

سازاروج

دوفصلنامه علمی - تخصصی انجمن علمی مهندسی عمران بها: ۴۰۰۰ تومان سال پانزدهم بهار ۱۴۰۳ شماره ۴۲

بررسی اثر خوردگی در رفتار لرزه‌ای سازه

هیدروگرافی، کلید ورود به دریا

بررسی عملکرد شمع‌ها

هوش مصنوعی در هیدروگرافی

روش‌های ماشین بردار پشتیبان

تأثیر عوامل زیرساختی حمل و نقل ریلی



مطالعه عددی رفتار رادیه-شمع

توسعه بنادر و ملاحظات زیست محیطی

تغییرات آب و هوایی

اثر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پایه‌های بتن مسلح



“

مَنْ تَعَلَّمَ الْعِلْمَ وَ عَمَلَ بِهِ وَ عَلَّمَ لِلَّهِ دُعَى فِي
مَلَكُوتِ السَّمَاوَاتِ عَظِيمًا فَقِيلَ: تَعَلَّمَ لِلَّهِ وَ
عَمَلَ لِلَّهِ وَ عَلَّمَ لِلَّهِ

هر کس برای خدا دانش بیاموزد، به آن عمل کند و به
دیگران آموزش دهد، در ملکوت آسمان ها به بزرگی
یاد شود و گویند: برای خدا آموخت، برای خدا عمل کرد
و برای خدا آموزش داد.

امام صادق (علیه السلام). شرح اصول کافی (ج ۱، ص ۵۶) ۷

”

سخن مدیرمسئول



ز دانش نخستین به یزدان گرای

کجا هست و باشد همیشه به جای

حتما تا به حال این ضرب المثل معروف را شنیده‌اید که «خشت اول گر نهد معمار کج... تا ثریا می‌رود دیوار کج». به همین سبب، همواره دقت و صحت اجرای نقشه‌ها در سازه‌های متفاوت از همان شالوده، تا آخرین آجری که به کار گذاشته می‌شود، از اهمیت به‌سزایی برخوردار بوده و هر پروژه، همکاری توأمان مهندسان عمران و نقشه‌برداری را می‌طلبد.

این بار، رسالت ساروج آن است تا پل میان این دو رشته را، که در کنار یکدیگر معنا پیدا می‌کنند، استحکام ببخشد و برای علاقه‌مندان بستری باشد که به تعامل و تبادل ایده بپردازند و نگرشی تازه در هر دو علم، به جامعه عرضه نمایند.

نشریه علمی-تخصصی ساروج با محتوای مقالات تخصصی و علمی معتبر، دستاورد دانشجویان پرتلاش و باانگیزه‌ای است که با اراده و همت خود به سمت چشم اندازی نوین حرکت می‌کنند؛ امید است تا در آینده‌ای نزدیک بر فراز این پل بایستیم و شاهد موفقیت‌های روزافزون عزیزان باشیم.

در انتها، از زحمات بی‌شائبه تمامی اساتید بزرگوار، به‌ویژه جناب آقای دکتر محمود پیروزی که وقت ارزشمند خود را به مصاحبه اختصاص دادند، و همچنین دوستانی که ما را در تدوین این شماره همراهی کرده‌اند صمیمانه سپاسگزاریم.

با احترام، نیلوفر دربندسری

بهار ۱۴۰۳

نیلوفر

ارتباط با نشریات انجمن: @Civil_Mag

کانال تلگرام انجمن: @CivilsBU

صفحه اینستاگرام انجمن: @Civil_SBU

روابط عمومی انجمن: @Civil_PR

ایمیل: SBU.SSCE@gmail.com

وبسایت انجمن: www.civilsbu.ir



ساروج

دوفصلنامه علمی-تخصصی انجمن علمی عمران

سال پانزدهم، شماره ۴۲، بهار ۱۴۰۳، بهاء: ۴۰۰۰۰ تومان

صاحب امتیاز: انجمن علمی عمران دانشگاه شهید بهشتی

مدیرمسئول: نیلوفر دربندسری

سردبیر: امیرعلی یحیی‌پور

هیئت تحریریه: نوید طالقانی، حانیه مهرشاد، علی‌اکبر احترامی، محمدحسین عرب، نیلوفر اسدی، سجاد مرشدی یوسف‌آباد، امیرحسین زارعی، مهران مرادی، حدیث رمضان‌نژاد، محمد پیرایش، سید امیرعباس موسوی، نیلوفر دربندسری، عباس کریمی، محمد مهدی اسفندیاری، سایان شجاع، امیرمهدی ایزدپناهی

استاد مشاور انجمن علمی: دکتر حمید محمدنژاد

هیئت نظارت علمی بر مقالات (براساس حروف الفبا): دکتر بابک ابراهیمیان، دکتر مرتضی اسدمرجی، دکتر سینا صاحبی، دکتر سعید صادقیان، دکتر شیمیا محبوبی، دکتر هانی محبوبی، دکتر علی مریدی

گروه ویراستاری ادبی: امین احمدی، پدram الفاسی، دانیال دوستی، معراج حسین‌پور، فاطمه راضی

سرپرست ویراستاران: امین احمدی

مدیر هنری و صفحه‌آرایی: نگار قراباغی

طراحی روی جلد: پارسا ضیائی

طراحی پشت جلد: حمیدرضا چاووشی

طراحی کیوآرکدها: احسان محمدی

تبلیغات و اطلاع‌رسانی: فرشته احمدی

طراحی تیزر: محمدرضا عزیزادگان

مدیر بخش مالی: سارا احمدی

چاپ و صحافی: مرکز طبع و نشر دانشگاه شهید بهشتی

نشانی: تهران- انتهای بزرگراه شهید بابایی شرق- حکیمیه- بلوار بهار- پردیس فنی‌مهندسی شهید عباسپور دانشگاه شهید بهشتی- دانشکده عمران، آب و محیط زیست- انجمن علمی مهندسی عمران

کد پستی: ۱۷۷۶۵-۱۷۱۹

یادداشت سردبیر



با سرسپردگی همه جان‌ها سپرده اند
با سرسپردگی کمر همت بسته اند

همت بلند دار که مردان روزگار
جانها همه در پی‌ات عزم ارادتند

در می‌یابیم که یکی از بزرگ‌ترین کلیدهای موفقیت، همت هر انسانی است که در هر شرایطی، به‌ویژه سختی‌ها، به یاری او می‌آید و باعث موفقیت بشر در هر صحنه از زندگی خواهد شد. بنده امیرعلی یحیی‌پور، سردبیر این شماره از ساروج، بسیار خرسند هستم که افتخار حضور در این خانواده بزرگ را داشته‌ام و از تمامی عزیزان و دوستان گرامی که در این شماره با ما همکاری داشته و تمام تلاششان را برای بهبود کیفیت و به حد اعلا رساندن نشریه کرده‌اند، تشکر به عمل می‌آورم.

