{rup} (km) و R_{jb} (km) آن ها کمتر از ۴۰ کیلومتر انتخاب شده است. V_{s30} نیز برای این زلزله ها بین ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه مطابق خاک D انتخاب شده است.

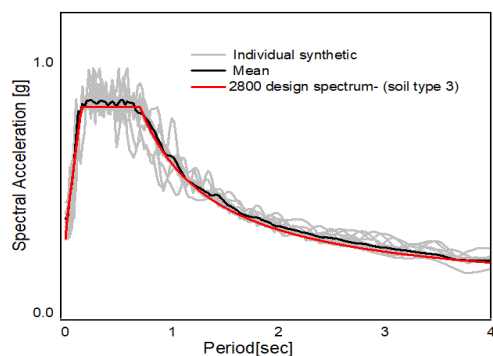
جدول ۳: مشخصات رکوردهای زلزله های بلند مدت

record	Event	Year	Station	Mag	D5-95 (sec)	PGA (g)	PGV (cm/s)	Dg (cm)
RSN169	Imperial Valley-06	1979	Delta	6.53	50.51	0.34	32.9	20.17
RSN729	Superstition Hills-02	1987	Superstition Hills-02	6.54	34.24	0.2	36.21	28.67
RSN1100	Kobe, Japan	1995	Abeno	6.9	56.38	0.23	24.7	9.8
RSN1110	Kobe, Japan	1995	Morigawachi	6.9	40.95	0.21	27	10.76
RSN1203	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY036	7.62	32.80	0.2	44.7	33.9
RSN1236	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY088	7.62	32.19	0.21	20.7	11.4
RSN4210	Niigata, Japan	2004	NIG020	6.63	68.96	0.53	30.6	10.69
RSN5619	Iwate, Japan	2008	IWT011	6.9	39.67	0.15	19.9	10.63
RSN5664	Iwate, Japan	2008	MYG005	6.9	42.56	0.44	69.6	35.6
RSN5814	Iwate, Japan	2008	Furukawa Osaki City	6.9	34.80	0.31	46.6	24.4
RSN5823	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	Chihuahua	7.2	51.20	0.24	38.3	48.2
RSN5825	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	CERRO PRIETO GEOTHERMAL	7.2	37.68	0.28	49.5	40.7
RSN5827	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	MICHOACAN DE OCAMPO	7.2	32.67	0.53	61.5	34.6
RSN5832	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	TAMAULIPAS	7.2	46.29	0.22	52.8	52.2
RSN6886	Darfield, New Zealand	2010	Canterbury Aero Club	7	35.05	0.19	47.4	46.69
RSN6952	Darfield, New Zealand	2010	Papanui High School	7	36.97	0.18	78	49.37

در ابتدا، هر یک از زلزله هارا اسکیل می کنیم. برای این کار از نرم افزار ساینس مومج استفاده می کنیم. . طیف طرحی که در این تحقیق از آن استفاده شده است، ABI طیف خاک نوع سه بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ مطابق شکل زیر است.



شکل ۸- طیف خاک ۳ مطابق آیین نامه ۲۸۰۰



شکل ۹- طیف های الاستیک پاسخ برای زلزله های بلندمدت

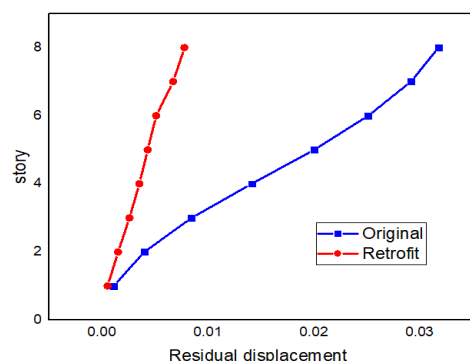
جهت ارائه نتایج قابل اعتماد برای اهداف طراحی، نرم افزار سایسمومج [20] برای تنظیم رکودهای انتخاب شده با طیف طرح پاسخ الاستیک مطابق با نوع خاک ۳ استاندارد ۲۸۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. زمین لرزه های سازگار با طیف می توانند طیف طرح پاسخ را بیان کنند و بنابراین برای اهداف طراحی عمومی مناسب هستند [21]. نرم افزار سایسمومج قادر است تا شتابنگاشت های زلزله را با یک طیف طرح هدف خاص با استفاده از الگوریتم موجک می کند که ویژگی های فرکانس بالای حرکت ورودی زمین را حفظ می کند که برای پروژه های مهندسی بسیار حائز اهمیت می باشد [22]. شکل ۹ طیف الاستیک پاسخ را برای زلزله های بلندمدت نشان می دهد.

۵- تغییر مکان ماندگار

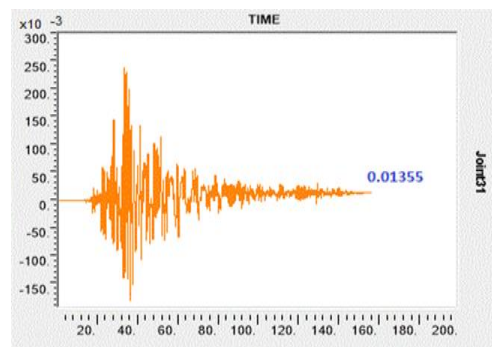
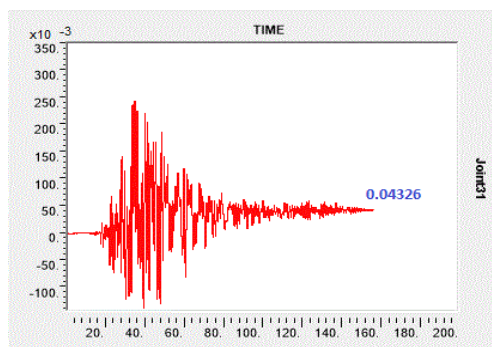
اکثر سازه هایی که بر اساس مقررات آیین نامه فعلی طراحی شده اند، تغییر مکان ماندگار را به دلیل حرکات قوی زمین حفظ می کنند. تغییر مکان ماندگار به دلیل مشکلات موجود در تعمیر و بازسازی پس از زلزله نامطلوب است. بزرگی تغییر مکان ماندگار نشان دهنده درجه آسیب سازه ها است و همچنین یک شاخص اصلی نشان دهنده ی قابلیت تعمیر سازه ها پس از زلزله است. هرچه تغییر مکان ماندگار بزرگتر باشد، تعمیر آن دشوارتر است [23]. تجزیه و تحلیل های آماری نشان داد که تغییر مکان ماندگار به طور قابل توجهی تحت تأثیر شدت حرکت زمین، وضعیت مکان، و همچنین خواص ساختاری، به ویژه رفتار هیستریتیک قرار می گیرد [24-28]. زمانی که تغییر مکان ماندگار از مقدار مجاز فراتر رود، سازه به طور مطلوب قابل تعمیر نمی باشد و فقط می توان آن را تخریب کرد [29-31]. بنابراین تغییر مکان ماندگار و پیامدهای آن نقش مهمی در عملکرد سازه ایفا می کند [۳۲].

۶- بحث و نتایج

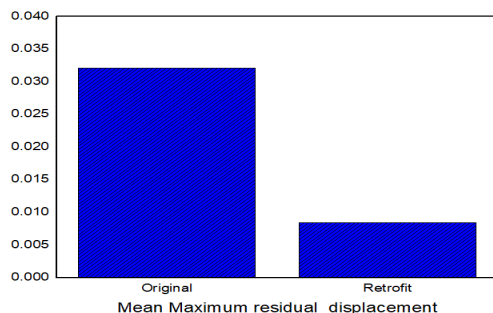
شکل ۱۰ توزیع حداکثر تغییر مکان ماندگار را برای سازه اصلی و مقاوم سازی شده تحت زلزله های بلند مدت در ارتفاع نشان می دهد. مشاهده شده است که طرح مقاوم سازی شده می تواند تغییر مکان ماندگار در سازه را بطور قابل توجهی کاهش دهد. با افزایش ارتفاع سازه، تغییر مکان ماندگار در حالت مقاوم سازی شده با شیب بیشتری کاهش می یابد، به طوری که بیشترین اختلاف در طبقه آخر رخ می دهد. تغییر مکان ماندگار رکورد ۶۹۵۲ تحت تحلیل تاریخچه زمانی برای طبقه آخر (در گره ۳۱) در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که می توان دید، مقدار تغییر مکان ماندگار از ۰،۴۳۲۶ در قاب اولیه به ۰،۱۳۵۵ در قاب بهسازی شده بهبود یافته است که با کاهشی حدود ۶۹ درصدی مواجه شده است.



شکل ۱۰: توزیع حداکثر تغییر مکان ماندگار برای سازه ی ۸ طبقه مطابق با سایسمومج



شکل ۱۱- تغییر مکان ماندگار رکورد ۶۹۵۲ تحت تحلیل تاریخچه زمانی (الف) سازه ی اصلی (ب) سازه ی بهسازی شده



شکل ۱۲: میانگین حداکثر جابه جایی ماندگار برای سازه ی ۸ طبقه

همچنین میانگین حداکثر تغییر مکان ماندگار برای سازه ی ۸ طبقه در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، کاهش میانگین حداکثر تغییر مکان ماندگار در سازه ی مقاوم سازی شده به معنای میزان آسیب کمتر است. این امر کمک شایانی به بازسازی و تعمیر سازه ها پس از زلزله می کند.

۸- نتیجه گیری

در این مطالعه یک ساختمان ۸ طبقه مطابق با ضوابط شکل پذیری متوسط آیین نامه ACI 318-14 در نظر گرفته شده است. این سازه با استفاده از تقویت کننده های CFRP در نواحی مستعد به رفتار غیر الاستیک جهت رسیدن به سطح پذیرش مدنظر آیین نامه و رعایت ضابطه ی تیرضعیف- ستون قوی بهسازی شد. عملکرد لرزه ای سازه های اولیه و بهسازی شده برای هر این ساختمان تحت زلزله های بلند مدت مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج دو سازه ی اصلی و بهسازی شده از لحاظ تغییر ماندگار مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج آماری نشان داد که طرح بهسازی شده در کاهش تغییر مکان ماندگار بسیار مفید و موثر بوده است و این کاهش قابل توجه در بحث تعمیر و بازسازی سازه ها پس از زلزله ها بسیار مهم و حائز اهمیت می باشد.

منابع

1. Van Cao, V., & Ronagh, H. R. (2014). Reducing the potential seismic damage of reinforced concrete frames using plastic hinge relocation by FRP. *Composites Part B: Engineering*, 60, 688-696.
2. Eslami, A., Ronagh, H. R., & Mostofinejad, D. (2016). Analytical Assessment of CFRP Retrofitted Reinforced -Concrete Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(6), 04016044.
3. Di Ludovico, M., Prota, A., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2008). Seismic strengthening of an under-designed RC structure with FRP. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 37(1), 141-162.
4. Garcia, R., Hajirasouliha, I., & Pilakoutas, K. (2010). Seismic behaviour of deficient RC frames strengthened with CFRP composites. *Engineering Structures*, 32(10), 3075-3085.
5. Le-Trung, K., Lee, K., Lee, J., Lee, D. H., & Woo, S. (2010). Experimental study of RC beam-column joints strengthened using CFRP composites. *Composites Part B: Engineering*, 41(1), 76-85.
6. Mortezaei, A., Ronagh, H. R., & Kheyroddin, A. (2010). Seismic evaluation of FRP strengthened RC buildings subjected to near-fault ground motions having fling step. *Composite Structures*, 92(5), 1200-1211.
7. Mahini, S. S., & Ronagh, H. R. (2007a). A new method for improving ductility in existing RC ordinary moment resisting frames using FRPs. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 8(6), 581-595.
8. Mahini, S. S., & Ronagh, H. R. (2007b). Seismic upgrading of existing RC ordinary moment resisting frames using FRPs. In *Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2007)*.
9. Mahini, S. S., & Ronagh, H. R. (2010). Strength and ductility of FRP web-bonded RC beams for the assessment of retrofitted beam-column joints. *Composite Structures*, 92(6), 1325-1332.
10. Mahini, S. S., & Ronagh, H. R. (2011). Web-bonded FRPs for relocation of plastic hinges away from the column face in exterior RC joints. *Composite Structures*, 93(10), 2460-2472.
11. Eslami, A., & Ronagh, H. R. (2013). Effect of FRP wrapping in seismic performance of RC buildings with and without special detailing—A case study. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1265-1274.
12. Ronagh, H. R., & Eslami, A. (2013). "Flexural retrofitting of RC buildings using GFRP/CFRP—A comparative study." *Compos. Part B: Eng.* 46, 188-196.
13. ACI (American Concrete Institute). (2014). "Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary (ACI 38 R -14) ." ACI Committ ee 318, Farmington Hill s, MI.

۱۴. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۵.

15. XTRACT version 3.0.8 [Computer software]. Imbseon and Associates, CA. Yang, D., Pan, J., and Li, G. (2010). "Interstory drift ratio of building structures subjected to near-fault ground motions based on generalized drift spectral analysis." *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 30(11), 1182–1197.
16. Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988). "Theoretical stress-strain model for confined concrete." *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804), 1804–1826.
17. ASTM. (2009). "Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement." ASTM A615M, West Conshohocken, PA
18. Scott, B. D., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1982). "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates." *J. Am. Concr. Inst.*, 79(2), 13–27.
19. FEMA-356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Prepared by American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Prepared for Federal Emergency Management Agency Washington, D.C., November 2000 Federal Emergency Management Agency Washington, D.C
20. SeismoMatch. A computer program for adjusting earthquake records to match a specific target response spectrum; 2014 (Available from: <http://www.seismosoft.com>)
21. Hajirasouliha I, Pilakoutas K. General seismic load distribution for optimum performance-based design of shear-buildings. *J Earthq Eng* 2012; 16(4):443–62.
22. Hancock J, Watson-Lamprey J, Abrahamson NA, Bommer JJ, Markatis A, McCoy E, et al. An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *J Earthq Eng* 2006; 10(1):67–89.
23. Xing, E., Yan, Z., Li, T., & Yang, L. (2017). Research on residual drift response of steel frames under strong earthquakes. *Journal of Vibroengineering*, 19(6), 4365–4377.
24. Mahin SA, Bertero VV. An evaluation of inelastic seismic design spectra. *J Struct Divis* 1981; 107(9):1777–95.
25. Ruiz-García J, Negretmanriquez J. Evaluation of drift demands in existing steel frames under as-recorded far-field and near-fault mainshock–aftershock seismic sequences. *Eng Struct* 2011; 33(2):621–34.
26. Christopoulos C, Pampanin S, Priestley MJN. Performance-based seismic response of frame structures including residual deformations, Part I: single degree of freedom systems. *J Earthq Eng* 2003; 7(1):97–118.
27. Uma S, Pampanin S, Christopoulos C. Development of probabilistic framework for performance-based seismic assessment of structures considering residual deformations. *J Earthq Eng* 2010; 14(7):1092–111.
28. Liossatos E, Fardis MN. Residual displacements of RC structures as SDOF systems. *Earthq Eng Struct Dynam* 2014; 44(5):713–34.
29. Kawashima K., Macrae G. A., Hoshikuma J. I., Nagaya K. Residual displacement response spectrum. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, Issue 5, 1998, p. 523–530.
30. Gong J. X., Cheng L., Zhang Q. Statistical relationship between results of static nonlinear analysis and elasto-plastic time-history and calculation of residual deformation for structures. *Journal of Building Structures*, Vol. 32, Issue 12, 2011, p. 224–233, (in Chinese).
31. Zhang Q., Zhu J. C., Gong J. X. Post-earthquake residual deformation prediction of SDOF system. *Journal of Civil, Architecture and Environmental Engineering*, Vol. 35, Issue 3, 2013, p. 32–41, (in Chinese).
32. Ruiz-Garcia J, Miranda E. Performance-based assessment of existing structures accounting for residual displacements, Technical Report No. 153. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, CA, 2005

افزایش ضریب بازیافت نفت با تزریق غیرامتزاجی گازهای CO₂ و H₂S در مخزن نفتی اهواز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

کد مقاله: ۸۱۸۴۷

فرشید جمالی نسب^۱

چکیده

هدف از انجام این پژوهش افزایش ضریب بازیافت نفت با تزریق غیرامتزاجی گازهای CO₂ و H₂S در مخزن نفتی اهواز که مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بدین منظور مطالعه‌ای در خصوص شبیه‌سازی ترکیبی با نرم افزار Eclipse300 از مجموعه ی Geoquest و با هدف انتخاب حجم بهینه‌ی اسلاگ تزریقی، طول چرخه‌ی بهینه و همچنین انتخاب ترکیب گاز تزریقی به منظور افزایش بازیافت مخزن پیشنهاد شد. جهت شبیه‌سازی رفتار سیال مخزن، معادله‌ی حالت پنگ - رابینسون سه متغیری با نتایج آزمایش‌های استاندارد تنظیم گردید. نتایج نشان داد که با تزریق H₂S به دلیل تشکیل فاز مایع غیر آبی ثانویه، مؤثرتر از تزریق گاز CO₂ بوده و نگهداشت بهتر فشار میدان، منجر به افزایش بیشتر نفت تولیدی می‌شود. استفاده از چاه‌های تزریقی افقی گاز CO₂ و H₂S موجب افزایش بازیافت میدان خواهد شد. مهمترین عامل تأثیرگذار بر بازدهی تزریق گاز در این مدل شکافدار، دبی تزریق گاز بوده و بهترین سناریوی تزریق گاز H₂S نیز حالتی است که تزریق با دبی بهینه 12500 MMscf/d صورت پذیرد. در این حالت نسبت تزریق به تولید میدان 750 MMscf/d می باشد و تزریق از یک چاه و تولید از چهار چاه اطراف آن انجام می شود هم چنین تولید از تمام ستون مخزن و تزریق گاز نیز در دو ناحیه گازی و نفتی انجام می گردد.