در این شماره از ساروج، سعی شده است در جهت افزایش بار علمی، از دانشجویان تحصیلات تکمیلی استفاده شود تا بتوانیم نشریه‌ای شایسته‌ی انجمن علمی عمران دانشگاه شهید بهشتی ارائه دهیم.

همچنین از اساتید محترم که نظارت علمی بر مقالات داشته‌اند و سایر دانشجویانی که به ما در این مسیر یاری رسانده‌اند، به‌ویژه جناب آقای مهندس علی‌اکبر احترامی، که تجربیات خود را در اختیار ما قرار داده‌اند متشکریم.

با تشکر، امیرعلی یحیی‌پور

بهار ۱۴۰۳

محیط زیست و منابع آب



۸

۱۵

پلاσμα
تغییرات آب و هوایی

سواحل، بنادر و سازه های دریایی

توسعه بنادر و ملاحظات زیست محیطی ۲۹



ژئوتکنیک دریایی



مطالعه عددی رفتار رادیه-شمع متکی بر
شمع های استوانه ای، مخروطی و نیمه
مخروطی ۳۳

سازه و زلزله

بررسی مطالعات انجام شده در خصوص اثر
خوردگی بر رفتار لرزه ای پایه های بتن مسلح ۴۱
الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی ۴۹



حمل و نقل



اولویت بندی سناریوهای آزمون درک خطر رانندگان
اتوبوس تندروی شهری به روش آراس ۵۴

بررسی تاثیر عوامل زیرساختی حمل و نقل ریلی بر
میزان جذب مسافر ۵۹

هیدروگرافی

۶۳

معرفی رشته هیدروگرافی

۶۶

هوش مصنوعی در هیدروگرافی

۶

مصاحبه

۷

هیدروگرافی، کلید ورود به دریا ۶۹

فتوگرامتری و سنجش از دور

بررسی و ارزیابی روش‌های ماشین بردار پشتیبان ۷۳

U-Net ابزار ۷۷

۸

اخبار

۹

از انجمن علمی چه خبر؟ ۸۰

تبدیل پسماند به انرژی، با استفاده از روش پلاسما

نوید طالقانی

کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، آب و فاضلاب دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۲

navidtaleghani.ce@gmail.com



چکیده

پلاسما یکی از چهار حالت اصلی ماده است. پلاسما گاز شبه خنثی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می دهند. به عبارت دیگر، پلاسما، گاز یونیزه شده ای است که همه یا بخش قابل توجهی از اتم های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به کاتیون تبدیل شده باشند، یا تعداد الکترون های آزاد آن، تقریباً برابر با تعداد یون های مثبت آن باشد. پلاسما دو حالت گرم و سرد دارد. پلاسما کاربردهای متنوعی در صنایع گوناگون مثل: چاقوی پلاسما، نمایشگرهای پلاسما، لامپ های پلاسما، صنایع نظامی و غیره دارد. یکی دیگر از کاربردهای آن تبدیل پسماند به انرژی است. در این روش ما طی فرآیندی پسماند را پردازش می کنیم، سپس به راکتوری هدایت می شود که این راکتور توسط تورچ های پلاسمایی به دماهای بالا می رسد و خروجی راکتور گاز و خاکستر شیشه ای است. گاز خروجی بعد از مراحل پاک سازی قابلیت تبدیل به انرژی را دارد و از خاکستر شیشه ای نیز می توان در ترکیبات مصالح ساختمان سازی و راه سازی استفاده کرد، چون این ماده استانداردهای بهداشتی را دارد.

کلمات کلیدی: پسماند، انرژی، روش پلاسما، تورچ

۱- مقدمه

پلاسما یک حالت فیزیکی از ماده است که در آن ذرات ماده به صورت یون ها و الکترون ها به هم می چسبند و یک محیط باردار را ایجاد می کنند. در پلاسما، بخشی از الکترون ها از اتم ها جدا شده و به صورت یون ها در محیط پخش می شوند. این حالت فیزیکی در دماهای بسیار بالا یا در شرایطی که ماده با اندازه ذرات بسیار کوچک در تماس باشد، شکل می گیرد. پلاسما در طبیعت به صورت فراوانی وجود دارد، به عنوان مثال در ستارگان، سیارات، نیمه رساناها، لامپ های نئون و در شرایطی که گازها در معرض میدان های الکتریکی یا مغناطیسی قرار گیرند [۱]. پلاسما در تبدیل انرژی دارای کاربردهای متعددی است. در ادامه چند کاربرد اصلی آن آورده شده است.

تولید برق: پلاسما در نیروگاه های هسته ای به عنوان وسیله ای برای تولید برق استفاده می شود. در این نیروگاه ها، اتم های سنگین مانند اورانیوم یا پلاسمای هیدروژن در شرایطی که دما و فشار بالا باشد، تجزیه می شوند و انرژی زیادی در این فرآیند آزاد می شود که به تولید برق می انجامد.

فوق رانش: در فناوری فوق رانش، پلاسما در داخل موتورهای جت و راکت ها استفاده می شود. این پلاسما به عنوان ماده سوخت ها در

محفظه های موتور قرار داده می شود. با اعمال حرارت و فشار بر روی پلاسما، انرژی زیادی آزاد می شود که برای تولید نیروی پیشرانه استفاده می شود.

صنعت هسته ای: در صنعت هسته ای، پلاسما برای کنترل و تولید انرژی در راکتورهای هسته ای استفاده می شود. در راکتورهای هسته ای جهت تولید انرژی، پلاسمای هیدروژن به صورت گرم و فشرده در دماهای بسیار بالا تولید می شود.

لیزرهای پلاسمایی: لیزرهای پلاسمایی به عنوان منابع نوری قدرتمند استفاده می شوند. در این لیزرها، پلاسما برای تولید نور لیزری با انرژی بالا مورد استفاده قرار می گیرد.

پلاسمای کشاورزی: پلاسمای تولید شده توسط دستگاه های پلاسمای کشاورزی می تواند در کشاورزی و باغبانی برای تعقیم کردن خاک و بذرها، کشت و کار بهبود یابد و آفات را کنترل کند [۲].

۲- فرآیند پلاسما

پلاسما دو روش تک مرحله ای و دومرحله ای دارد که در این بخش ابتدا فرآیند تک مرحله ای توضیح داده شده و در انتها فرآیند دومرحله ای توضیح داده خواهد شد.

۲-۱- فرآیند پلاسما تک مرحله ای

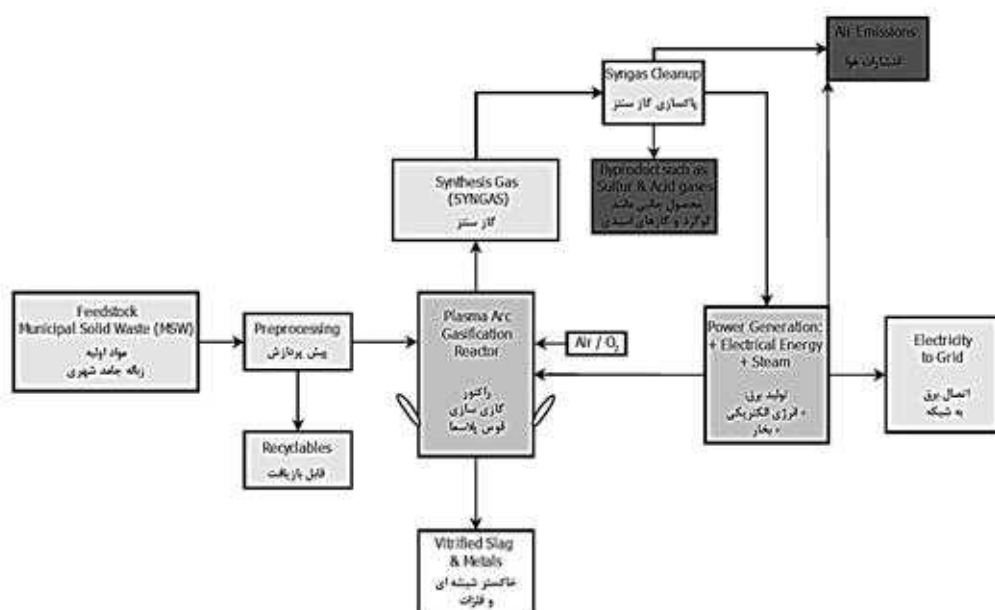
در فرآیند تبدیل پسماند به انرژی با استفاده از پلاسما، پسماند تحت دمای بسیار بالا قرار می گیرد و به شکل گاز تبخیر می شود، سپس وارد یک محیط پلاسمایی می شود. گازسازی قوس پلاسمایی یک فرآیند با دمای بالا است که ارگانیک های مواد جامد پسماند (مواد مبتنی بر کربن) را به سینگاز تبدیل می کند و مواد غیر ارگانی و معدنی مواد جامد پسماند به محصولات فرعی شیشه ای شبیه به سنگ به نام خاکستر شیشه ای تولید می کنند. سین گاز اساساً از CO و H₂ تشکیل شده است. دمای بالا در طول فرآیند توسط یک قوس برقی در یک مشعل (تورچ) ایجاد می شود که یک گاز را به پلاسما تبدیل می کند. فرآیندی که شامل یک راکتور با یک مشعل (تورچ) پلاسمایی برای پردازش ارگانیک های مواد جامد پسماند (مواد مبتنی بر کربن) است، به نام گازسازی قوس پلاسمایی نامیده می شود. راکتور گازسازی قوس پلاسمایی معمولاً بین ۷,۲۰۰ و ۱۲,۶۰۰ فارنهایت (حدود ۴۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجه سانتی گراد) عمل می کند. یک نمای مختصر از یک فرآیند معمول گازسازی قوس پلاسمایی در شکل ۱ نشان داده شده است.

نام واکنش	گرمای واکنش (J/mol)	واکنش
احتراق	+393790	$C + O_2 \longrightarrow CO_2$
هیدر-گازسازی	+74900	$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$
بخار-کربن	-177400	$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$
مرزی	-172580	$C + CO_2 \longrightarrow 2CO$

جدول (۱): واکنش‌های کربن.

در عمل تجاری، فرآیند گازسازی قوس پلاسمایی، همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، با ورود ماده مبتنی بر کربن مانند زغال سنگ یا کوک یک ماده جامد پر کربن است که در فشار و حرارت بالا بر اثر تقطیر آهسته، زغال سنگ تشکیل می‌شود. از این ماده با عیار کربن ۸۰ تا ۹۰ به عنوان سوخت استفاده می‌شود و به طور گسترده به عنوان یک جایگزین برای زغال سنگ محسوب می‌شود. یکی از کاربردهای مهم این سوخت، استفاده در ذوب آهن است. این ماده به سرعت با اکسیژن واکنش می‌دهد تا حرارت لازم برای واکنش‌های پیرولیز در محیط کم اکسیژن را تولید کند. جدول ۱ مواد مبتنی بر کربن را به عنوان C نشان می‌دهد که با O_2 واکنش می‌دهد تا احتراق محدودی را تولید کند، اما با توجه به حرارت لازم برای واکنش‌های سینگاز جدول ۱ و ۲، این کار انجام می‌گیرد. علاوه بر این، بخار آب به راکتور گازسازی قوس پلاسمایی اضافه می‌شود تا واکنش‌های سین گاز را ترویج دهد. واکنش‌های احتراق (واکنش‌های خروجی حرارتی) حرارت با حرارت اضافی از مشعل‌های قوس پلاسمای برای واکنش‌های پیرولیز (واکنش‌های خوردگی حرارتی) ارائه می‌دهند که به طور معمول، دمایی بین ۷,۲۰۰ و ۱۲,۶۰۰ فارنهایت را تولید می‌کند. در دمای بالا پروتئین‌های خطرناک، سموم خطرناک، آمینواسیدهای خطرناک، فسفر بیس خطرناک، اصولاً تبدیل به گاز CO_2 و H_2O و مواد زیست پذیر می‌شوند [۳].

مواد معدنی غیرارگانی مواد جامد پسماند (MSW) محصولات فرعی شبیه به سنگی تولید می‌کنند. از آنجایی که شرایط عملیاتی بسیار بالا هستند (۱۲,۶۰۰-۷,۲۰۰ فارنهایت)، این مواد معدنی به طور معمول به خاکستر منجمد تبدیل می‌شوند که از جمله فلزات و شیشه‌های سیلیکا تشکیل شده است. این سنگ شیشه‌ای اساساً غیرسمی است و استانداردهای محیط زیست EPA را پایبند است. می‌توان فلزات را از این سنگ استخراج کرد و از سنگ می‌توان برای تولید محصولات جانبی دیگری مانند پشم سنگی، کاشی‌های کف، کاشی‌های سقفی، عایق و بلوک‌های محوطه‌سازی و غیره استفاده کرد. در نهایت، اجزای پسماند تجزیه و تحلیل می‌شوند، این فرآیند به تبدیل پسماند به انرژی حرارتی و شیمیایی منجر می‌شود که می‌تواند به تولید برق، گرما و مواد شیمیایی مورد استفاده در صنایع مختلف منتقل شود [۴].



شکل (۱): فرآیند پلاسمای تک مرحله‌ای.

نام واکنش	گرمای واکنش (J/mol)	واکنش
انتقال آب-گاز	+2853	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$
متان زایی	+250340	$\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

جدول (۲): واکنش‌های گازها.