واژگان کلیدی: ضریب بازیافت نفت، تزریق غیرامتزاجی گاز، مخزن نفتی

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

۱- مقدمه

نفت و گازی که در درون مخازن قرار دارند تا حدی که انرژی آن‌ها اجازه‌ی بالا آمدن را به آن‌ها می‌دهد به سطح می‌آیند برای اینکه این انرژی چه در زمانی که نفت با انرژی ذاتی خود بالا می‌آید چه بعد آن، تقویت شود و نفت به راحتی به سطح زمین برسد [۱]، نیاز به استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت ثانویه و ثالثیه به منظور افزایش تولید و بازیابی است. در طول ۴۰ سال اخیر، تنوع روش‌های ازدیاد برداشت گسترش یافته و این روش‌ها به طور عمده در مخازن بلوغ یافته و همچنین مخازن تخلیه شده استفاده می‌شوند [۲]. مخازن شکافدار حدود ۶۰٪ از ذخایر باقیمانده نفت دنیا را در خود جای داده‌اند که این بیانگر اهمیت بالای اینگونه مخازن است از مخازن شکافدار شناخته شده دنیا می‌توان به مخازن نواحی خاورمیانه، دریای شمال و آمریکا اشاره کرد [۳]. در ایران نیز بخش اعظمی از ذخایر نفتی جنوب غرب کشور، در مخازن کربناته شکافدار نهفته است. از طرف دیگر یکی از روش‌های مرسوم برای حفظ فشار در مخازن شکاف دار و افزایش بازیافت نفت، تزریق گاز است [۴]. در واقع حدود نیمی از پروژه‌های تزریق گاز در جهان در مخازن شکافدار انجام می‌گردد. معمولاً در مخازن شکافدار مکانیزم عمده تولید، ریزش ثقلی است و در بیشتر موارد نقش نفوذ مولکولی ناچیز است. درشرایطی که تراوایی ماتریس کم، اندازه ماتریس بلوک‌ها کوچک و فشار موئینگی زیاد باشد، مکانیزم ریزش ثقلی عمدتاً اهمیت خود را از دست می‌دهد و تأثیر جابه جایی همرفتی نیز ناچیز خواهد بود [۵]. در این صورت مکانیزم عمده تولید نفت تحت کنترل پدیده نفوذ مولکولی است و در صورتی که مساحت موجود برای نفوذ مولکولی زیاد باشد، این مکانیزم مؤثرتر عمل خواهد کرد. در واقع، نفوذ مولکولی زمان یک تراوایی ماتریس پایین و تعداد شکاف‌ها بسیار بالا باشد. مکانیزم تولید غالب خواهد بود [۶].

۲- روش تحقیق

۲-۱- خصوصیات کلی مخزن

مخزن نفتی مورد مطالعه واقع در اهواز قرار دارد. وجود هیدروکربور در سازند آسماری این میدان به اثبات رسیده است. در این تحقیق از خواص سنگ یکی از لایه‌های این میدان استفاده می‌شود. بر اساس اطلاعات نمونه سنگ مخزن آنالیز چاه آزمایی، این مخزن شکافدار بوده و دارای سیستم شکاف قوی و ماتریس با نفوذ پذیری و تخلخل نسبتاً کم می‌باشد. تخلخل و نفوذ پذیری ماتریس به ترتیب در بازه ۸ تا ۱۳ درصد و ۰/۲۵ md تا ۳/۵ md تغییر می‌کند. تاریخچه تولید مخزن نشان می‌دهد که پس از چند سال تولید از این مخزن دبی آن کاهش زیادی داشته و این کاهش در تمامی چاه‌های مخزن محسوس بوده است، بنابراین نمی‌تواند یک مشکل ناحیه‌ای بوده یا مربوط به تخریب سازند باشد. از این رو روشن است که برای افزایش و بهینه‌سازی بازیافت نفت در این مخزن، به بررسی فرآیندهای مختلف ازدیاد برداشت نیاز است. با توجه به این که در حال حاضر در این مخزن، تزریق غیر امتزاجی گاز در حال اجرا است، بنابراین چگونگی عملکرد و میزان تأثیر این فرآیند بر بازیافت نفت، شبیه سازی و بررسی شده است.

الف- داده‌های اولیه مدل: معمولاً اولین مرحله در شبیه سازی مخازن، جمع آوری داده‌های مورد نیاز برای ساختن مدل مخزن است. شرایط اولیه مخزن مورد مطالعه به قرار ذیل است:

- دمای اولیه مخزن: ۱۸۰ درجه فارنهایت
- فشار اولیه مخزن: ۴۵۶۰ psia در عمق مینا
- ستیج مخزن: ۷۰۰۰ فوت زیر سطح دریا

ب- خواص سنگ مخزن: با توجه به داده‌های آزمایشگاهی و مطالعات انجام شده، برای هر بلوک، نفوذ پذیری عمودی مطلق نصف نفوذ پذیری افقی و تخلخل شکاف نیز ۰/۱۵ درصد تعریف گردید. در مدل مورد مطالعه، نفوذ پذیری افقی و عمودی شکاف به ترتیب معادل ۲۰۰ و ۱۰ میلی داری در نظر گرفته شد. از آن جا که برای سیستم ترک خوردگی و چگونگی توزیع آن در مخزن، اطلاعات کافی موجود نبود، بنابراین بر اساس شبیه سازی‌های گذشته، فاصله بین شکاف‌ها در جهت افقی ۲۰ فوت و در جهت عمودی ۹ فوت تعریف گردید.

ج- خواص سیال مخزن: اطلاعات مربوط به خواص سیال که مورد نیاز شبیه سازی است، بر اساس داده‌ها و آزمایش‌های PVT تهیه می‌شوند. به طور کلی در شرایط اولیه، مخزن زیر اشباع و فشار نقطه حباب نفت مخزن نیز ۳۳۵۰ psia است. در شرایط استاندارد، میانگین نسبت گاز به نفت حدود ۱۰/۴۱ Mscf / stb و چگالی ویژه نیز ۰/۷۱۷ گزارش شده است. سیال مخزن دارای ۹ جزء و C_7^+ با درصد مولی ۲۵/۷۲ و وزن مولکولی ۲۴۹ می‌باشد. معادله حالت با داده‌های آزمایشگاهی مربوط به آزمایش انبساط با ترکیب ثابت و هم چنین آزمایش انبساط مرحله‌ای مطابقت داده شد. این مهم به وسیله نرم افزار PVTi انجام گرفته و خصوصیات و رفتار سیال مخزن با معادله حالت Peng – Robinson اصلاح گردید [۷] و با دقت قابل قبولی مدل سازی شد. در نهایت رفتار سیال مخزن با مدل ترکیبی، مدل سازی شده و به مدل مخزن وارد گردید. لازم به ذکر است که در این مدل

سازی، برای به دست آوردن تطابق مناسب بین نتایج آزمایشگاهی و محاسباتی، از پارامترهایی نظیر دمای بحرانی، فشار بحرانی، ضرایب تأثیر متقابل بین اجزا و ضریب تصحیح حجم استفاده شده است.

جدول (۱): مشخصات کلی شکاف در مول مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مقدار
نفوذ پذیری افقی	md	۲۰۰
فاصله افقی بین شکاف‌ها	ft	۲۰
نفوذ پذیری عمودی	md	۱۰
فاصله عمودی بین شکاف‌ها	ft	۹
تخلخل	%	۰/۱۵

جدول (۲): مشخصات کلی مدل مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مقدار
فشار اولیه مخزن	Psi	۴۶۵۰
دمای مخزن	°F	۱۸۰
تخلخل	%	۱۱
نفوذ پذیری افقی ماتریس	md	۲
نفوذ پذیری عمودی ماتریس	md	۱
فشار در نقطه حباب	psi	۳۳۵۰
ستیف مخزن	Ft ss	۷۰۰۰
شعاع چاه	Ft	۰/۳۳

د- شرایط عملیاتی: در مدل ترکیبی مورد مطالعه، ۵ چاه تعریف شد که با توجه به سناریوی مورد نظر، می‌توان هر کدام از آن‌ها را به عنوان چاه تولیدی یا تزریقی در نظر گرفت. به این معنی که محل قرار گرفتن چاه‌ها مشخص بوده ولی نوع آن (تولیدی یا تزریقی) بسته به نوع فرآیند تغییر می‌کند. همه چاه‌ها عمودی محدودیت‌های اقتصادی تعریف شده برای همه چاه‌ها در تمام سناریوها به قرار ذیل است. در صورت رسیدن به این محدودیت‌ها، نرم افزار به صورت خودکار و به روش مقتضی، به رفع مشکل اقدام می‌نماید.

- حداقل فشار ته چاهی: ۲۰۰۰ psia
- حداکثر نسبت گاز به نفت: ۲۵۰۰ scf/stb
- حداکثر برش آبی: ۳۰ درصد
- حداقل دبی تولید هر چاه: ۱۰۰ stb/d
- فرآیند تخلیه طبیعی

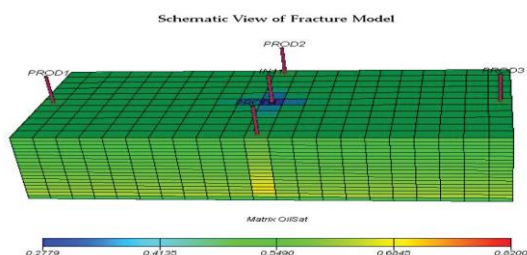
برای تخمین میزان برداشت اولیه از مخزن، محدودیت‌های ذکر شده اعمال می‌شوند. اعمال این محدودیت‌ها به منظور کنترل عوامل مختلف است. بازیافت نهایی نفت در این حالت ۲۸/۹۲ درصد می‌باشد. در این سناریو پس از مدتی، تولید اولیه نفت (۲۰۰۰ STB/D) افت شدیدی پیدا می‌کند. این افت که در تمامی چاه‌ها دیده می‌شود، نشان دهنده نیاز به بهینه سازی برداشت نفت در این مل شکاف دار است.

ه- اجرای شبیه‌سازی روی سکتور مدل با کمک نرم‌افزار Eclipse 300 : اکلیپس یا ECLIPSE، یکی از نرم‌افزارهای رشته مهندسی نفت و شبیه‌ساز مخزنی همه منظوره، کاملاً ضمنی، سه فاز، و سه بعدی است که به زبان فورترن ۷۷ نوشته شده است [۸]. شبیه‌ساز اکلیپس معمولاً به صورت یک پکیج، همراه با سایر نرم‌افزارهای مکمل آن ارائه می‌شود. شبیه‌ساز اکلیپس معمولاً در دو نسخه اکلیپس ۱۰۰ و اکلیپس ۳۰۰ ارائه می‌شود که به ترتیب برای شبیه‌سازی به روش نفت سیاه و ترکیبی قابل استفاده هستند [۹]. در شبیه‌سازهای ترکیبی، مانند اکلیپس ۳۰۰، هر یک از فازهای نفت و گاز می‌توانند ترکیب خاص خود را داشته باشند و هر جزء (متان، اتان، پروپان، و ...) به‌طور مستقل در محاسبات جریان دخالت دارد. این نوع شبیه‌سازها به ویژه برای مدل‌سازی سیالاتی در نزدیکی نقطه بحرانی مؤثر هستند؛ جایی که تغییرات فشار و دما باعث تغییرات بسیار متفاوتی در رفتار جریان می‌شود. در این گونه شبیه‌سازها فرض می‌شود که خواص سیالات در هر فشار، دما، و ترکیبی به وسیله یک معادله حالت قابل تعریف است. شبیه‌سازهای ترکیبی می‌توانند در شبیه‌سازی مخازن گاز میعانی و تزریق گاز امتزاجی با موفقیت مورد استفاده قرار گیرند.

لذا در این پژوهش از یک سکتور مدل سه بعدی به عنوان بخشی از مدل کل میدان که دارای انطباق تاریخیچه است برای انجام سناریوهای تزریقی پایلوت انتخاب شد (شکل (۱)). مدل دارای ۸۱ گرید در جهت X، ۲۱ گرید در جهت Y و ۱۰ گرید در جهت Z برای ماتریس و همین مقدار گرید بلوک برای شبکه‌ی شکاف است. طول و عرض هر گرید بلوک ۱۰۰ فوت و ارتفاع آن ۷۵ فوت است. به منظور بررسی بهتر رفتار حرکت سیال در نقاط نزدیک به چاه از LGR استفاده شد. محل چاه تزریقی در مرکزی‌ترین گرید و چاه‌های تولیدی به صورت تقریبی در وسط فاصله‌ی بین چاه تزریقی تا آخرین گرید در هر گوشه از مدل انتخاب گردیده است. مختصات محل چاه‌های میدان در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): محل قرارگیری چاه‌ها در مدل

نوع چاه	شماره‌ی گرید چاه در محور Y	شماره‌ی گرید چاه در محور X
تزریقی	۶	۴۱
تولیدی SW	۹	۲۱
تولیدی SE	۹	۶۱
تولیدی NW	۳	۲۱
تولیدی NE	۳	۶۱



شکل (۱): نمای کلی مدل مصنوعی مورد مطالعه

جدول (۴): ترکیب اولیه سیال مخزن

جزء	درصد مولی
H ₂ S	۰/۶
CO ₂	۰/۹۴
C ₁	۳۷/۳۸
C ₂	۸/۳۴
C ₃	۵/۴۸
IC ₄	۱/۹۴
NC ₄	۴/۸۹
IC ₅	۱/۴۴
NC ₅	۱/۱۲
C ₆₊	۳۷/۸۷
C ₆₊ M _W	۱۹۹
C ₆₊ SG	۰/۸۱۸۱