کمی متان و استیلن و اتیلن، است. این گازها در دستگاه‌های تولید انرژی سوزانده می‌شوند و انرژی آزاد شده را برای تولید الکتریسیته به مصرف می‌رسانند. از جمله روش‌های دستیابی به جریان برق می‌تواند از دیگ بخار، توربین‌های بخار و توربین‌های گازی نام برد. باید توجه داشت که توربین به گاز تمیز با آلودگی پایین نیاز دارد، در حالی که دیگ بخار می‌تواند از گاز آلوده نیز استفاده کند و در مقایسه با سایر گزینه‌ها، هزینه آن کمتر است. سرانجام، محصولات اکسایش گاز سنتز به شکل کربن دی‌اکسید، نیتروژن و بخار آب وارد جو می‌شوند. گازهای ره‌اشده در جو آلاینده نیستند و اثر گلخانه‌ای ندارند. جز تولید الکتریسیته، می‌توان به انواع سوخت‌های مایع از جمله اتانل و متانول به عنوان محصول فرعی دست یافت.

۲-۲-۵- مدیریت فازهای جامد

در اثر تبدیل پسماند به انرژی با استفاده از پلاسما، قسمتی از پسماند به شکل جامد می‌ماند. این جامدات می‌توانند مورد استفاده در ساخت مواد مفیدی مانند سیمان، مواد ساختمانی، یا کامپوزیت‌ها قرار گیرند. یکی دیگر از محصولات راکتور، توده شیشه‌ای ماندنی است که از قسمت انتهایی راکتور خارج می‌شود. برای افزایش پایداری این محصول که در ساخت‌وساز به عنوان مصالح مصرف می‌شود، می‌توان به راکتور سنگ آهک اضافه کرد، چراکه سنگ آهک، باعث ایجاد پیوندهای شیمیایی بین مواد معدنی موجود در توده می‌شود. بنابر گزارش‌های رسمی، این محصول کاملاً خنثی است و خطری ندارد، توانایی نفوذ به لایه‌های زمین و در نتیجه آلوده کردن آب‌های زیرزمینی را نیز ندارد [۶].

۲-۲-۶- پالایش گاز خروجی

گاز سنتز تولید شده می‌تواند حاوی ترکیبات ناخواسته از جمله خاکستر کربن، فلزات قلیایی، ترکیبات فلزات سنگین، هالوژن‌ها و سولفورها باشد. به همین دلیل، عملیات پالایش ضروری است. قابل توجه است که دستگاه‌های گازسازی در مقایسه با دستگاه‌های احتراقی، اکسیدهای کمتری تولید می‌کنند. از این رو گاز خروجی به مراتب تمیزتر خواهد بود. بعد از خروج گاز سنتز از بالای راکتور، ابتدا گرمای آن در مجاورت با یک محیط سرد، گرفته می‌شود. سپس با عبور از تجهیزات تصفیه گاز، پاک‌سازی می‌شود. مبنای کار سیکلون، جدا کردن ذرات جامد ناشی از سنگین‌تر بودن نسبت به ذرات گاز است. الکتروسافی‌ها نیز دارای صفحاتی‌اند که میدان مغناطیسی برقرار می‌کند و ذرات بسته به نوع بار صفحات به سمت آنها روده می‌شوند، این در حالی است که مولکول‌های گاز سنتز خنثی هستند و بدون انحراف به مسیر خود ادامه

۲-۲-۲- بخش‌های پلاسما تک مرحله‌ای

۲-۲-۱- جمع‌آوری و حمل پسماند

این مرحله در بداهه فرآیند تبدیل پسماند به انرژی قرار دارد. پسماند از منازل، صنایع، یا سایر منابع جمع‌آوری و به محل واحد پردازشی حمل می‌شود.

۲-۲-۲- آماده‌سازی پسماند

پسماند جمع‌آوری شده باید در مرحله آماده‌سازی به صورتی پردازش شود تا برای ورود به واحد پلاسمایی آماده باشد. این مرحله شامل جداسازی اجزاء غیرقابل احتراق، تصفیه پسماند و کاهش حجم پسماند می‌شود.

۲-۲-۳- ورود به واحد پلاسمایی

پسماند آماده شده وارد واحد پلاسمایی می‌شود که شامل یک محیط پلاسمایی با دماهای بسیار بالا است. در فناوری گازسازی پلاسما، دما بسیار بالاست و محیط در شرایط کمبود اکسیژن قرار دارد. برای رسیدن به این دما، از تورچ‌های استفاده می‌شود که توانایی ایجاد پلاسما در دماهای بالا را دارند و این تورچ‌ها نیاز به طراحی و ساخت با دقت بالا دارند. این عامل منجر به تجزیه کامل مواد به مولکول‌های ساده‌تر می‌شود. ترکیبات عالی به گاز سنتز تبدیل می‌شود. گاز سنتز غالباً از هیدروژن و کربن مونوکسید تشکیل شده است. ترکیبات معدنی ذوب و به خاکستر شیشه‌ای مانند متراکم غیرفعال و غیرقابل نفوذ تبدیل می‌شوند. ترکیب گاز سنتز وابسته به ترکیب خوراک ورودی است. گاز سنتز شامل ۷۰ درصد هیدروژن و کربن مونوکسید است. ۳۰ درصد دیگر نیتروژن و کربن دی‌اکسید است. کلر موجود به اسیدکلریدریک، گوگرد به هیدروژن سولفید تبدیل می‌شود. این گاز دارای انرژی گرمایی بسیار زیادی است که از آن می‌توان برای تولید گرما و الکتریسیته استفاده کرد. همچنین به عنوان ماده اولیه صنایع نیز مصرف می‌شود. در جدول ۱ واکنش‌های بین کربن موجود در پسماند جامد با گازهای حاضر در محیط درج شده‌اند. در جدول (۲) واکنش گازهای موجود در راکتور با یکدیگر درج شده است [۵].

۲-۲-۴- تبدیل به انرژی

در محیط پلاسمایی، پسماند به دماهای بالا گرما می‌گیرد و تجزیه می‌شود. این فرآیند منجر به تولید انرژی حرارتی می‌شود. این انرژی حرارتی می‌تواند به تولید بخار و تولید برق از طریق ژنراتورها منتقل شود. گاز سنتز تولید شده، شامل هیدروژن، کربن مونوکسید، نیتروژن و مقادیر

می دهند. برای مواد معلق به جامانده نیز تمهیداتی باید اندیشیده شود. معمولاً سامانه گازشوی مرطوب، از قابلیت جذب و حذف مواد عالی و گازهای اسیدی برخوردار است. کنترل PH در گازشوی مرطوب با تزریق سود سوزآور یا آهک انجام می شود. سرانجام گاز خروجی از گازشوی مرطوب باید خشک و رطوبت آن گرفته شود تا برای تولید انرژی به کار آید [۷].

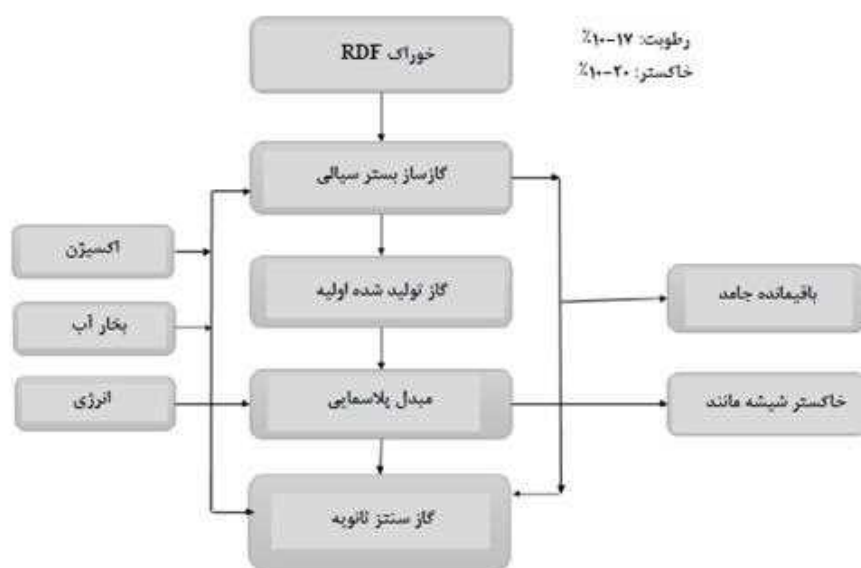
۷-۲-۲- کنترل و مانیتورینگ

در طول فرآیند تبدیل پسماند به انرژی با استفاده از پلاسما، مانیتورینگ دقیق و کنترل فرآیند از اهمیت بالایی برخوردار است. سیستم های کنترل به منظور حفظ شرایط بهینه پلاسما و بهره برداری بهینه از انرژی تعبیه می شوند. مشعل ها بر اثر مجاورت با محیط دمای بالا باید همواره به وسیله آب، خنک شوند. حتی با وجود آب خنک کن مشعل ها به علت خوردگی شدید مرتباً باید تعویض شوند [۸].

۳-۲- فرایند پلاسمای دومرحله ای

دستگاه های حذف زباله بر مبنای قوس پلاسما، شار گرمایی زیادی تولید می کند که به کاهش حجم مواد ورودی و غیرفعال سازی آلودگی های معدنی و تولید انرژی می انجامد. فرآیند می تواند در آرایش های یک یا دومرحله ای اجرا شود. در آرایش یک مرحله ای، انرژی مورد نیاز فقط برای تجزیه از پلاسما تأمین می شود. آرایش های دو مرحله ای پیچیده تر هستند. مرحله اول یک گاز ساز رایج در صنایع است و در مرحله دوم از قوس پلاسما استفاده می شود. شرکت پلاسکو انرژی در کانادا و ای پی در انگلیس در این فناوری پیشتاز هستند. استفاده از دو مرحله، ظرفیت پذیرش خوراک را بالا می برد. همچنین، گفته شده کنترل ترکیبات آلی فرار و غیر موجود در گاز سنتز نیز ارتقاء یافته است. به طور کلی تولید گاز در فرایند یک مرحله ای، به انرژی الکتریکی بیشتری نیاز دارد. فرایند یک مرحله ای برای حجم کم پسماندهایی که پردازش آن ها دشوار است (از جمله زباله های بیمارستانی و خطرناک) مناسب تر است و فرایند دو مرحله ای برای جریان های ورودی با دبی زیاد، مناسب تر است.

فرایند دومرحله ای که در شکل ۲ مشاهده می شود و گروه ای پی پی آن را طراحی کرده و ساخته، دارای دو مرحله کلیدی است: گاز ساز بستر سیالی و مبدل پلاسمایی. مراحل دیگر که شامل آماده سازی سوخت، پاک سازی گاز و تولید انرژی است، قبلاً به طور کامل تشریح شده اند. فرایندهای وابسته به دما دارای فشار منفی اندک است [۹].



شکل (۲): فرایند پلاسما دومرحله ای.

۴-۲- محیط زیست پلاسما

در فرآیند تبدیل پسماند به انرژی با استفاده از پلاسما، ممکن است مقداری گازهای گلخانه ای انتشار یابد. این گازها معمولاً به دلیل دما و شرایط فرایند پلاسمایی تولید می شوند. گازهای گلخانه ای احتمالاً شامل عناصری مانند دی اکسید کربن (CO₂)، اکسید نیتروژن (NO_x) و متان (CH₄) می شوند. در جدول ۳ مقدار برخی از آلاینده ها که از سوختن منابع مختلف انرژی به وجود می آید را بررسی کردیم.

Lb/MWh	Coal	Oil	Natural Gas	Waste to Energy
CO ₂ out	2.249	1.672	1.135	0.837
Sulfur dioxide	13	12	0.1	1.7
Nitrogen Oxides	6	4	1.7	5.4

جدول (۳): آلاینده های تولید از منابع مختلف سوخت.

مهندسان برای کاهش تأثیرات زیست محیطی و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحقیقات بهینه‌سازی فرآیند پلاسما و استفاده از تکنیک‌های مختلف از جمله سیستم‌های کنترل انتشار گازها (Flue Gas Cleaning) را در نظر می‌گیرند. این سیستم‌ها می‌توانند به جذب و حذف بیشتر گازهای زائد کمک کنند و از طریق فرآیندهای تصفیه گازها، انتشارات گازهای گلخانه‌ای را به حداقل برسانند. در جدول (۴) موارد مختلفی از این سیستم‌ها قابل مشاهده است [۱۰].

کنترل آلاینده‌ها	تکنولوژی
ماده ذرات معلق و ائروسول‌ها	جداسازی اینرسی، سیستم فیلتر کیسه‌ای، تصفیه‌کننده‌ها، جداساز الکترواستاتیک (ESP)
فلزات تقطیرپذیر	فیلترهای کربن (یا تقطیر و تشکیل ذرات معلق و ائروسول‌ها و استفاده از تکنیک‌های جداسازی ذرات معلق)
دیوکسین/فوران‌ها	محدود کردن ورود کربن به مواد اولیه، خنک‌سازی سرد و/یا سوزاندن حرارتی/کاتالیتیک
کربن مونواکسید و گازهای هیدروکربن	طراحی فرآیند، سوزاندن کاتالیتیک/حرارتی، بازسازی، فیلترهای کربن
اکسیدهای نیتروژن (NO_x)	کنترل دمای شعله/سوزاندن‌های کم NO_x ، مدیریت نیتروژن سوخت، کاهش انتخابی اکسیدهای نیتروژن، تزریق آب، بازسازی
اکسیدهای گوگرد (SO_x)	محدودیت ورود جرم گوگرد، تصفیه‌کننده
گازهای اسیدی	تصفیه‌کننده

جدول (۴): سیستم‌های مختلف کنترل آلاینده‌ها.

برای بررسی میزان آسیب تکنولوژی پلاسما به محیط زیست شاخص‌های زیست محیطی جدول ۵ را در یکی از مراکز صنعتی پلاسما بررسی کردیم و نتایج آن را در جدول ۶ می‌توان مشاهده کرد.