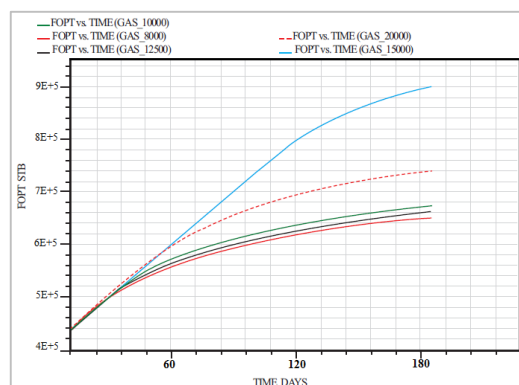
منحنی‌های تراوایی نسبی تهیه شده از مغزه‌های میدان نشان می‌دهد که سنگ مخزن نسبت به نفت تر شوندگی جزئی تا متوسط دارد. به علاوه با توجه به وجود سه نوع سنگ متمایز در مخزن، در مدل‌سازی میدان سه دسته منحنی تراوایی نسبی و فشار موینگی به کار رفته است. همچنین با توجه به نقش تعیین‌کننده‌ی پدیده‌ی Hysteresis در عملیات تزریق WAG این حالت در فرضیات شبیه‌سازی لحاظ شده است. اطلاعات مورد استفاده در سکتور مدل برداشت شده از مدل کل میدان که دارای انطباق تاریخیچه‌ی فشار، برش آب و نسبت گاز به نفت است در جدول (۴) ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

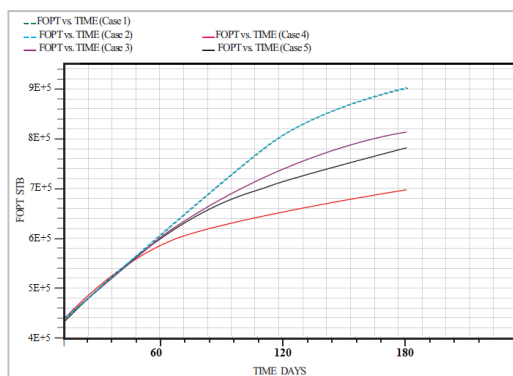
۳-۱- تزریق پیوسته‌ی گاز

– استفاده از چاه‌های عمودی

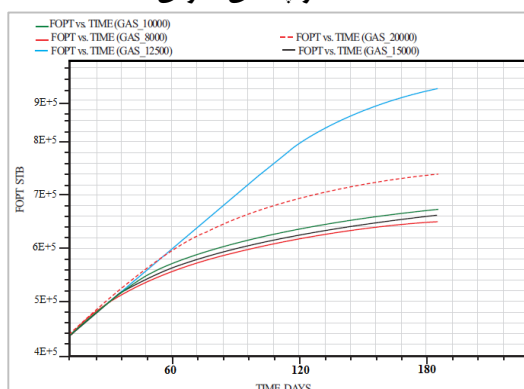
به منظور تعیین ضریب بازیافت حاصل از تزریق پیوسته‌ی گاز، گازهای CO₂ و H₂S، به مخزن تزریق شده و حجم نفت تولیدی و ضریب بازیافت هر سناریو ثبت گردید. در مرحله اول برای به دست آوردن دبی بهینه تزریق گاز، سناریوهای مختلفی با تغییر دبی ابتدایی اجرا شد و حساسیت بازدهی مخزن به افزایش یا کاهش نرخ ابتدایی دبی مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲) تولید انباشتی نفت در سناریوهای مختلف تزریق گاز CO₂ با دبی‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل (۲) مشاهده می‌شود بیشترین تولید انباشتی نفت با تزریق گاز CO₂ با دبی ۱۵ MMscf/d در زمان ۱۸۰ روز حاصل شد که ۹۰۰۰۰۰ stb/d حاصل شد. پس از اجراهای متعدد، دبی بهینه تزریق گاز CO₂ معادل ۱۵ MMscf/d به دست آمد.



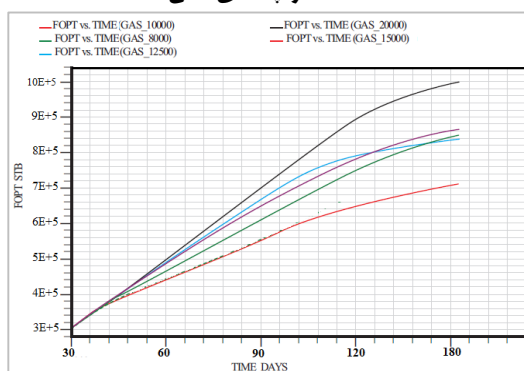
شکل (۲): تولید انباشتی نفت با تزریق گاز CO₂ با دبی‌های مختلف در چاه‌های عمودی



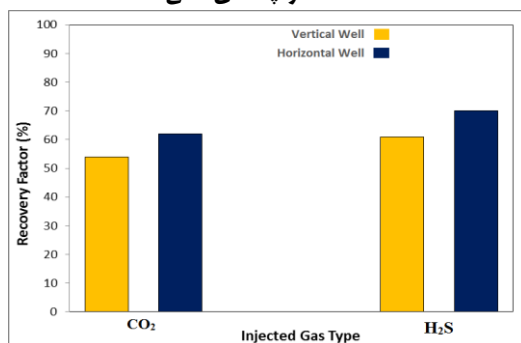
شکل (۳): تولید انباشتی نفت با تزریق گاز H_2S با دبی‌های مختلف در چاه‌های عمودی



شکل (۴): تولید انباشتی نفت با تزریق گاز CO_2 با دبی‌های مختلف در چاه‌های افقی



شکل (۵): تولید انباشتی نفت با تزریق گاز H_2S با دبی‌های مختلف در چاه‌های افقی



شکل (۶): مقایسه ضرایب بازیافت مربوط به استفاده از تزریق گازهای H_2S و CO_2 در چاه‌های افقی و عمودی

شکل (۳) تولید انباشتی نفت در سناریوهای مختلف تزریق گاز H_2S با دبی‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۳) مشاهده می‌شود بیشترین تولید انباشتی نفت با تزریق گاز H_2S با دبی 8000 MMscf/d در زمان ۱۸۰ روز حاصل شد که 920000 stb/d حاصل شد. پس از اجراهای متعدد، دبی بهینه تزریق گاز H_2S معادل 8000 MMscf/d به دست آمد.

– استفاده از چاه‌های افقی

به منظور بررسی تأثیر نوع تکمیل چاه‌های تزریقی بر نتایج مطالعه، سناریوهای بالا با فرض در نظر گرفتن چاه‌های افقی در عمیق‌ترین لایه تکرار شد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده تولید انباشتی نفت است. از دلایل این افزایش تولید انباشتی نفت، افزایش سطح تماس چاه با مخزن و در نتیجه امکان جابجایی مؤثرتر نفت توسط گاز تزریقی در حرکت به سمت بالاست. شکل (۴) تولید انباشتی نفت در سناریوهای مختلف تزریق گاز CO_2 با دبی‌های مختلف در چاه‌های افقی را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۴) مشاهده می‌شود بیشترین تولید انباشتی نفت با تزریق گاز CO_2 با دبی 20000 MMscf/d در زمان ۱۸۰ روز حاصل شد که 640000 stb/d حاصل شد. پس از اجراهای متعدد، دبی بهینه تزریق گاز CO_2 معادل 20000 MMscf/d به دست آمد.

شکل (۵) تولید انباشتی نفت در سناریوهای مختلف تزریق گاز H_2S با دبی‌های مختلف را در چاه‌های افقی نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل (۵) مشاهده می‌شود بیشترین تولید انباشتی نفت با تزریق گاز H_2S با دبی 12500 MMscf/d در زمان ۱۸۰ روز حاصل شد که 100000 stb/d حاصل شد. پس از اجراهای متعدد، دبی بهینه تزریق گاز H_2S معادل 12500 MMscf/d به دست آمد.

مقایسه ضرایب بازیافت مربوط به استفاده از تزریق گازهای CO_2 و H_2S متفاوت در تزریق پیوسته‌ی گاز در شکل (۶) آورده شده است.

۳-۲- تزریق متناوب گاز و آب

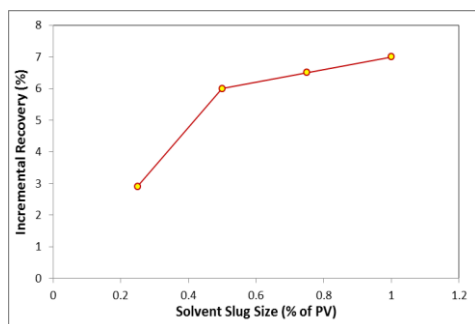
برای سناریوی تزریق مداوم گاز، تزریق متناوب گاز و آب با حجم اسلاگ 0.5 درصد از حجم فضای خالی در هر سیکل با نسبت $1:1$ شبیه‌سازی شد. نسبت تناوب بهینه در تزریق CO_2 و H_2S برای هر مخزن تابع تر شونده‌ی سنگ است که برای سنگ‌های آب دوست برابر با $1:1$ و برای سنگ‌های نفت دوست برابر با $1:0$ (تزریق پیوسته) می‌باشد. همچنین، به دلیل مشابه، افزایش نسبت WAG تأثیری منفی بر میزان بازیافت، خواهد داشت.

بررسی حجم اسلاگ گاز تزریقی

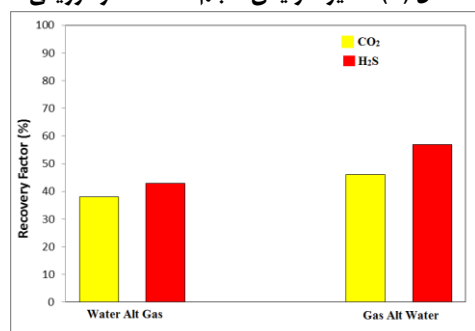
در این بخش نسبت WAG ثابت فرض شد و حجم اسلاگ‌های تزریقی تغییر یافت. نتایج تغییر حجم اسلاگ گاز تزریقی در شکل (۷) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش حجم گاز تزریقی در هر سیکل تا ۰/۵ درصد حجم فضای خالی مخزن، سبب افزایش ۶ درصدی ضریب بازیافت (نسبت به تخلیه‌ی طبیعی) می‌شود. اما افزایش یک درصدی حجم اسلاگ تزریقی، تنها منجر به افزایش یک درصدی ضریب بازیافت نسبت به حالت قبل می‌شود. از آنجا که مقدار کمتر گاز تزریقی یکی از انگیزه‌های عملیات تزریق متناوب آب-گاز است، حجم اسلاگ ۰/۵ درصد فضای خالی به عنوان حجم بهینه در هر سیکل تزریق انتخاب گردید.

انتخاب طول بهینه‌ی سیکل تزریق

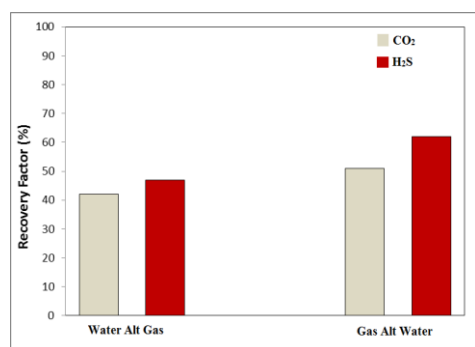
علاوه بر حجم اسلاگ تزریقی، آنالیز حساسیت طول چرخه‌های تزریق نیز انجام شد و چرخه‌هایی با طول ۲، ۴ و ۶ ماه بررسی گردید. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تزریق پیوسته‌ی گاز، CO_2 و H_2S به عنوان گاز تزریقی در نظر گرفته شد. با توجه به این که نرخ تزریق گاز ثابت فرض شده بود در سیکل‌های ۴ و ۶ ماهه به ترتیب ۰/۵ و یک درصد حجم فضای خالی به مخزن گاز تزریق می‌شد. همچنین نرخ تزریق معادل آب برای دست‌یابی به حجم تعیین شده محاسبه و اعمال گردید و به منظور مشاهده‌ی تأثیر نوع سیال تزریقی در سیکل نخست بر بازیافت و بررسی جابجایی نفت و تغییرات اشباع نفت باقیمانده، هر کدام از سناریوها در دو حالت آغاز تزریق با گاز و آغاز تزریق با آب اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد که تزریق با سیکل‌های ۶ ماهه و آغاز تزریق با فاز گاز منجر به بیشترین ضریب بازیافت می‌شود. این نتایج در شکل (۸) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با توجه به ترشوندگی جزئی سنگ مخزن نسبت به نفت، تزریق به روش WAG نسبت به تزریق پیوسته‌ی گاز منجر به ضریب بازیافت کمتری خواهد شد.



شکل (۷): تأثیر افزایش حجم اسلاگ گاز تزریقی



شکل (۸): تأثیر نوع گاز و انتخاب سیال تزریقی در سیکل ۴ ماهه بر درصد بازیافت نفت

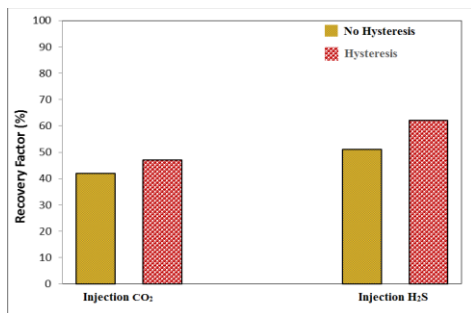


شکل (۹): تأثیر نوع گاز و انتخاب سیال تزریقی در سیکل ۶ ماهه بر درصد بازیافت نفت

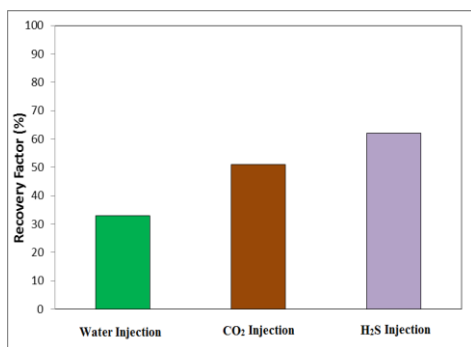
شکل (۹) تأثیر نوع گاز و انتخاب سیال تزریقی در سیکل ۶ ماهه بر درصد بازیافت نفت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تزریق با سیکل‌های ۶ ماهه و آغاز تزریق با فاز گاز منجر به بیشترین ضریب بازیافت می‌شود. همچنین با توجه به شکل آغاز تزریق با گاز H_2S منجر به بیشترین مقدار بازیافت نفت به میزان ۶۲٪ می‌گردد. آنالیز حساسیت‌سنجی روی نوع گاز تزریقی نیز انجام شد که نتیجه‌ی آن برتری گاز H_2S را نسبت به گاز CO_2 انتخابی تأیید کرد.

تأثیر Hysteresis بر ضریب بازیافت

شکل (۱۰) مقایسه‌ی تأثیر در نظر گرفتن و در نظر نگرفتن Hysteresis بر میزان ضریب بازیافت را نشان می‌دهد. در نظر گرفتن اثر Hysteresis بر تراوایی نسبی در شبیه‌سازی فرآیند WAG منجر به افزایش ضریب بازیافت خواهد شد. برای اعمال شرایط بالا و مشاهده‌ی نتایج، در سناریوی قبلی، اثرات Hysteresis از مدل حذف شد و ضریب بازیافت در دو حالت مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد طبق نتیجه‌ی مطالعه‌ی مورد اشاره، در نظر گرفتن Hysteresis منجر به افزایش ضریب بازیافت خواهد شد.