واحد	ضریب تاثیر
kg Sb-equiv.; MJ	(ADP elements, fossil) پتانسیل تقلیل غیرزیستی
.equiv-kg SO_2	(AP) پتانسیل اسیدی شدن
.equiv-kg PO_4	(EP) پتانسیل مردابی شدن
.equiv-kg CO_2	(GWP) پتانسیل گرمایش جهانی
.kg DCB-equiv	(FAETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی آب شیرین
.kg DCB-equiv	(HTP) پتانسیل سمیت انسانی
.kg DCB-equiv	(MAETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی آبزیان دریایی
.equiv-kg R11	(ODP) پتانسیل تخریب لایه اوزون
.kg ethene-equiv	(POCP) پتانسیل ایجاد اوزون فتوشیمیایی
.kg DCB-equiv	(TETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی زمینی

جدول (۵): شاخص‌های زیست محیطی و واحدهای آن.

واحد	ضریب تاثیر
-1.62*10 ⁻⁵ kg Sb eq.	(AD _{Pelements}) پتانسیل تقلیل غیرزیستی
-382 MJ	(ADP _{fossil}) پتانسیل تقلیل غیرزیستی
-39.7*10 ⁻² kg SO_2 eq.	(AP) پتانسیل اسیدی شدن
-1.55*10 ³ kg PO_4 -3 eq.	(EP) پتانسیل مردابی شدن
-31 kg CO_2 eq.	(GWP) پتانسیل گرمایش جهانی
-6.41*10 ⁻² kg DCB-eq.	(FAETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی آب شیرین
-14.7 kg DCB-eq.	(HTP) پتانسیل سمیت انسانی
-2.14*10 ⁵ kg DCB-eq.	(MAETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی آبزیان دریایی
-2.13*10 ⁻⁸ kg R11 eq.	(ODP) پتانسیل تخریب لایه اوزون
-2.23*10 ⁻² kg ethene eq.	(POCP) پتانسیل ایجاد اوزون فتوشیمیایی
-2.95*10 ⁻² kg DCB-eq.	(TETP) پتانسیل سمیت زیست محیطی زمینی

جدول (۶): نتایج شاخص‌های زیست محیطی در یک مرکز پلاسما

در بخش اقتصادی ما اول باید بررسی کنیم یک واحد پلاسمایی چه مقدار درآمد و چه مقدار هزینه دارد، میزان درآمد واحد پلاسمایی رابطه مستقیم به نوع پسماند و میزان انرژی پسماند در هر واحد پلاسمایی دارد، با توجه به اینکه نرخ تولید پسماند و ترکیبات پسماند تولیدی در مناطق مختلف جهان متفاوت است و این موضوع به میزان درآمد و فرهنگ و... مردم در هر منطقه بستگی دارد و این مورد باید بررسی شود. به صورت میانگین هر یک کیلو پسماند جامد شهری، ۹-۱۰ مگاژول انرژی دارد و با توجه به تکنولوژی‌های موجود، پلاسما می‌تواند فقط نصف این مقدار را به انرژی تبدیل کند. همچنین تورچ‌ها ۱۰۰-۱۲۰ کیلووات/ساعت انرژی مصرف می‌کنند. هزینه ساخت و راه‌اندازی نیروگاه و راکتور پلاسما ۵۰ مگاواتی (ظرفیت ۲۰ تن زباله در روز) ۴۰ میلیون دلار است. در جداول (۷و۸) اقتصاد کارخانه‌های مختلف پلاسما، شامل کلیه هزینه‌ها و کلیه درآمدها آورده شده است [۱۱].

Alter NRG expenses \$/ton		Alter NRG revenues \$/ton	
Personnel	10	Gate fee	65
Other operating costs	32	Electricity to grid	61.7
operating costs Total	42	Metal recovery	2.47
		Renewable credit	0.55
charges and all other Capital	81		
costs Total	123	Total revenue at start up	129.72

جدول (۷): اقتصاد کارخانه Alter NRG/WPC.

Plasma plant expenses \$/ton		Plasma plant revenues \$/ton	
cost Labor	10	Gate fee	65
Other operating costs	43	Electricity to grid	45
operating costs Total	53	Metal recovery	2.47
		REC	0.55
charges and all other Capital	76/8		
costs Total	130	Total revenue at start up	113.02

جدول (۸): اقتصاد کارخانه InEnTec.

Plasco plant expenses \$/ton		Plasco plant revenues \$/ton	
cost Labor	10	Gate fee	65
Other operating costs	43	Electricity to grid	53.3
operating costs Total	53	Metal recovery	2.47
		Renewable credit	0.55
charges and all other Capital	96		
Total costs	149	Total revenue at start up	118.85

جدول (۹): اقتصاد کارخانه

۶- نتیجه گیری

از نظر فنی طراحی و ساخت راکتور پلاسما کار ساده‌ای نیست و نیاز به تجهیزات و تخصص کافی دارد و این امکان برای هر کشوری فراهم نیست. از نظر زیست‌محیطی بسیار کارآمد خواهد بود زیرا آلاینده‌های تولید و پسماند به‌جامانده در انتهای فرآیند استانداردهای EPA را دارند. از نظر اقتصادی هم در مقیاس کم ترجیح ندارد و در مقیاس زیاد می‌تواند اقتصادی هم باشد باید در نظر داشته باشیم که ساخت و راه‌اندازی آن نیاز به هزینه اولیه زیادی دارد و اگر بتوان در ساخت تورچ‌ها از تکنولوژی‌ها نوین برای کاهش مصرف انرژی استفاده کرد می‌تواند اقتصاد پلاسما را بهبود بخشد. در انتها هم اگر بخواهیم تمام موارد را جمع‌بندی کنیم اگر در شرایطی که بعد محیط‌زیستی (مثل زباله‌های خطرناک و سمی) و یا نبود فضای کافی برای دفن پسماند برای ما اهمیت زیادی داشته باشد راه‌اندازی سیستم پلاسما بهترین راه حل خواهد بود.



جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب مخزن سدها

حانیه مهرشاد

دکتری مهندسی محیط زیست، آب و فاضلاب دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۲

haniyeh9mehrshad@gmail.com



چکیده

پدیده تغییر اقلیم یکی از مباحث مطرح در گستره علوم مرتبط با محیط زیست است. افزایش فزاینده گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر، تعادل اقلیمی را در کره زمین دچار تغییراتی کرده است. افزایش شاخص‌های بیشینه آب و هواشناسی، کاهش پوشش یخ، بالا آمدن سطح دریاها و تغییر سیستم‌های بیوژئوفیزیکی از شواهد مختلف تغییر اقلیم در سراسر جهان هستند که به چشم می‌خورد. همچنین سیل‌ها و خشکسالی‌ها اثرات مهم و تغییر اقلیم بر روی موجودیت آب هستند. در کنار مفهوم جهانی تغییر کاربری اراضی، جنگل‌زدایی، پراکندگی و گسترش شهری و عایق‌بندی و ضدآب کردن منطقه نیز ممکن است منجر به تنزل کیفیت آب شود. ولی بیشتر، آلودگی آب مستقیماً در ارتباط با فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی انسان‌هاست و تغییر اقلیم می‌تواند منجر به تنزل کیفیت ذخایر آبی به‌عنوان یک نتیجه غیرمستقیم این‌گونه فعالیت‌ها باشد. تغییرات در پارامترهای اقلیمی سبب شده است تا فاکتورهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز تحت تأثیر قرار گرفته و این پدیده بر روی کمیت و کیفیت منابع آب سطحی همچون دریاچه‌ها، آبگیرها و مخازن سدها تأثیرگذارد. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب یک فعالیت اساسی است، زیرا ما آب را به‌عنوان یک ماده اولیه استراتژیک در نظر می‌گیریم. مخازن سدها به‌منظور تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت، کنترل سیلاب، تنظیم دبی رودخانه‌ها، تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، گردش و تفریح و بسیاری از موارد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به موارد ذکر شده و در نظر گرفتن بحران کمبود آب در ایران، ضروری است که اثرات و پیامدهای تغییرات اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب به‌صورت جدی مورد بررسی قرار گیرد. پیش‌بینی و بررسی تغییرات کیفی و کمی منابع آب در سال‌های آتی می‌تواند مشکلاتی همچون سیلاب‌های ناگهانی، خشک‌سالی، تبخیر زیاد و کاهش کیفیت منابع آب و مشکلاتی از این دست را حل کند.

کلمه کلیدی: تغییر اقلیم، محیط زیست، ذخایر آبی، گازهای گلخانه‌ای

۱- مقدمه

حجم آب های موجود در کره زمین، رقمی در حدود ۱۳۶۰ میلیون

کیلومتر مکعب برآورده شده است. از این میزان به صورت تقریبی سهم آب های شیرین موجود در رودها، دریاچه ها و دریاها ۲۵۰ هزار کیلومتر مکعب یا به عبارت دیگر تنها دوصدم درصد است. به علاوه این مقدار کم نیز در تمام کشورها به صورت یکنواخت توزیع نشده است. از دیرین تا به امروز نقش حیاتی آب نه تنها در زندگی فردی انسان ها، بلکه در زمینه های گسترده اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جوامع بر همگان آشکار شده است. محدودیت منابع آبی در کنار نیاز ضروری به این ماده حیاتی اهمیت مدیریت و برنامه ریزی منابع آبی را چندین برابر نموده است [۱]. رشد و توسعه صنایع و کارخانه ها از یک طرف و تخریب محیط زیست از سوی دیگر منجر به افزایش روزافزون گازهای گلخانه ای در سطح کره زمین طی دهه های اخیر شده است. افزایش شاخص های بیشینه آب و هواشناسی، کاهش پوشش یخ، بالا آمدن سطح دریاها و تغییر سیستم های بیوژئوفیزیکی از شواهد مختلف تغییر اقلیم در سراسر جهان هستند که به چشم می خورد [۲، ۳]. بیشتر کشورهای جهان بر پایه آمار سازمان شورای جهانی آب تا سال ۲۰۵۰ میلادی برای تأمین آب شرب با مشکل مواجه خواهند شد. به علاوه گرمایش زمین و تغییرات جوی برای کشورهای دارای منابع آبی ثروتمند نیز تهدیدی بزرگ به شمار می آید [۴]. کشور ایران که در ناحیه آب و هوایی خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد؛ تغییرات بارندگی و وقوع خشکسالی از ویژگی های اجتناب ناپذیر و زیان بار اقلیمی آن محسوب می شود [۵]. شناخت میزان و عوامل این تغییرپذیری، نقش قابل توجهی در پیش بینی ها و برنامه ریزی های دقیق اقتصادی و محیطی دارد. بررسی های مرتبط به مسئله تغییر اقلیم، نشان دهنده بروز افزایش در میانگین دمای هوا و پهنه های آبی، ذوب یخ و برف و افزایش میانگین جهانی سطح آب می باشد [۶]. به منظور مدیریت کیفیت آب در مخازن سدها، شناخت پدیده هایی که در آن رخ می دهد ضروری است زیرا سدها از مهم ترین سازه های تأمین کننده آب آشامیدنی می باشند و افزون بر این ایجاد یک سد به توسعه و پیشرفت شهرنشینی، کشاورزی و صنعت بالادست سد منجر می شود که احتمال آلودگی، کاهش کیفیت آب را افزایش می دهد. همچنین عوامل انسانی عامل مهمی بر کیفیت آب دریاچه ها و سدها به طور گسترده شناخته شده است. تغییرات اقلیمی به صورت مستقیم در توزیع دمای دریاچه و سد، بار مغذی، وضعیت شیمیایی آب و فراوانی فیتوپلانکتون ها

را به دنبال دارد و از جهت رابطه قوی بین رژیم حرارتی، تغذیه گرایی و غلظت اکسیژن محلول در شناسایی کیفیت آب برقرار است.

۱-۳- ضرورت و اهمیت پژوهش

ارزیابی و پیش بینی تغییرات بخش های مختلف محیط زیست مانند کشاورزی، هوا و مدیریت منابع آبی در اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی اهمیت بسیاری دارد. پدیده تغییر اقلیم بر تمامی مؤلفه های هواشناسی و هیدرولوژیکی و همچنین کیفیت آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند کشور ایران تأثیرگذار است. گرم شدن هوای برآمده از تغییر اقلیم به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، بر کیفیت منابع آبی تأثیر می گذارد. از جمله این اثرات می توان به تغییر در چرخه مواد مغذی در سیستم های آبی و شکوفایی جلبک ها، انتشار پاتوژن ها در آب و وقوع شرایط باکتریولوژیکی، افزایش تکثیر باکتری های معدنی کننده نیتروژن و کنترل کننده های فرآیند نیتریفیکاسیون در خاک، کاهش تشکیل شدن یخ و افزایش مقدار کلروفیل به دلیل افزایش تعداد فیتوپلانکتون ها نام برد [۸، ۱۳، ۱۴]. با تغییر الگو بارش و دما در آینده، میزان رواناب ورودی از حوضه آبریز به مخزن سد نیز دچار تغییراتی می شود. به عنوان مثال در زمان و شرایط پراپی، میزان بار مواد مغذی بیشتری به همراه رواناب وارد مخزن می شود که شرایط تغذیه گرایی در مخزن را بحرانی تر می کند. در یک جمع بندی، پیش بینی می شود با توجه به اثر تغییر اقلیم که با تغییر در پدیده الگوی بارش و افزایش دما همراه بود، شرایط تغذیه گرایی و الگو لایه بندی حرارتی در مخزن سد تغییر یابد که این موارد، کیفیت آب را در مخزن سد تحت تأثیر قرار خواهد داد. با توجه به موارد ذکر شده و در نظر گرفتن بحران کمبود آب در ایران، ضروری است که اثرات و پیامدهای تغییرات اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب به صورت جدی مورد بررسی قرار گیرد. پیش بینی و بررسی تغییرات کیفی و کمی منابع آب در سال های آتی می تواند مشکلاتی همچون سیلاب های ناگهانی، خشکسالی، تبخیر زیاد و کاهش کیفیت منابع آب و مشکلاتی از این دست را حل کند.