شکل (۱۰): مقایسه‌ی تأثیر در نظر گرفتن و در نظر نگرفتن Hysteresis بر میزان ضریب بازیافت



شکل (۱۱): ضریب بازیافت حاصل از تزریق آب در مقایسه با ضرایب بازیافت حاصل از تزریق گاز CO₂ و H₂S

- تزریق آب

شکل (۱۱) ضریب بازیافت حاصل از تزریق آب در مقایسه با ضرایب بازیافت حاصل از تزریق گاز CO₂ و H₂S را نشان می‌دهد. اگرچه تزریق آب در سنگ مخازن نفت دوست و شکافدار به ندرت انجام می‌شود اما در این مطالعه به منظور مقایسه و بررسی تغییرات ضریب بازیافت، یک سناریوی تزریق آب نیز طراحی و اجرا گردید. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، به دلیل عدم توانایی آب در افزایش فشار مخزن و جابجایی مؤثر نفت درون ماتریس، ضریب بازیافت این سناریو بسیار کم است. بیشترین میزان بازیافت نفت مربوط به تزریق گاز H₂S با ۶۲٪ بدست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

۱) با تزریق H₂S به دلیل تشکیل فاز مایع غیر آبی ثانویه، مؤثرتر از تزریق گاز CO₂ بوده و نگهداشت بهتر فشار میدان، منجر به افزایش بیشتر نفت تولیدی می‌شود.
 ۲) استفاده از چاه‌های تزریقی افقی گاز CO₂ و H₂S موجب افزایش بازیافت میدان خواهد شد. حضور پدیده‌ی Hysteresis در نمودارهای تراوایی نسبی تأثیر مثبتی بر افزایش ضریب بازیافت عملیات تزریق WAG دارد.
 ۳) در مقایسه‌ی تزریق به روش WAG با تزریق آب و تزریق پیوسته‌ی گاز، تزریق پیوسته‌ی گاز (تزریق گاز H₂S با ۶۲٪ بازیافت نهایی بیشتری داشت. ضمن اینکه گاز تزریقی بیشتری نیز نیاز است.

۴) مهمترین عامل تأثیرگذار بر بازدهی تزریق گاز در این مدل شکافدار، دبی تزریق گاز بوده و بهترین سناریوی تزریق گاز H₂S نیز حالتی است که تزریق با دبی بهینه ۱۲۵۰۰ MMscf/d صورت پذیرد. در این حالت نسبت تزریق به تولید میدان ۷۵۰ MMscf/d باشد و تزریق از یک چاه و تولید از چهار چاه اطراف آن انجام می‌شود هم چنین تولید از تمام ستون مخزن و تزریق گاز نیز در دو ناحیه گازی و نفتی انجام می‌گردد.

منابع

- [1] R. Nelson. (2001). Geologic analysis of naturally fractured reservoirs, Gulf Professional Publishing, pp. 44-69.
- [2] Hoteit H. and Firoozabadi A. (2009). Numerical modeling of diffusion in fractured media for gas-injection and recycling schemes," SPE Journal, Vol. 14, pp. 323-337.
- [3] Al-Mudhafar J., Watheq Rao, Dandina K. and Al-Maliki A. (2017). Gas-assisted gravity drainage GAGD process for enhanced oil recovery: a comprehensive review and field applications, SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition.
- [4] Hoteit H. (2013). Modeling diffusion and gas-oil mass transfer in fractured reservoirs," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 105, pp. 1-17.
- [5] Ertekin T., King G., and Schwere F, 1986. Dynamic gas slippage: a unique dual mechanism approach to the flow of gas in light formations, SPE paper, 43:20-45.
- [6] Al-Mudhafar J., Watheq Rao, Dandina K. and Al-Maliki A. (2017). Gas-assisted gravity drainage GAGD process for enhanced oil recovery: a comprehensive review and field applications, SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition.
- [7] Ayala, L. F, 2005. Compositional modeling of naturally fractured reservoirs in multi-mechanistic flow domains, PhD dissertation, Penn. State.U., University Park, Pennsylvania.
- [8] Darken L.S. 1948. Diffusion, mobility and their interaction through free energy binary metallic systems.
- [9] Ertekin T., King G., and Schwere F, 1986. Dynamic gas slippage: a unique dual mechanism approach to the flow of gas in light formations, SPE paper, 43:20-45.

مروری بر کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲

کد مقاله: ۱۶۶۱۰

سحر لبافان^۱

چکیده

امروزه به دلیل افزایش اهمیت مصرف انرژی، روش‌های بسیاری با هدف پیش‌بینی دقیق میزان مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها استفاده از هوش مصنوعی است. برای انجام این کار از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌شود که می‌توانند نتیجه دقیق‌تری نسبت به سایر ابزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان ارائه دهند. این مقاله، با هدف شناسایی دقیق‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها، تعدادی از تحقیقات مرتبط با این موضوع که در سال‌های اخیر انجام شده‌اند را بررسی می‌کند. الگوریتم‌هایی که دارای کمترین میزان خطا، بیشترین سرعت و دقت محاسبات هستند. پس از استفاده از الگوریتم‌های مختلف، نقاط قوت و ضعف هر یک مشخص می‌شود. در این تحقیق، از چارچوب لایه‌ای برای انتخاب مقالات استفاده شده است. در لایه اول، سال انتشار مقاله مورد توجه بوده؛ دوم، دارای کلمات کلیدی مرتبط و مطابق با دستاوردهای تحقیق بوده‌اند و سوم، مطابقت با موضوع مقاله بررسی شده است. هدف این مقاله شناخت بهتر ویژگی‌های الگوریتم‌های مختلف با توجه به نوع استفاده از آنها است؛ علاوه بر این، بهترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین در سال‌های اخیر معرفی می‌شوند. الگوریتم‌های پرکاربرد برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان‌ها به ترتیب شبکه عصبی مصنوعی^۲، ماشین بردار پشتیبان^۳، جنگل تصادفی^۴، الگوریتم ژنتیک^۵ و رگرسیون خطی^۶ بوده است.

واژگان کلیدی: الگوریتم‌های یادگیری ماشین، پیش‌بینی انرژی، عملکرد انرژی، بازده انرژی ساختمان، دقت نتایج

۱- کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشگاه معماری و هنر پارس، تهران، ایران sahar.labafan@pu.ac.ir

2 . Artificial Neural Network (ANN)

3 . Support Vector Machine (SVM)

4 . Random Forest (RF)

5 . Genetic Algorithm (GA)

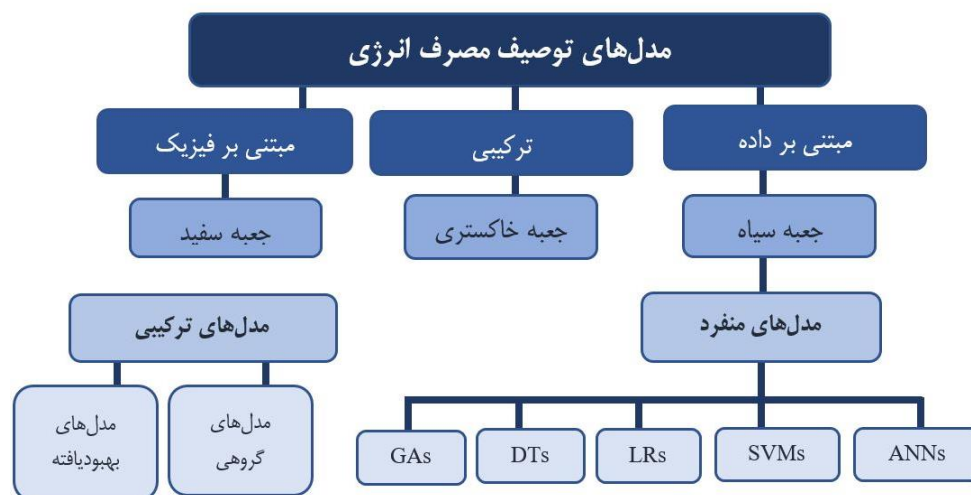
6 . Linear Regression (LR)

۱- مقدمه

سهم جهانی ساختمان‌ها در مصرف انرژی دائماً در حال افزایش است و اکنون بین ۲۰ تا ۴۰٪ می‌باشد و تقریباً ۳/۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به آنهاست. پیش‌بینی و طبقه‌بندی مصرف انرژی ساختمان‌ها با هدف بهبود عملکرد آنها، کاهش اثرات زیست محیطی و برآورد پتانسیل اقتصادی به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ایجاد برنامه‌های مرتبط با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. (Wei et al. 2018) رویکردهای متداول در شبیه سازی انرژی ساختمان به شرح زیر دسته بندی می شود:

۱. رویکردهای مبتنی بر جعبه سفید، ۲. رویکردهای مبتنی بر جعبه خاکستری، ۳. رویکردهای مبتنی بر جعبه سیاه.^۱ رویکردهای مبتنی بر جعبه سفید مرتبط با فیزیک ساختمان هستند و به اطلاعات دقیق در مورد بدنه ساختمان نیاز دارند. بنابراین در بسیاری از موارد که پیش بینی مصرف انرژی دارای محاسبات پیچیده است، از این روش استفاده می‌شود. با توجه به این موضوع، این روش اخیراً ساده سازی شده و این ساده سازی منجر به وقوع اشتباهاتی در نتایج شده است؛ در این روش معمولاً میزان صرفه جویی در مصرف انرژی بیش از حد واقعی ارزیابی می‌شود. (Barnaby and Spitler 2005) (Cavalheiro and Carreira 2016)

رویکردهای مبتنی بر جعبه خاکستری، رویکرد جعبه سفید اصلاح شده است؛ به این معنی که از روش‌های آماری برای ترکیب اطلاعات تاریخی و فیزیکی ساختمان در شبیه سازی مصرف انرژی استفاده می‌کند. با توجه به اینکه ورودی‌ها در این روش مشخص نیستند، یکی از مشکلات نسخه فعلی جعبه خاکستری ناکارآمدی محاسباتی است. برای جبران کاستی‌های رویکرد جعبه سفید و خاکستری، رویکردهای مبتنی بر جعبه سیاه توسعه یافته‌اند که فقط با استفاده از داده‌های تاریخی می‌توانند مصرف انرژی ساختمان را تجزیه و تحلیل کنند و در این روش نیازی به اطلاعات فیزیکی ساختمان نیست. این تغییر اساسی باعث شده است که رویکرد مبتنی بر جعبه سیاه با محاسبات سریع و دقیق بهتر از جعبه سفید و خاکستری عمل کند. (Zhao and Magoulès 2012)



دیاگرام ۱) تکنیک‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان (Bourdeau et al. 2019)

دیاگرام ۱ طبقه بندی الگوریتم‌ها را بر اساس داده‌های ورودی نشان می‌دهد. در این مقاله، روش‌های منفرد مورد بحث قرار گرفته و روش‌های ترکیبی در محدوده این پژوهش نیستند. با توجه به الگوریتم آماری و استفاده زیاد از داده‌ها، رویکردهای مبتنی بر جعبه سیاه به عنوان رویکردهای داده محور نیز شناخته می‌شوند. (Wei et al. 2018)

۲- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا در مورد تکنیک‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین «بدون نظارت» و «تحت نظارت» مختصراً توضیح داده شده است. سپس انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت معرفی می‌شوند. برای این کار، تعدادی از مقالات مرتبط با

1. White box based approaches, 2. Grey box-based approaches, 3. Black box based approaches

موضوع «پیش بینی و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان» انتخاب شده که در آن‌ها از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای پیش‌بینی یا بهینه سازی مصرف انرژی استفاده شده است.

در این تحقیق، از چارچوب لایه‌ای برای انتخاب مقالات استفاده شده است. در لایه اول، مقالاتی که در سالهای اخیر منتشر شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ در لایه دوم، مقالات انتخابی دارای کلمات کلیدی مرتبط مورد نظر بوده و مطابق با دستاوردهای تحقیق بوده‌اند؛ در لایه سوم، مطابقت موضوع مقاله اهمیت داشته و در آن‌ها از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی یا بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان استفاده شده است. کاربرد، نقاط قوت و ضعف تکنیک‌های یادگیری ماشین که در مقالات منتخب ذکر شده است، در این مطالعه بررسی می‌شوند. هدف از این مطالعه شناخت بهتر تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی یا بهینه سازی انرژی در ساختمان‌ها در مطالعات آینده است.

۲-۱- تکنیک‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین بدون نظارت

در یادگیری بدون نظارت، فقط داده‌های ورودی (X) وجود دارند و متغیر خروجی مربوطه وجود ندارد. هدف از یادگیری بدون نظارت، مدلسازی ساختار داده‌ها برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد آنها است. دلیل نامگذاری "یادگیری بدون نظارت" این است که برخلاف یادگیری تحت نظارت، هیچ پاسخ یا مشاهده‌گر صحیحی وجود ندارد. یادگیری بدون نظارت به طرح الگوریتم‌هایی برای ارائه ساختار داده متکی است. مشکلات یادگیری ماشین بدون نظارت بیشتر مربوط به خوشه‌بندی و مسائل مربوط به آن است. (ترابی ۱۳۹۹)

خوشه‌بندی^۱: خوشه‌بندی هنگامی استفاده می‌شود که هدف کشف ماهیت داده‌ها باشد، مثلاً وقتی مشتری‌ها بر اساس نوع خریدشان دسته‌بندی می‌شوند.

ارتباط^۲: یکی از موضوعات مهم هنگام تجزیه و تحلیل داده‌ها، کشف قوانینی است که بخش بزرگی از داده‌های ما را توصیف می‌کند. مانند این مثال؛ افرادی که مایل به خرید A هستند، مایل به خرید B نیز هستند. (ترابی ۱۳۹۹)

پر کاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین بدون نظارت عبارتند از:

- K-means برای مشکلات خوشه بندی
- الگوریتم Apriori برای مشکلات یادگیری قاعده ارتباط.

۲-۲- تکنیک‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت

غالباً در آموزش‌های عملی ماشینی از یادگیری نظارت شده استفاده می‌شود. در یادگیری تحت نظارت، چندین متغیر ورودی (X) و یک متغیر خروجی (Y) وجود دارد و می‌توان از الگوریتمی برای یادگیری عملکرد نگاشت از ورودی به خروجی $Y = f(X)$ استفاده کرد. هدف از بکارگیری الگوریتم، تخمین دقیق عملکرد نقشه برداری است؛ تا زمانی که ورودی جدیدی به آن داده شود، می‌تواند متغیرهای خروجی را به درستی پیش‌بینی کند. دلیل نامگذاری "یادگیری تحت نظارت" این است که فرایند یادگیری الگوریتم با استفاده از داده‌های آموزشی می‌تواند مانند یک معلم ناظر بر روند یادگیری باشد. به گونه‌ای که الگوریتم داده‌های آموزشی را به طور مکرر پیش‌بینی می‌کند و آموزش می‌دهد؛ سپس توسط معلم اصلاح می‌شود. به این ترتیب از ابتدا، ما جواب صحیح آزمون را می‌دانیم. وقتی عملکرد الگوریتم به سطح قابل قبولی رسید، یادگیری متوقف می‌شود. رگرسیون و طبقه‌بندی دو مشکل یادگیری تحت نظارت هستند:

- طبقه بندی: هنگامی که متغیر خروجی یک دسته باشد. مثل قرمز و آبی، یا بیماری و عدم بیماری.
 - رگرسیون: هنگامی که متغیر خروجی یک مقدار واقعی مانند دلار یا وزن است.
- برخی از مشکلات متداول ایجاد شده در طبقه‌بندی و رگرسیون^۳ به ترتیب شامل نظریه و پیش بینی سری زمانی^۴ هستند (Jason Brownlee 2016)
- الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت، پیش‌بینی خروجی را از داده‌های ورودی یاد می‌گیرند و همه ورودی‌ها دارای برچسب هستند. (Jason Brownlee 2016)

از جمله محبوب‌ترین مدل‌های پیش‌بینی داده محور یا الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، رگرسیون آماری، درخت تصمیم (DT) و الگوریتم ژنتیک (GA) هستند. در این بخش هر یک از این مدل‌ها به طور خلاصه معرفی می‌شوند.

1 . Clustering
2 . Association
3 . Classification and Regression
4 . Recommendation and time series prediction

۳-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

در طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی از ساختار مغز انسان الهام گرفته شده است و واحد پردازش مدل سازی و عنصر اصلی آن یک نورون بیولوژیکی است. به طور کلی یک شبکه، از واحدهای فرایندی بسیاری تشکیل شده است که به صورت لایه لایه هستند و در لایه‌های مختلف، واحدهای پردازشی به یکدیگر متصل می‌شوند. (Wei et al. 2018) این شبکه از سه لایه از نورون‌های بهم پیوسته تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. کار و توانایی اصلی شبکه عصبی مصنوعی ایجاد ارتباط بین لایه‌های مختلف سلول‌های عصبی تعریف شده است. وزن این اتصال از فرایند یادگیری گرفته شده و تابع فعال‌سازی وزن ورودی نورون‌ها را به خروجی فعال سازی تبدیل می‌کند. (AlTabbaa and Ankrah 2016)

۴-۲- ماشین بردار پشتیبان

این روش با تعداد n داده سروکار دارد و به طور گسترده‌ای برای حل مشکلات رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد تا رابطه بین ورودی‌های غیر خطی با یک هدف مشترک با مقداری واقعی تخمین زده شود. هنگامی که ماشین بردار پشتیبان به عنوان رگرسیون مورد استفاده می‌گیرد، با عنوان «رگرسیون بردار پشتیبانی» شناخته می‌شود. ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر داده به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان تبدیل شده است. (Wei et al. 2018) ماشین بردار پشتیبان به گونه‌ای انعطاف‌پذیر پیچیدگی مدل و الگوی پراکنده راه حل‌ها را کنترل می‌کند. انگیزه اصلی این الگوریتم جستجوی بهینه‌ترین مرزهای تعمیم در راستای هدف رگرسیون است. (Drucker et al. 1996)

۵-۲- رگرسیون خطی

این روش شناخته شده و معمول بیشتر برای مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود. رگرسیون خطی به راحتی قابل استفاده است و پارامترهای مدل را به راحتی درک می‌کند. رگرسیون یک معادله ایجاد شده از داده‌های ورودی را برای پیش‌بینی خروجی به عنوان یک تابع خطی ایجاد می‌کند. پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان برای ایجاد رابطه و پیوند خروجی با آن به تحلیل رگرسیون متکی است. از رگرسیون آماری برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان استفاده می‌شود. (AlTabbaa and Ankrah 2016)

"رگرسیون خطی" یک الگوریتم معمول و بصری برای یک مدل پیش‌بینی کلی است. هدف رگرسیون خطی ساده تبیین رابطه بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل با استفاده از ترکیبات خطی مورد بعدی است. تابع هدف برای ساخت یک مدل رگرسیون خطی ساده، به حداقل رساندن مجموع حداقل خطاهای مربع است. (Deng, Fannon, and Eckelman 2018)

۶-۲- درخت تصمیم‌گیری

درخت تصمیم‌گیری روشی برای دسته‌بندی داده‌ها به شکل یک نمودار درختی است. یک مدل درخت تصمیم‌گیری از یک گره ریشه و چندین گره شاخه تشکیل شده است؛ نقطه شروع نمودار از گره ریشه است. گره ریشه از داده‌های ورودی شروع می‌شود و این داده‌ها با توجه به برخی متغیرهای پیش‌بینی که قبلاً به عنوان «معیار تقسیم بندی» تعریف شده‌اند، به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. داده‌های تقسیم شده شاخه‌های ریشه هستند و هر گره زیر مجموعه دیگری دارد. گره‌های فرعی یا به شاخه‌های بیشتری تقسیم می‌شوند یا بدون گره‌های فرعی باقی می‌مانند. آخرین شاخه هیچ زیر شاخه‌ای ندارد. (Wei et al. 2018)

۷-۲- جنگل تصادفی

به عنوان یک پیشرفت در روش معمول طبقه بندی و رگرسیون^۲، جنگل تصادفی یک روش مجموعه درختی است که تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری را به طور موازی رشد می‌دهد تا همزمان واریانس و تمایلات به یک سمت را در مدل کاهش دهد. (Breiman 2001)

۸-۲- الگوریتم‌های ژنتیک

1 . Support Vector Regression (SVR)
2 . Classification and Regression Tree (CART)

یک روش بهینه سازی تصادفی است که با الهام از تکامل طبیعی و مبتنی بر ایده "بقا از بهترین" ساخته شده است. در الگوریتم ژنتیک، یک فضای جستجو توسط مجموعه‌های مختلف وزن ایجاد می‌شود که یک نقطه از آن نشان دهنده یک راه حل عملی برای مسئله مورد بررسی است. وظیفه اصلی الگوریتم ژنتیک مدل سازی یک فرایند تکاملی برای معرفی بهترین راه حل‌های عملی در این فضا است. (Lucasius and Kateman 1993)

۳- بررسی مقالات پژوهشی

تعدادی از مقالات منتشر شده در سال‌های اخیر که از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای پیش بینی یا بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان استفاده کرده‌اند، در این مطالعه بررسی شده‌اند. همانطور که قبلاً ذکر شد، از چارچوب لایه‌ای برای انتخاب این مقالات استفاده شده است. مقالات منتخب با اهداف و رویکردهای مختلف در کشورهای مختلف انجام شده‌اند؛ همچنین در هر یک از آنها از روشی خاص و منحصر به فرد برای انجام کار استفاده شده است. تنها وجه مشترک آنها استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای اهداف معماری و انرژی است. در ادامه، نقاط قوت و ضعف ذکر شده در هر مقاله و مربوط به هر الگوریتم را با اهداف خاص آن تحلیل خواهیم کرد. در مقالات منتخب، الگوریتم‌های یادگیری ماشین مطابق با اهداف پژوهشگران به چالش کشیده شده‌اند و نقاط قوت و ضعف آنها در نتایج این تحقیقات آورده شده است.

۴- پیش بینی، بهینه سازی، پیشنهاد روش و ارزیابی

مطابق جدول ۱، که در آن فقط مقالاتی بررسی شده‌اند که هدف اصلی آنها "پیش بینی" (برق، گاز، گرمایش، سرمایش و غیره) بوده است؛ نتیجه گیری می‌شود که در حدود ۵۰٪ از تحقیقات برای دستیابی به هدف خود از ترکیب الگوریتم‌ها (دو الگوریتم یا بیشتر) استفاده کرده‌اند و ۵۰٪ دیگر فقط از یک الگوریتم استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، در بیشتر تحقیقات از الگوریتم ANN استفاده شده است و مسئله اصلی ذکر شده در آنها، بهبود عملکرد این الگوریتم به روش‌های مختلف بوده است. در مقالات بررسی شده در جدول ۱، عمدتاً اهداف به ترتیب مربوط به پیش بینی مصرف انرژی و سپس مصرف برق می‌باشد. این اهداف، اهمیت این مسئله را در سطح جهانی نشان می‌دهد. با توجه به این نکته که بیش از ۴۰٪ انرژی مصرفی جهان به ساختمانها تعلق دارد. (SVM (Hwang, Suh, and Otto 2020) دارای تعدادی پارامتر است که با افزایش خطی تعداد متغیرهای ورودی به صورت خطی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، ANN این ویژگی را ندارد. یک شبکه عصبی قادر است تعداد لایه‌های مورد نظر شما را داشته باشد. ("SVM Vs Neural Network | Baeldung on Computer Science" n.d.)

طبق جدول ۲، که در آن فقط مقالاتی بررسی شده‌اند که هدف اصلی آنها "بهینه سازی" (مصرف انرژی) بوده است؛ نتیجه گیری می‌شود که باز هم ANN، در مواردی که تحقیقات با اهداف مختلف مرتبط با تعیین عملکرد بهینه سازی با روش‌های متعدد انجام شده‌اند، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است؛ حتی اگر بتوان تکنیک‌های دیگری را برای حل مشکلات بهینه سازی بکار برد. (Villarrubia et al. 2018)

مطابق جدول ۳، که در آن فقط مقالاتی بررسی شده‌اند که هدف اصلی آنها "پیشنهاد روش" بوده است؛ نتیجه‌گیری می‌شود که روش‌های پیشنهادی جدید بیشتر در رابطه با بهینه سازی و پیش بینی مصرف انرژی هستند. ابتدا از الگوریتم پایه استفاده شده و سپس تغییرات و روش‌های جدیدی بر روی آن اعمال شده است. در نهایت، روش جدید با الگوریتم پایه مقایسه می‌شود. علاوه بر این، بیشتر الگوریتم‌های مدرن یادگیری ماشین دارای پارامترهایی هستند که میبایست قبل از استفاده و اجرا اصلاح شوند. به چنین پارامترهایی «ابر پارامتر» گفته می‌شود. در بسیاری از موارد، عملکرد یک الگوریتم در یک کار خاص به تنظیمات ابر پارامتر آن بستگی دارد. با هدف دستیابی به بهترین عملکرد، متخصصان یادگیری ماشین می‌توانند ابر پارامترها را تنظیم کنند. (Weerts, Müller, and Vanschoren 2020)

جدول ۴ مقالاتی را با موضوع "ارزیابی" ارائه می‌دهد و بیشتر به مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف برای دستیابی به یک هدف واحد می‌پردازد.

جدول ۱. تجزیه و تحلیل کاربرد الگوریتم‌ها به منظور "پیش‌بینی"، در مقالات منتخب

شماره	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه‌حل‌ها)	نقاط قوت
۱	(Bui et al. 2020)	الگوریتم کرم شب تاب مبتنی بر الکترومغناطیس با شبکه عصبی مصنوعی (EFA-ANN)	پیش‌بینی بار سرمایشی و گرمایشی	الگوریتم EFA-ANN (ساخته شده است)؛ EFA با ANN ترکیب شده تا با بهینه سازی مجموعه پارامترهای اولیه، عملکرد خود را بهبود بخشد.	با استفاده از الگوریتم-EFA (ANN)، نتایج پیش‌بینی مصرف سرمایش و گرمایش به طور دقیق و سریع انجام شد. محاسبات نیز سریع انجام شد.
۲	(Walker et al. 2020)	Boosted-tree – RF – SVM-linear – Quadratic – Cubic – Fine-Gaussian – ANN –	پیش‌بینی مصرف برق در ساختمان‌های منفرد و غیر منفرد با استفاده از تعدادی الگوریتم یادگیری ماشین برای ۴۷ ساختمان اداری با استفاده از داده‌های آنها	الگوریتم ANN در مقایسه با الگوریتم‌های درخت رگرسیون، نتایج دقیقی در مدل آموزشی ارائه نداده است.	سه الگوریتم boosted-tree، RF و شبکه ANN از نظر زمان محاسبه و دقت خطا عملکرد خوبی داشته‌اند. در میان الگوریتم‌های رگرسیون در نظر گرفته شده، RF بهترین نتیجه را ارائه داده‌اند.
۳	(Luo, Oyedele, Ajayi, Akinade, Delgado, et al. 2020)	genetic algorithm-determined deep feedforward neural network architecture (GA-DFNN)	پیش‌بینی مصرف برق به دو صورت ساعتی در روزهای آینده و روزانه در هفته‌های آینده برای ساختمان یک دانشگاه در انگلستان	نتایج الگوریتم ساخته شده (شبکه) نشان می‌دهد که، وقتی تعداد لایه‌های پنهان بسیار کم باشد، خطاهای زیادی وجود دارد.	مدلی که برای پیش‌بینی ساخته شده است، عملکرد بهتری نسبت به تمام الگوریتم‌های مرجع دارد.
۴	(Chai et al. 2020)	از الگوریتم‌های ANN برای پیش‌بینی TCV و TSV در ساختمانهای مسکونی که دارای تهویه طبیعی هستند استفاده شده است.	ارزیابی راحتی حرارتی (در فضای داخلی)	مدل مناسب باید بر اساس داده‌های محلی ایجاد می‌شد. دامنه دما در ساختمانهای دارای تهویه طبیعی بسیار گسترده‌تر از منطقه آسایش سازگار ASHRAE بوده است.	در مقایسه با مدل‌های تعادل حرارتی سنتی، شبکه عصبی دارای عملکرد بهتری بوده است.
۵	(Luo, Oyedele, Ajayi, Akinade, Owolabi, et al. 2020)	DNN هر کدام دارای یک مشخصه آب و هوایی، همراه با مصرف انرژی در ساختمان و زمان مربوطه، برای آموزش یک زیر مدل DNN	ارائه یک رویکرد مبتنی بر هوش مصنوعی یکپارچه که دارای ویژگی‌هایی مانند بهینه سازی تکاملی و مدل DNN تطبیقی برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساعتی در هفته‌های آینده باشد.	مدل پیشنهادی GA-DNN می‌تواند در آینده اصلاح شود. همچنین می‌توان برای حل مشکل احتمالی ناشی از وجود داده‌های ناقص اندازه‌گیری به دلیل خطاهای سنسور و تجهیزات، اصلاحات بیشتری انجام داد.	مدل DNN تطبیقی ابداع شده می‌تواند مصرف ساعتی دقیق را در هفته‌های آتی و برای سیستم مدیریت انرژی ساختمان پیش‌بینی کند.
۶	(Chakraborty, Elzarka, and Bhatnagar 2016)	SVM	با استفاده از یک مجموعه داده معتبر حاوی داده‌های تاریخی تابش خورشیدی، یک روش مدل ترکیبی بر اساس SVR و برآورد احتمال برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی ارائه شده است.	– بسیاری از پارامترها برای جلوگیری از مشکل کم‌برازش و بیش‌برازش ۱ انتخاب شده اند. – روش پیشنهادی تنها با پیش‌بینی داده‌های تابش خورشید معتبر است.	مزیت عمده SVR نسبت به سایر روشهای رگرسیون این است که از نظر نظری بسیار قوی است و توسط نظریه یادگیری آماری ایجاد می‌شود، دقت بلندمدت روش مدل سازی پیشنهادی معتبرتر از روش فعلی است.
۷	(Kallio et al. 2021)	-Ridge regression -Decision Tree -Random Forest -Multilayer Perceptron	پیش‌بینی غلظت آینده CO2 در فضاهای داخلی	استفاده از یک مدل داده پیچیده تر، مانند RF یا MLP، ارزش افزوده قابل توجهی در این مطالعه ندارد	DT می‌تواند تقریباً به اندازه محاسبات سنگین تر مدل جنگل تصادفی دقیق باشد.
۸	(Deng, Fannon, and Eckelman 2018)	- LR - Lasso Regression - SVM - RF - Gradient	برآورد EUI برای ساختمانهای اداری تجاری در ایالات متحده و مصرف نهایی انرژی فردی براساس	هیچ یک از متغیرها برای پیش‌بینی‌های انرژی زیر سیستم کل و HVAC پررنگ نیستند زیرا همه آنها با استفاده از RF به طور	برای پیش‌بینی EUI کل، RF و SVM در میان همه بخشهای مجموعه داده و دیگر الگوریتم‌ها دارای عملکرد برتر بوده‌اند.

ردیف	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه حل‌ها)	نقاط قوت
		Boosting - ANN	جدیدترین داده‌های CBECS 2012.	میانگین کمتر از ۲۰ درصد کاهش دقت دارند.	
۹	(Seyedzadeh et al. 2018)	ANN SVM Gaussian-based regressions Clustering همه مدل‌ها با تهیه تعداد زیادی نمونه و بهینه سازی پارامترها، دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهند.	پیش بینی مصرف انرژی و عملکرد ساختمان	هیچ تضمینی برای عملکرد مدل‌ها وجود ندارد. نتایج نشان می‌دهد که شبکه ANN باید با تعداد کافی نمونه تغذیه شود تا دقت قابل قبولی را ارائه دهد. در غیر این صورت ممکن است با یک مدل ساده MLR عملکرد بهتری بدست آید.	SVM و GP با تعداد کمی پارامتر نظارت می‌شوند و عملکرد مطلوبی را نیز ارائه می‌دهند. SVM در پیش بینی بار از ANN پیشی می‌گیرد و قابلیت ساخت مدل از نمونه‌های محدود را دارد. ANN بار کوتاه مدت را سریع و دقیق پیش بینی می‌کند. در صورتیکه در متغیرهای ورودی عدم قطعیت وجود داشته باشد، GP برای برآورد انرژی درازمدت مناسب‌تر است.
۱۰	(Kim, Kim, and Srebric 2020)	الگوریتم Levenberg و LR Marquardt Back Propagation (LM-BP) ارزیابی چگونگی تاثیرگذاری نرخ اشغال فضا و شرایط محیطی محلی بر مصرف برق	پیش بینی مصرف برق یک ساختمان؛ مقایسه رویکردهای پیش بینی انرژی الکتریکی ساختمان با روش آماری رایج: الگوریتم‌های LR و ANN	الگوریتم ANN پیشنهادی را می‌توان با پارامترهای اضافی به منظور بهبود دقت پیش بینی‌ها در آینده به روز کرد.	در مقایسه با مدل رگرسیون خطی برای پیش بینی مصرف برق یک ساختمان، از روش ANN پیشنهادی می‌توان به عنوان یک روش قابل اعتماد استفاده کرد.
۱۱	(Li et al. 2018)	ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) با الگوریتم بهبود یافته بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO)	پیش بینی مصرف انرژی الکتریکی ساعتی از دو ساختمان آموزشی واقع در ایالات متحده آمریکا و چین	برای بهبود دقت مدل ANN در پیش بینی کوتاه مدت انرژی ساختمان، از روش ترکیبی جدیدی به نام TLBO-ANN برای بهینه سازی پارامترهای ANN در محدوده جهانی استفاده شده است.	مدل‌های پیشنهادی، پتانسیل بالایی برای پیش بینی انرژی مصرفی در ساختمان به صورت آنلاین دارند.

جدول ۲. تجزیه و تحلیل کاربرد الگوریتم‌ها به منظور "بهینه سازی"، در مقالات انتخاب شده

ردیف	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه حل‌ها)	نقاط قوت
۱	(Nasruddin et al. 2019)	ترکیبی از (ANN) و الگوریتم ژنتیک چند هدفه (MOGA)	به حداقل رساندن مصرف انرژی سالانه و به حداکثر رساندن آسایش حرارتی در یک دانشگاه با توجه به مقدار PPD	روند آموزش با بهینه سازی وزن و ضرایب بایاس ۱ برای به حداقل رساندن خطای موجود بین هدف و بازده ANN انجام شده است.	ANN طراحی شده، در مرحله آموزش پیش بینی دقیقی را نشان می‌دهد.
۲	(D'Amico et al. 2019)	ANN	پیشنهاد کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، با هدف حل همزمان تعادل انرژی و محیط زیست ساختمانها	میانگین خطای مطلق و ضریب تصمیم ۲ به ترتیب کمتر از ۵٪ و نزدیک به ۱ بوده است.	پیاده سازی الگوریتم ANN در یک نرم افزار امکان ایجاد یک ابزار پشتیبانی مناسب برای تصمیم گیری را فراهم می‌کند. نتایج عالی تأیید کرده است که این روش را می‌توان در هر زمینه و شرایطی گسترش داد.

1. bias coefficients
2. determination coefficient

جدول ۳. تجزیه و تحلیل کاربرد الگوریتم‌ها به منظور "پیشنهاد یک روش جدید"، در مقالات انتخاب شده

شماره	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه حل‌ها)	نقاط قوت
۱	(Sharif and Hammad 2019)	ANN (از الگوریتم‌های پیشنهادی ANN می‌توان برای پیش بینی TEC، LCC و LCA به عنوان ابزاری برای شبیه سازی ساختمان استفاده کرد؛ همچنین زمان و انرژی لازم برای محاسبات کاهش می‌یابد.)	ایجاد پیوند بین SBMO و ANN ایجاد یک ANN قوی از مدل SBMO برای کشف داده‌های گسترده و پیچیده و پیشنهاد یک ANN دقیق برای پیش بینی مصرف انرژی با استفاده از داده‌های مدل SBMO.	ادغام کامل بین ANN و SBMO هنوز هم یک مشکل حل نشده در این تحقیق است. بخواه خصوص در مورد بازسازی ساختمان.	با توجه به نتایج، مدل‌های ساخته شده با شبکه‌های عصبی در مقایسه با مدل انرژی ساختمان (BEM) در مدت زمان کوتاهی به نتایج قابل قبولی می‌رسند.
۲	(Ilbeigi, Ghomeishi, and Dehghanbanadaki 2020)	شبکه عصبی با استفاده از مدل MLP بهینه سازی انرژی توسط پلاگین Galapagos بر اساس الگوریتم ژنتیک انجام شده است.	پیشنهاد یک روش قابل اعتماد برای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها (مصرف انرژی به عنوان تابع هدف انتخاب شده است)	ممکن است پارامترهای ورودی بیشتری برای ارزیابی ساختمانهای پیچیده تر استفاده شود. مانند HL، CL، آسایش حرارتی و اثرات زیست محیطی. با در نظر گرفتن سایر پارامترها، مصرف انرژی تعدیل خواهد شد. (در مطالعات آینده)	الگوریتم Garson برای مدل ANN، دقت بالایی را نشان می‌دهد. برای بازسازی ساختمان: ۹۹٫۹٪.
۳	(Xu et al. 2019)	ادغام تحلیل شبکه اجتماعی (SNA) با تکنیک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	پیشنهاد یک روش جدید برای پیش بینی مصرف انرژی چند ساختمان (multi-building)	پیشنهادی-SNA-ANN برای پیش بینی استفاده از انرژی یک ساختمان منفرد در مقیاس شهر مورد تأیید قرار نگرفته است.	دقت در نتایج ۹۰٫۲۸٪ برای پیش بینی مصرف انرژی در همه گروه‌های ساختمانی با روش SNA-ANN بدست آمده است.
۴	(Benedetti et al. 2016)	(ANNs)	ارائه یک روش کاملاً جدید برای کنترل مصرف انرژی، پیشنهاد یک روش مبتنی بر ANN و با هدف ایجاد یک سیستم کنترل خودکار برای مصرف انرژی	در صورت افت دائمی دقت، دو روش مختلف ایجاد می‌شود تا شبکه به طور خودکار مجدداً آموزش یابد.	روش پیشنهادی این امکان را دارد تا با انتخاب مناسب‌ترین ساختار ANN، یک مدل دقیق ایجاد شود و همچنین می‌توان مکانیزمی را که با استفاده از آن دقت مدل و علت کاهش دقت بررسی می‌شود را خودکار کرد.
۵	(Luo 2020)	هر پرو فایل هواشناسی، با متغیرهای زمانی متناظر و تقاضای سرمایش، برای آموزش زیر مدل ANN استفاده می‌شود.	پیشنهاد یک شبکه عصبی مصنوعی تطبیقی خوشه‌ای پیشرفته-C) ANN برای پیش‌بینی تقاضای سرمایش ساختمان در ۲۴ ساعت و در مناطق نیمه گرمسیری.	در مقایسه با مدل ANN معمولی با ساختار ثابت، خطای آموزش و آزمایش مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی ۳٫۵۹٪ و ۴٫۷۱٪ بود که ۴٫۲٪ و ۳٫۱٪ بهبود داشته است.	-هر مدل فرعی ANN با ویژگی‌های پایگاه داده متغیرهای ورودی سازگار است. -عملکرد پیش بینی مدل پیشنهادی انطباقی شبکه خوشه‌ای تقویت شده ۱ بهبود یافته است.
۶	(Yang et al. 2020)	شبکه ANN با یک ساختار غیرخطی و برونزای اتورگرسیون. (سیستم پیشنهادی می‌تواند با استفاده از	پیشنهاد یک مدل (سیستم) کنترل پیش بینی به همراه مدل‌های ساختمانی مبتنی بر یادگیری ماشین با کاربرد	رویکرد مدل سازی مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند به دلیل کمبود داده‌های لازم برای آموزش	ویژگی سازگاری مدل می‌تواند دقت پیش بینی مدل دینامیک ساختمان که مبتنی بر یادگیری ماشین است را تا حد زیادی بهبود

شماره	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه حل‌ها)	نقاط قوت
		داده‌های عملیات آنلاین ساخت و ساز از طریق ANN پویا با ساختار برونزای اتورگرسیون غیرخطی، مدل ساختمان را مرتباً به روز کند.	کنترل و اتوماسیون ساختمان	مدل در صورت توسعه مدل کنترل پیش بینی قبل از بهره برداری از ساختمان، به چالش کشیده شود.	بخشد و مزایایی را در عملکرد سیستم کنترل پیش بینی مدل ایجاد کند. دقت پیش بینی با افزایش تعداد داده‌های عملیات ساختمانی در طول زمان بهبود می‌یابد
۷	(Deb, Lee, and Santamouris 2018)	توسعه دو مدل با استفاده از MLR و ANN	پیشنهاد مدل‌های پیش بینی مرتبط با صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری برای تهیه مطبوع؛ و روشی برای انتخاب مناسب‌ترین متغیرهای ورودی.	ANN محدودیت زیاد و سختگیرانه‌ای را روی مجموعه داده‌های آموزشی دارد. این امر منجر به بروز مشکلاتی از جمله بیش برآزش می‌شود که قابلیت پیش بینی دقیق را کاهش می‌دهد.	مدل ANN دقیق تر از مدل رگرسیون و با میانگین درصد مطلق خطا ۱۴.8 (MAPE)٪ پیش بینی کرده است.
۸	(Jung, Kim, and Heo 2015)	Least-squares support vector machine (LSSVM) Direct search optimization (DSO) Real-coded genetic algorithm (RCGA)	طراحی یک ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات ۲ (LSSVM) برای پیش بینی مصرف انرژی روزانه ساختمان با استفاده از ترکیب الگوریتم بهینه سازی جستجوی مستقیم ۳ (DSO) و الگوریتم ژنتیک با کد واقعی ۴ (RCGA)، به نام DSORCGA.	برای جلوگیری از بیش برآزش یا کم برآزش که در مدل LSSVM موجود عمدتاً به دلیل تعیین نادرست پارامترها ایجاد شد، از DSORCGA برای انتخاب پارامترهای مناسب برای پیش بینی مصرف انرژی روزانه ساختمان استفاده شده است.	DSORCGA پیشنهادی از نظر اپراتور تکثیر و اپراتور همگرایی ۵ با RCGA معمولی متفاوت است و برای بهینه سازی پارامترهای آزاد از LSSVM با توجه به سرعت بیشتر در محاسبات و دقت پیش بینی بالاتر استفاده می‌شود.
۹	(Le, Bourdais, and Guéguen 2014)	SVM	ارائه روش ساخت یک کنترل کننده بسیار ساده با یادگیری رفتارهای کنترل کننده بهینه، با استفاده از SVM برای جلوگیری از ناراحتی حرارتی در ساختمان، که ممکن است در اواسط فصول معتدل و تابستان رخ دهد.	به منظور تولید داده‌ها برای یادگیری ماشین، موقعیت‌های مختلف ورودی در هر ۵ دقیقه و در طول شبیه سازی ثبت شده است. ورودی‌ها عبارتند از: دمای داخل خانه، بهره‌برداری از نور خورشید، دمای خارج و زمان.	روش SVM برای قوانین یادگیری ماشین از یک کنترلر بهینه، به ویژه برای کنترل موارد غیرخطی موثر است.

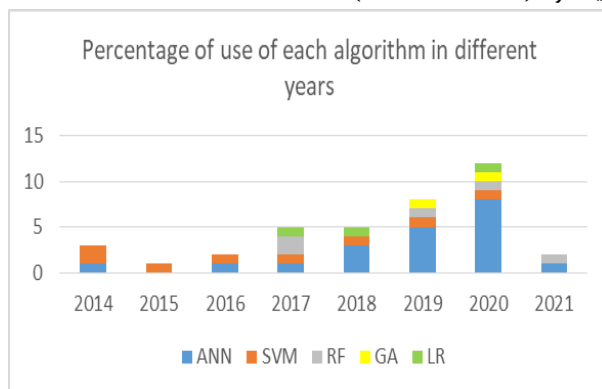
1. mean absolute percentage error (MAPE)
2. least-squares support vector machine (LSSVM)
3. direct search optimization (DSO)
4. real-coded genetic algorithm (RCGA)
5. reproduction operator and the crossover operator

جدول ۴. تجزیه و تحلیل کاربرد الگوریتم‌ها به منظور "ارزیابی"، در مقالات انتخاب شده

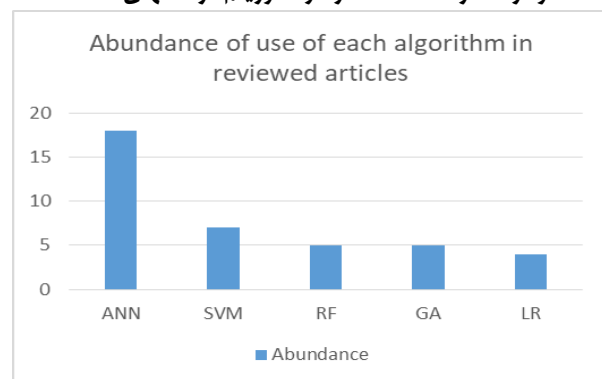
ردیف	منبع / تاریخ	الگوریتم	متغیر وابسته	نقاط ضعف (و راه‌حل‌ها)	نقاط قوت
۱	(Wang, Lu, and Li 2019)	SVR, BPNN, RF, GBDT, and XGBoost با استفاده از موارد زیر: extreme gradient boosting (XGBoost), RF, ANN, gradient boosting decision tree (GBDT), and SVR	بررسی جامع بین عملکرد مدل‌های پیش‌بینی کننده معمول مورد استفاده بر اساس معیارهای عملکرد چندگانه (دقت) تفسیرپذیری، استحکام و کارایی)	برای دستیابی به دقت در یک سطح، ANN و SVR به الگوریتم‌های کمکی نیاز دارند، اما مدل‌های دیگر می‌توانند بدون نیاز به تنظیمات به دقت کافی دست یابند.	RF دقت متوسط را نشان می‌دهد اما ANN دارای خصوصیات مخالف است. - بالاترین مقاومت متعلق به RF است، اما XGBoost و ANN دارای خصوصیات مخالف هستند. - RF، GBDT و XGBoost کاملاً قابل تفسیر هستند. - XGBoost بهره‌وری مطلوب و بهینه را نشان می‌دهد.
۲	(Liu et al. 2019)	SVM-ANN	مقایسه ANN و SVM، به عنوان مدل‌های پرکاربرد و جهانی، از نظر پیچیدگی، فرآیندهای پیش‌بینی، دقت نتایج، مقادیر داده‌های تاریخی مورد نیاز، تعداد ورودی‌ها و غیره مقایسه شدند.	هر دو دارای نقاط قوت و کاستی‌هایی هستند. بنابراین، برای موارد مختلف، مدل‌هایی مناسب‌اند که با توجه به نیازها، ویژگی‌ها و فرایندهای آموزشی مربوطه انتخاب شوند.	از طریق مقایسه بین روش‌های یادگیری ماشین (ANN) و (SVM) به صورت واحد و ترکیبی، می‌توان دریافت که ویژگی‌های مختلفی هستند که در شرایط مختلف قابل اجرا می‌باشند.
۳	(Hošovský et al. 2021)	یک مدل جدید پیش‌بینی تحت عنوان شبکه عصبی موجک رگرسیون بهینه شده با الگوریتم ژنتیک genetic-algorithm-optimized regression wavelet neural network (GA-optimized regWANN)	پیش‌بینی مصرف روزانه گاز در طول یک هفته در سه نوع ساختمان، که دارای پروفیل‌های مختلف مصرف گاز در طی یک دوره پنج ساله هستند	مدل‌های متداول رگرسیون با خطاهای میانگین متحرک خود رگرسیون ^۱ (ARMA) (regARMA) هنگامی که پیش‌بینی‌های دما نادرست بوده‌اند، عملکرد ضعیفی را ارائه داده‌اند.	استفاده از روش GW بهینه شده regWANN برای پیش‌بینی مصرف روزانه گاز می‌تواند دقت پیش‌بینی را بهبود بخشد، حتی در شرایطی که خطاهای پیش‌بینی دما قابل توجه‌تر هستند.
۴	(Chou and Bui 2014)	- Support vector regression (SVR), - Artificial neural network (ANN), - Classification and regression tree, - Chi squared automatic interaction detector, - General linear regression, - Ensemble inference model.	برآورد عملکرد انرژی (بار خنک کننده و گرمایش) ساختمانها و مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های مختلف.	محدودیت این کار این است که از تنظیمات پیش‌فرض در مدل‌های تک و گروهی استفاده شده است. هوش مصنوعی فردی می‌تواند با الگوریتم‌های محاسباتی دیگر مانند الگوریتم ژنتیک، منطق فازی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم کلنی کرم شب تاب ادغام شود تا عملکرد مدل‌های AI منفرد را در بسیاری از زمینه‌های مهندسی عمران افزایش دهد.	این کار همچنین تأیید کرد که مدل گروه + SVR (ANN و SVR) به ترتیب عملکرد بهتری را در پیش‌بینی CL و HL داشته‌اند. علاوه بر این، آنها مقدار کار و انرژی مورد نیاز برای توسعه الگوریتم‌های پیچیده محاسبات را کاهش داده‌اند.
۵	(Ahmad, Mourshed, and Rezgui 2017)	RF و ANN (مقایسه بین آنها)	پیش‌بینی مصرف انرژی در هتلی در مادرید	طبق نتایج، به طور کلی، ANN عملکرد بهتری نسبت به RF با خطای میانگین مربع (RMSE) به ترتیب ۴٫۹۷ و ۶٫۱۰ داشته است.	- به طور کلی، مدل ANN عملکرد بهتری نسبت به مدل RF داشته است. - مدل RF می‌تواند به عنوان ابزاری برای انتخاب متغیر مورد استفاده قرار گیرد.

^۱ autoregressive moving averages (ARMA)

مطابق جدول ۴، که در آن فقط مقالاتی بررسی شده‌اند که هدف اصلی آنها "ارزیابی" بوده است؛ نتیجه‌گیری می‌شود که در بیشتر مقالات، الگوریتم‌های ANN و SVM به طور همزمان استفاده شده‌اند و هدف اصلی در آنها مقایسه بوده است؛ مقایسه عملکرد و نتایج الگوریتم‌ها با یکدیگر یا مقایسه پروفایل‌های مختلف در مبحث داده‌ها. نکته کلیدی در مقایسه منصفانه الگوریتم‌های یادگیری ماشین اطمینان از ارزیابی هر الگوریتم به همان روش و در داده‌های یکسان است. با بکارگیری هر الگوریتم برای ارزیابی در یک آزمون، می‌توان به این مهم دست پیدا کرد. (Brownlee 2016)



نمودار ۱. درصد استفاده از هر الگوریتم در سالهای مختلف



نمودار ۲. فراوانی استفاده از هر الگوریتم در مقالات بررسی شده

۲. بیشترین فراوانی را در بین الگوریتم‌های به کار برده شده در مقالات دارد. همانطور که ذکر شد، هدف اصلی این مطالعه شناسایی پرکاربردترین الگوریتم‌ها برای تحقیقات مربوط به پیش بینی و بهینه سازی انرژی مصرفی در ساختمان بوده است. ANN با کاربرد گسترده خود در این زمینه رتبه اول را دارد. به این ترتیب، در ادامه ویژگی‌های مختلف این الگوریتم با استفاده از مقالات بررسی شده و نوع اهداف هر مطالعه شرح داده شده است.

تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) از قابلیت‌های بسیاری در مدل سازی الگوهای پیچیده و غیرخطی برخوردار هستند. روند آموزش الگوریتم با تعداد مشخصی از سلول‌های عصبی و لایه‌های مغزی شبیه طبیعت مغز انسان است. معماری استاندارد ANN از ورودی‌ها، خروجی‌ها و لایه‌های پنهان تشکیل شده است. لایه ورودی از کلیه مقادیر ورودی تشکیل شده و لایه خروجی نتیجه نهایی را تولید می‌کند. وجود لایه (های) پنهان اساساً تضمین می‌کند که به دلیل وجود رابطه بین نورون‌های ورودی و خروجی مدل‌های شبکه عصبی دارای روابط غیر خطی هستند. (Lippmann 1994)

بنابراین، الگوریتم ANN دارای ساختاری لایه‌ای است و از طرف دیگر، متغیرهای بسیاری برای پیش بینی و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از هوش مصنوعی در نظر گرفته می‌شوند. به همین راحتی، هر یک از آنها را می‌توان در جایگاه لایه‌های ورودی مختلف الگوریتم قرار داد. علاوه بر این، ANN دارای سرعت و دقت بالایی است. بنابراین می‌تواند به راحتی برای پیش بینی به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد و قابل اعتماد باشد.

ANN یک مدل محاسباتی است که سعی در شبیه سازی ساختار یا جنبه‌های عملکردی شبکه‌های عصبی بیولوژیکی دارد. (Banihashemi, Ding, and Wang 2017) مهم نیست که از چه نوع معماری شبکه‌ای استفاده شده است، یک مدل ANN باید فرایند آموزش (یادگیری) را تجربه کند تا قبل از کاربردهای واقعی تمام وزن و ارتباطات مورد نیاز را مشخص کند. در روند آموزش از سوابق موجود داده‌های تاریخی استفاده خواهد شد، که به عنوان معیارهایی برای نتیجه‌گیری مناسب مدل ANN در رابطه با ورودی‌های داده شده استفاده می‌شود. بنابراین، شبکه‌های عصبی قادر به یادگیری رابطه بین سیگنال‌های ورودی و گرفتن اطلاعات مهم از طریق یک فرایند آموزش مبتنی بر سوابق داده‌های تاریخی هستند. همچنین، این الگوریتم دارای یک

با توجه به مقالات بررسی شده در جداول بالا، ۸۵٪ از مقالات با اهداف مربوط به پیش بینی و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، فقط از الگوریتم ANN استفاده کرده و یا آن را با الگوریتم یا روش دیگری برای اهداف خود ترکیب کرده‌اند. پس از ANN، این الگوریتم‌ها بیشترین فراوانی را در مقالات منتخب داشتند: ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی (RF)، الگوریتم ژنتیک (GA) و رگرسیون خطی (LR). از نمودار ۱، دو نکته را می‌توان نتیجه گیری کرد:

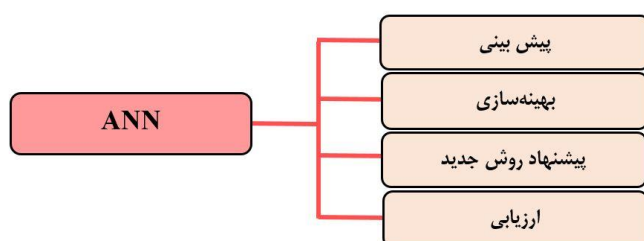
۱. الگوریتم ANN بیشترین فراوانی را داشته است.

۲. با توجه به اهمیت بهره وری انرژی ساختمان در سالهای اخیر، بیشتر مقالات بررسی شده مربوط به سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ هستند.

از نمودار ۲، دو نکته دریافت می‌شود:

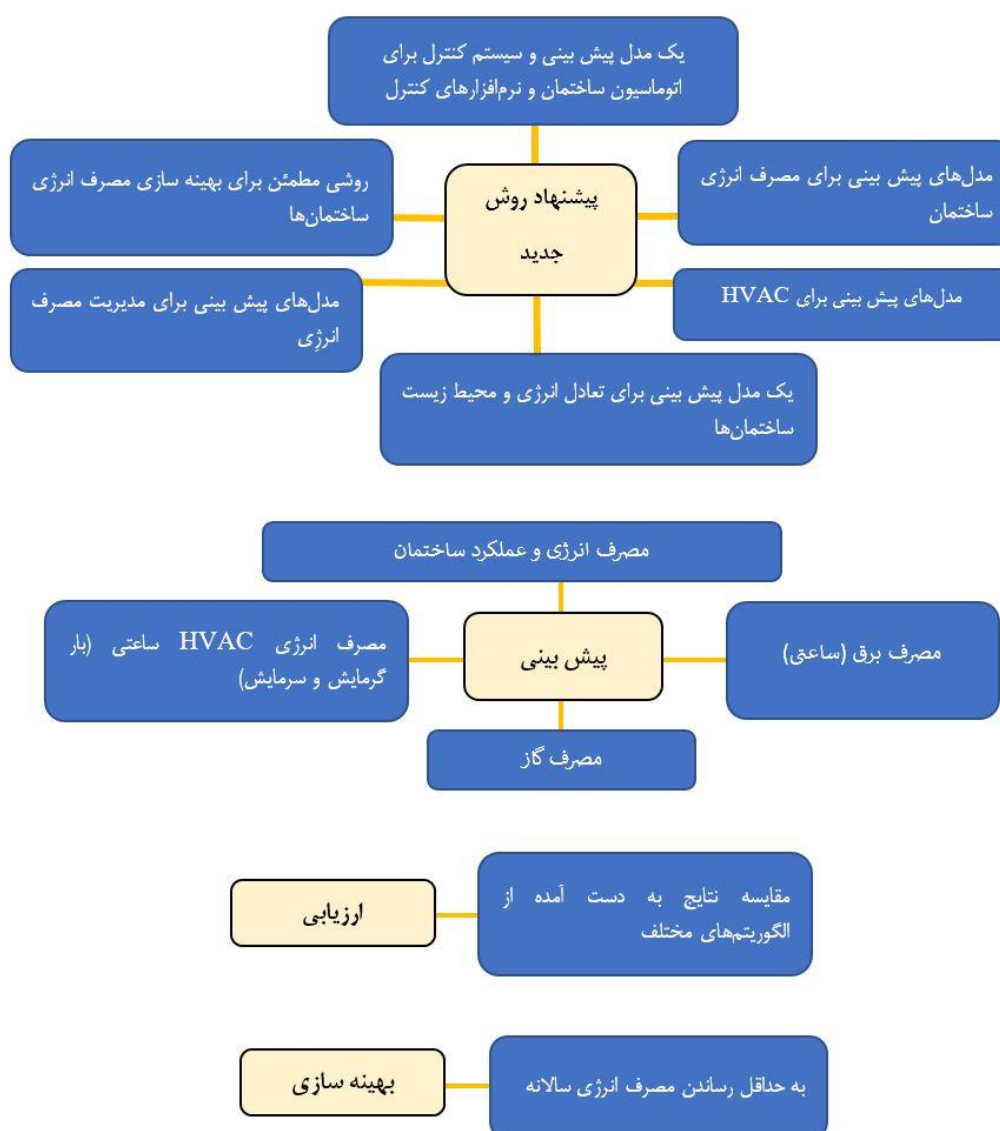
۱. پنج الگوریتم نشان داده شده در نمودار پر کاربردترین الگوریتم‌ها در مقالات منتخب بوده‌اند.

سری مزایای دیگر است، مانند تحمل خطا، مصونیت از اختلال و قدرت. با توجه به این ویژگی‌های مطلوب، شبکه‌های ANN تاکنون در حل مشکلات غیرخطی به موفقیت برتر دست یافته‌اند. (Kalogirou 2000)



با توجه به اینکه الگوریتم ANN پرکاربردترین الگوریتم در مطالعات مروری است و اهداف مختلفی برای استفاده از آن در نظر گرفته شده است، دیاگرام ۱ طبقه بندی این رویکردها را نشان می‌دهد: دیاگرام ۲ در ادامه بیشتر توضیح داده شده است:

دیاگرام ۱. کاربرد متفاوت ANN در مطالعات مروری



دیاگرام ۲. اهداف مختلف استفاده از الگوریتم ANN در مطالعات مروری

مطابق دیاگرام فوق، الگوریتم ANN می‌تواند برای تمام اهداف مربوط به پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از هوش مصنوعی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه، اشکالات یا نکات مربوط به الگوریتم ANN که در مقالات ذکر شده است را بررسی خواهیم کرد.

معایب استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور کلی عبارتند از:

۱. جعبه سیاه: مسلماً مشهورترین نقطه ضعف شبکه عصبی ماهیت "جعبه سیاه" است. به عبارت دیگر، شما نمی‌دانید که ANN چگونه و چرا خروجی خاصی را ارائه می‌دهد.
۲. مدت زمان توسعه: اگرچه کتابخانه‌هایی مانند "Keras" وجود دارد که توسعه شبکه‌های عصبی را به راحتی ساده سازی می‌کند، اما گاهی اوقات به کنترل بیشتری بر روی جزئیات الگوریتم نیاز است، مانند زمانی که می‌خواهید یک مسئله سخت و پیچیده را به کمک یادگیری ماشین حل کنید که هیچ کس قبلاً آنرا انجام نداده است.
۳. مقدار داده: شبکه‌های عصبی معمولاً به داده‌های بسیار بیشتری نسبت به الگوریتم‌های یادگیری ماشین سنتی و معمول نیاز دارند، حداقل هزاران داده؛ در غیر این صورت میلیون‌ها نمونه برچسب خورده نیاز است. حل این مسئله آسان نیست و بسیاری از مشکلات یادگیری ماشین در صورت استفاده از الگوریتم‌های دیگر با داده کمتر می‌تواند به راحتی حل شود.
۴. محاسبات سنگین: به طور کلی، شبکه‌های عصبی از نظر محاسباتی سنگین‌تر از الگوریتم‌های سنتی و معمول هستند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق^۱ می‌توانند به طور موفقیت آمیز شبکه‌های عصبی عمیق را آموزش دهند و این کار پیچیده را تحقق بخشند، این آموزش به طور کامل و به صورت پیش نویس^۲ ممکن است چندین هفته طول بکشد. از طرفی دیگر، اکثر الگوریتم‌های یادگیری ماشین (سنتی و معمول) زمان بسیار کمتری را برای این کار می‌طلبند و این زمان ممکن است از چند دقیقه تا چند ساعت یا چند روز متغیر باشد. ("4 Disadvantages Of Neural Networks | Built In" n.d.)

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه مروری معرفی متداول‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحت نظارت برای پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان و توصیف مزایا و محدودیت‌های آنها بوده است. در سال‌های اخیر، در بسیاری از مطالعات از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان‌ها استفاده شده است، به این دلیل که سریعتر از روش‌های معمول است و از دقت بالاتری نیز برخوردار است. در این مطالعه، بسیاری از مقالات منتشر شده در ۸ سال گذشته که هدف آنها بهینه سازی یا پیش بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها با استفاده از هوش مصنوعی است، بررسی شده‌اند. در این میان، الگوریتم‌هایی که بیشتر از بقیه به منظور بهینه سازی مصرف انرژی و پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند به ترتیب ANN، SVM، RF، GA و LR بوده‌اند. هر الگوریتم ویژگی‌های خاص خود را دارد و برای اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد و هیچ تمایزی برای بهتر یا بدتر بودن آن نسبت به بقیه وجود ندارد؛ مهم این است که الگوریتم به درستی و متناسب با هدف انتخاب شود. با توجه به اینکه ANN پرکاربردترین الگوریتم در این زمینه بوده است، ویژگی‌های آن بیشتر مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه گیری این است که به دلیل لایه لایه بودن شبکه ANN، این الگوریتم می‌تواند گزینه مناسبی برای پیش بینی یا بهینه سازی مصرف انرژی باشد؛ زیرا معمولاً چندین متغیر برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان در نظر گرفته می‌شود و این متغیرها را می‌توان به راحتی در لایه‌های مختلف ورودی الگوریتم قرار داد. علاوه بر این، ANN نیز مانند هر الگوریتم دیگری دارای اشکالاتی است و از راه حل‌های مختلفی برای افزایش دقت و سرعت آن در پژوهش‌های انجام شده تا به اکنون، استفاده شده است. یکی از این راه حل‌ها ادغام الگوریتم اصلی با الگوریتم‌ها یا روش‌های دیگر برای بهبود عملکرد آن است. مشکل دیگری که ممکن است ایجاد شود ناقص بودن داده‌های موجود است و یا اینکه الگوریتم توانایی به روز کردن داده‌ها را نداشته باشد. هر الگوریتم یادگیری ماشین نیازهای شرطی خاص خود را دارد و انتخاب هر یک از آنها میبایست با توجه به نیاز و داده‌های موجود انجام شود. (Luo 2020) نتیجه‌گیری این است که اگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین به درستی انتخاب شوند، پیش بینی‌های دقیق‌تری را ارائه می‌دهند و در نهایت با اطمینان می‌توان از نتایج برای بهینه سازی مصرف انرژی استفاده کرد.

پی نوشت: جدول مخفف‌ها

ANN	Artificial Neural Network شبکه عصبی مصنوعی	RF	Random Forest جنگل تصادفی
RMSE	Root Mean Squared Error جذر میانگین مجذور خطا	SVM	Support Vector Machine ماشین بردار پشتیبان
DNN	Deep Neural Network شبکه عصبی عمیق	SVR	Support Vector Regression رگرسیون بردار پشتیبان
DT	Decision Tree درخت تصمیم گیری	SBMO	Simulation-Based Multi-Objective Optimization بهینه سازی چند هدفه مبتنی بر شبیه سازی
MLP	Multi-Layer Perceptron پرسترون چند لایه	GA	Genetic Algorithm الگوریتم ژنتیک
LR	Linear Regression رگرسیون خطی	MOGA	Multi-Objective Genetic Algorithm الگوریتم ژنتیک چند منظوره
CL	Cooling Load بار سرمایشی	HL	Heating Load بار گرمایشی
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع	EFA	electromagnetism-based firefly algorithm الگوریتم کرم شب تاب مبتنی بر مغناطیس
TCV	Thermal Comfort Votes آراء مربوط به آسایش حرارتی	LCC	Life Cycle Cost هزینه چرخه حیات
TEC	Total Energy Consumption کل مصرف انرژی	LCA	Life Cycle Assessment ارزیابی چرخه حیات
TSV	Thermal Sensation Votes آراء احساس راحتی	PPD	percentage of people dissatisfied درصد مردم ناراضی
MLP	multi-layer perceptron پرسترون چند لایه	SNA	Social Network Analysis تحلیل شبکه اجتماعی
MLR	Multiple Linear Regression رگرسیون خطی چند گانه	MAPE	Mean Absolute Percentage Error جذر میانگین مجذور خطا
CBECS	Commercial Building Energy Consumption Survey نظرسنجی مصرف انرژی ساختمان تجاری	EUI	Energy Use Intensity شدت مصرف انرژی
Boosted Tree	درخت تقویت شده	ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers انجمن مهندسان سیستم‌های گرمایشی، برودتی و تهویه مطبوع آمریکا
TLBO	teaching learning-based optimization بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری		
GP	Genetic Programming برنامه نویسی ژنتیکی		

قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت خانم دکتر مه‌اسادات ترابی در ایده‌پردازی این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

۱. ترابی، مهسا سادات. ۱۳۹۹. "بهره‌وری انرژی ساختمان با استفاده از عامل‌های یادگیرنده رفتار کاربر نمونه مطالعاتی: منتخب ساختمان‌های مسکونی شهر تهران." گروه معماری. دانشگاه تربیت مدرس.
2. "4 Disadvantages Of Neural Networks | Built In." n.d. Accessed December 20, 2020. <https://builtin.com/data-science/disadvantages-neural-networks>.
3. Ahmad, Muhammad Waseem, Monjur Mourshed, and Yacine Rezgui. 2017. "Trees vs Neurons: Comparison between Random Forest and ANN for High-Resolution Prediction of Building Energy Consumption." *Energy and Buildings* 147: 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.038>.
4. AlTabbaa, Omar, and Samuel Ankrah. 2016. "University of Huddersfield Repository." *Technological Forecasting & Social Change* 104 (December 2017): 1–15.

5. Banihashemi, Saeed, Grace Ding, and Jack Wang. 2017. "Developing a Hybrid Model of Prediction and Classification Algorithms for Building Energy Consumption." *Energy Procedia* 110 (December 2016): 371–76. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.155>.
6. Barnaby, C., and J. Spitler. 2005. "Development of the Residential Load Factor Method for Heating and Cooling Load Calculations." *Undefined*.
7. Benedetti, Miriam, Vittorio Cesarotti, Vito Introna, and Jacopo Serranti. 2016. "Energy Consumption Control Automation Using Artificial Neural Networks and Adaptive Algorithms: Proposal of a New Methodology and Case Study." *Applied Energy* 165: 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.066>.
8. Bourdeau, Mathieu, Xiao qiang Zhai, Elyes Nefzaoui, Xiaofeng Guo, and Patrice Chatellier. 2019. "Modeling and Forecasting Building Energy Consumption: A Review of Data-Driven Techniques." *Sustainable Cities and Society* 48. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101533>.
9. Breiman, Leo. 2001. "Random Forests." *Machine Learning* 45 (1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
10. Brownlee, Jason. 2016. "How To Compare Machine Learning Algorithms in Python with Scikit-Learn." 2016. <https://machinelearningmastery.com/compare-machine-learning-algorithms-python-scikit-learn/>.
11. Bui, Dac Khuong, Tuan Ngoc Nguyen, Tuan Duc Ngo, and H. Nguyen-Xuan. 2020. "An Artificial Neural Network (ANN) Expert System Enhanced with the Electromagnetism-Based Firefly Algorithm (EFA) for Predicting the Energy Consumption in Buildings." *Energy* 190. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116370>.
12. Cavaleiro, José, and Paulo Carreira. 2016. "A Multidimensional Data Model Design for Building Energy Management." *Advanced Engineering Informatics* 30 (4): 619–32. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.08.001>.
13. Chai, Qian, Huiqin Wang, Yongchao Zhai, and Liu Yang. 2020. "Using Machine Learning Algorithms to Predict Occupants' Thermal Comfort in Naturally Ventilated Residential Buildings." *Energy and Buildings* 217: 109937. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109937>.
14. Chakraborty, Debaditya, Hazem Elzarka, and Raj Bhatnagar. 2016. "Generation of Accurate Weather Files Using a Hybrid Machine Learning Methodology for Design and Analysis of Sustainable and Resilient Buildings." *Sustainable Cities and Society* 24: 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.009>.
15. Chou, Jui Sheng, and Dac Khuong Bui. 2014. "Modeling Heating and Cooling Loads by Artificial Intelligence for Energy-Efficient Building Design." *Energy and Buildings* 82 (2014): 437–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.036>.
16. D'Amico, A., G. Ciulla, M. Traverso, V. Lo Brano, and E. Palumbo. 2019. "Artificial Neural Networks to Assess Energy and Environmental Performance of Buildings: An Italian Case Study." *Journal of Cleaner Production* 239: 117993. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117993>.
17. Deb, Chirag, Siew Eang Lee, and Mattheos Santamouris. 2018. "Using Artificial Neural Networks to Assess HVAC Related Energy Saving in Retrofitted Office Buildings." *Solar Energy* 163 (August 2017): 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.075>.
18. Deng, Hengfang, David Fannon, and Matthew J. Eckelman. 2018. "Predictive Modeling for US Commercial Building Energy Use: A Comparison of Existing Statistical and Machine Learning Algorithms Using CBECS Microdata." *Energy and Buildings* 163: 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.031>.
19. Drucker, H., C. Burges, L. Kaufman, Alex Smola, and V. Vapnik. 1996. "Support Vector Regression Machines." *Undefined*.
20. Hošovský, Alexander, Ján Pitel, Milan Adámek, Jana Mižáková, and Kamil Židek. 2021. "Comparative Study of Week-Ahead Forecasting of Daily Gas Consumption in Buildings Using Regression ARMA/SARMA and Genetic-Algorithm-Optimized Regression Wavelet Neural Network Models." *Journal of Building Engineering* 34 (October). <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101955>.
21. Hwang, Junhwa, Dongjun Suh, and Marc-Oliver Otto. 2020. "Forecasting Electricity Consumption in Commercial Buildings Using a Machine Learning Approach." *Energies* 13 (22): 5885. <https://doi.org/10.3390/en13225885>.
22. Ilbeigi, Marjan, Mohammad Ghomeshi, and Ali Dehghanbanadaki. 2020. "Prediction and Optimization of Energy Consumption in an Office Building Using Artificial Neural Network and a Genetic Algorithm." *Sustainable Cities and Society* 61: 102325. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102325>.

23. Jason Brownlee. 2016. "Supervised and Unsupervised Machine Learning Algorithms." 2016. <https://machinelearningmastery.com/supervised-and-unsupervised-machine-learning-algorithms/>.
24. Jung, Hyun Chul, Jin Sung Kim, and Hoon Heo. 2015. "Prediction of Building Energy Consumption Using an Improved Real Coded Genetic Algorithm Based Least Squares Support Vector Machine Approach." *Energy and Buildings* 90: 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.029>.
25. Kallio, Johanna, Jaakko Tervonen, Pauli Räsänen, Riku Mäkynen, Jani Koivusaari, and Johannes Peltola. 2021. "Forecasting Office Indoor CO2 Concentration Using Machine Learning with a One-Year Dataset." *Building and Environment* 187 (October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107409>.
26. Kalogirou, Soteris A. 2000. "Artificial Neural Networks in Renewable Energy Systems Applications: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(01\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00006-5).
27. Kim, Moon Keun, Yang Seon Kim, and Jelena Srebric. 2020. "Predictions of Electricity Consumption in a Campus Building Using Occupant Rates and Weather Elements with Sensitivity Analysis: Artificial Neural Network vs. Linear Regression." *Sustainable Cities and Society* 62: 102385. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102385>.
28. Le, Khang, Romain Bourdais, and Hervé Guéguen. 2014. "From Hybrid Model Predictive Control to Logical Control for Shading System: A Support Vector Machine Approach." *Energy and Buildings* 84: 352–59. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.084>.
29. Li, Kangji, Xianming Xie, Wenping Xue, Xiaoli Dai, Xu Chen, and Xinyun Yang. 2018. "A Hybrid Teaching-Learning Artificial Neural Network for Building Electrical Energy Consumption Prediction." *Energy and Buildings* 174: 323–34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.017>.
30. Lippmann, Richard. 1994. "Book Review: 'Neural Networks, A Comprehensive Foundation', by Simon Haykin." *International Journal of Neural Systems* 05 (04): 363–64. <https://doi.org/10.1142/s0129065794000372>.
31. Liu, Zhijian, Di Wu, Yuanwei Liu, Zhonghe Han, Liyong Lun, Jun Gao, Guangya Jin, and Guoqing Cao. 2019. "Accuracy Analyses and Model Comparison of Machine Learning Adopted in Building Energy Consumption Prediction." *Energy Exploration and Exploitation* 37 (4): 1426–51. <https://doi.org/10.1177/0144598718822400>.
32. Lucasius, C. B., and G. Kateman. 1993. "Understanding and Using Genetic Algorithms Part 1. Concepts, Properties and Context." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(93\)80079-W](https://doi.org/10.1016/0169-7439(93)80079-W).
33. Luo, X. J. 2020. "A Novel Clustering-Enhanced Adaptive Artificial Neural Network Model for Predicting Day-Ahead Building Cooling Demand." *Journal of Building Engineering* 32: 101504. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101504>.
34. Luo, X. J., Lukumon O. Oyedele, Anuoluwapo O. Ajayi, Olugbenga O. Akinade, Hakeem A. Owolabi, and Ashraf Ahmed. 2020. "Feature Extraction and Genetic Algorithm Enhanced Adaptive Deep Neural Network for Energy Consumption Prediction in Buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 131 (June): 109980. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109980>.
35. Luo, X.J., Lukumon O. Oyedele, Anuoluwapo O. Ajayi, Olugbenga O. Akinade, Juan Manuel Davila Delgado, Hakeem A. Owolabi, and Ashraf Ahmed. 2020. "Genetic Algorithm-Determined Deep Feedforward Neural Network Architecture for Predicting Electricity Consumption in Real Buildings." *Energy and AI* 2 (7): 100015. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100015>.
36. Nasruddin, Sholahudin, Pujo Satrio, Teuku Meurah Indra Mahlia, Niccolo Giannetti, and Kiyoshi Saito. 2019. "Optimization of HVAC System Energy Consumption in a Building Using Artificial Neural Network and Multi-Objective Genetic Algorithm." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 35 (October 2018): 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002>.
37. Seyedzadeh, Saleh, Farzad Pour Rahimian, Ivan Glesk, and Marc Roper. 2018. "Machine Learning for Estimation of Building Energy Consumption and Performance: A Review." *Visualization in Engineering* 6 (1). <https://doi.org/10.1186/s40327-018-0064-7>.
38. Sharif, Seyed Amirhosain, and Amin Hammad. 2019. "Developing Surrogate ANN for Selecting Near-Optimal Building Energy Renovation Methods Considering Energy Consumption, LCC and LCA." *Journal of Building Engineering* 25: 100790. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100790>.

39. "SVM Vs Neural Network | Baeldung on Computer Science." n.d. Accessed April 9, 2021. <https://www.baeldung.com/cs/svm-vs-neural-network>.
40. Villarrubia, Gabriel, Juan F. De Paz, Pablo Chamoso, and Fernando De la Prieta. 2018. "Artificial Neural Networks Used in Optimization Problems." *Neurocomputing* 272: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.04.075>.
41. Walker, Shalika, Waqas Khan, Katarina Katic, Wim Maassen, and Wim Zeiler. 2020. "Accuracy of Different Machine Learning Algorithms and Added-Value of Predicting Aggregated-Level Energy Performance of Commercial Buildings." *Energy and Buildings* 209: 109705. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109705>.
42. Wang, Ran, Shilei Lu, and Qiaoping Li. 2019. "Multi-Criteria Comprehensive Study on Predictive Algorithm of Hourly Heating Energy Consumption for Residential Buildings." *Sustainable Cities and Society* 49 (April): 101623. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101623>.
43. Weerts, Hilde J.P., Andreas C. Müller, and Joaquin Vanschoren. 2020. "Importance of Tuning Hyperparameters of Machine Learning Algorithms." *ArXiv*.
44. Wei, Yixuan, Xingxing Zhang, Yong Shi, Liang Xia, Song Pan, Jinshun Wu, Mengjie Han, and Xiaoyun Zhao. 2018. "A Review of Data-Driven Approaches for Prediction and Classification of Building Energy Consumption." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (September): 1027–47. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.108>.
45. Xu, Xiaodong, Wei Wang, Tianzhen Hong, and Jiayu Chen. 2019. "Incorporating Machine Learning with Building Network Analysis to Predict Multi-Building Energy Use." *Energy and Buildings* 186: 80–97. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.002>.
46. Yang, Shiyu, Man Pun Wan, Wanyu Chen, Bing Feng Ng, and Swapnil Dubey. 2020. "Model Predictive Control with Adaptive Machine-Learning-Based Model for Building Energy Efficiency and Comfort Optimization." *Applied Energy* 271 (January): 115147. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115147>.
47. Zhao, Hai Xiang, and Frédéric Magoulès. 2012. "A Review on the Prediction of Building Energy Consumption." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049>.

An overview on the application of machine learning algorithms to predict the energy performance of a building

Nowadays, due to increasing importance of energy consumption, many methods have been applied aiming accurate. One of these methods is to use artificial intelligence. Many algorithms are used to do this; Which provide a more accurate result than other building energy simulation tools. This article, reviews some research that has been done in recent years, and related to this issue; To identify the most accurate and most widely used algorithms in this field; The algorithms have the lowest error rate, the highest speed and the most accurate calculations. When using different algorithms, the strengths and weaknesses of each are identified. Researchers have used various algorithms to predict the energy consumption of buildings. The purpose of this article is to better understand the features of different algorithms according to the type of their use; and introduce the best and most widely used machine learning algorithms in recent years. the most widely used methods in order to optimize energy consumption and predict the energy performance of buildings have been ANN, SVM, RF, GA and LR respectively. In this research, a layered framework has been used to select articles; In the first layer, articles that have been published in the recent years were considered; In the second layer, these articles had the keywords we wanted and were in line with our achievements; In the third layer, the subject of the articles was in line with our subject and machine learning algorithms were used to predict or optimize the energy consumption of building.

Keywords: Machine Learning Algorithms, Energy Prediction, Energy Performance, Building Energy Efficiency, Accuracy.

پژوهش‌های نوین مقدمه‌مهندسی

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