۲- ادبیات فنی موضوع

۱-۲- مقدمه

فرآیند گسترش صنایع و افزایش به کارگیری سوخت های فسیلی به طور کلی منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه ای شده است. افزایش این گازها منجر به افزایش دمای کره زمین می شود که به عنوان پدیده گرمایش زمین شناخته می شود. برای اطمینان از دسترسی به منابع آب، یکی از نیازمندی های اساسی بشر در طول تاریخ، مطالعات و تحقیقات گسترده در این زمینه انجام شده است. به همین علت، شناسایی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب، گام اصلی در مدیریت و بهره برداری منابع آب شناخته شده است. در این فصل، ابتدا به تعاریف و مبانی تئوری اصلی پرداخته می شود در نهایت، جمع بندی این مطالعات ارائه می شود.

۲-۲- مفهوم اقلیم و تغییرات آن

اقلیم^۱، شرایط جوی حاکم یک ناحیه طی یک دوره زمانی درازمدت

اثر می گذارد [۷]. به دلیل تأثیرات مستقیمی که تغییرات آب وهوایی بر روی دریاچه ها و سدها می گذارند، اندازه گیری میزان حساسیت آنها از تغییرات احتمالی آب و هوا، اطلاعاتی را برای ارزیابی کیفیت آب، منابع آب و اکوسیستم های آبی در آینده ارائه می دهد [۸]. مشاهدات نشان می دهد که افزایش دمای آب دریاچه ها و مخازن برآمده از تغییرات آب وهوایی است. عدم توجه به این اثرات زیست محیطی در مخازن، منجر به اثرات نامطلوبی بر محیط زیست منطقه می شود. ایجاد شرایط نامطلوب بر اکسیژن محلول، پدیده تغذیه گرایی و لایه بندی حرارتی مخزن از تأثیرات نامطلوب تغییر اقلیم می باشند [۶].

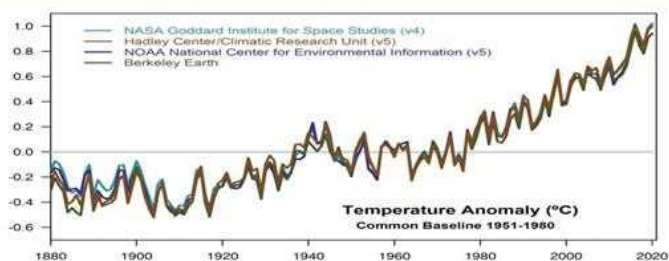
۱-۲- تعریف مسئله

اقلیم کره زمین در طول تاریخ همواره در حال تغییر بوده، اما با توجه به صنعتی شدن، تغییرات اقلیمی افزایش پیدا کرده است. این شرایط به طور عمده به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه ای، جنگل زدایی و بیابان زایی، شهرنشینی و غیره است [۹]. مهم ترین شاخص برای سنجش کیفیت آب، وضعیت دمایی آن است، زیرا که نقش مهمی در کنترل سایر متغیرها و پارامترهای کیفی دارد، دما به طور کلی کنترل کننده بسیاری از فرآیندهای بوم شناختی و شیمیایی در دریاچه ها، مخازن و رودخانه ها است. مخازن و دریاچه ها از در دسته منابع آب سطحی هستند که به دلیل جریان انتقالی آرام موجود در این منابع، پدیده لایه بندی حرارتی در این نوع بدنه های آبی بسیار متداول و شایع است. در مدل های کیفی هم از نظر تأثیرپذیری مستقیم دما بر سرعت واکنش های شیمیایی و هم از نظر تعادل گرمایی و اختلاط در پیکره های آبی شیرین نیز حائز اهمیت است [۱۰]. یکی از عوامل مهم دیگر که برای حیات همه آبزیان ساکن در پیکره آبی اکسیژن محلول است. افزایش مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر موجود در آب علاوه بر تقویت رشد جلبک و سایر گیاهان در دریاچه، منجر به پدیده تغذیه گرایی می شود. با افزایش گیاهان آبی و جلبک، مقدار اکسیژن در کف دریاچه کاهش می یابد که زیستگاه آبزیان از جمله ماهی ها را که برای زنده ماندن به اکسیژن نیاز دارند، تهدید می کند [۱۱]. تحقیقات و بررسی بر روی مباحث کیفی منابع آب از اواسط دهه ۱۹۶۰ مورد توجه دانشمندان بوده است. محققین با به کارگیری مدل سازی ریاضی و با فرضیات ساده کننده ی شرایط واقعی، می توانند کیفیت آب را تخمین بزنند. از آنجا که مدل های ریاضی بسیار پیچیده است، ارائه روش های دقیق تحلیلی به کمک مدل های ریاضی بسیار دشوار یا غیرممکن خواهد بود. به این دلیل مدل سازی عددی از مجموعه های روش های حل تقریبی مدل ریاضی تشکیل شده است که کاربرد گسترده تری در حل مسائل واقعی پیدا کرده است. به علت پیچیدگی روابط حاکم بین پارامترهای کیفی و کمی در مدل های عددی در زمینه مطالعات کیفی و کمی منابع آب، هزینه کمتر نرم افزارهای مدل سازی که بر پایه معادلات عددی و قابلیت زیاد آنها در بخش تشخیص، ارزیابی، شبیه سازی و پیش بینی شرایط موجود و آینده، از این نرم افزارها به عنوان یک روش کارآمد و مناسب مورد استفاده محققین قرار می گیرد [۱۲]. لایه بندی حرارتی گاهی نیز منجر به افت فراوان کیفیت آب و تهدید حیات آبی اکوسیستم های موجود در دریاچه

طول چندین سال اخیر با تغییر در چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی همراه بوده است. این تغییرات شامل افزایش میزان بخار آب جوی، تغییر الگوهای بارندگی، کاهش گسترده پوشش یخ و کاهش برف و افزایش ذوب یخچال های طبیعی و تغییر در رطوبت خاک و رواناب است. تغییر در الگوی بارندگی به معنی تغییر در توزیع مکانی و مقدار بارندگی است که وابسته به مناطق مطالعاتی روند تغییرات این الگو متفاوت است [۲۲]. بر اساس شواهد تغییر اقلیم در مقیاس جهانی بر ساختار محیط زیست، به طور خلاصه به موارد زیر دسته بندی کرد [۱۹].

تغییر بارش^۴: به طور میانگین در مناطق نیم کره شمالی نزدیک به مدار استوا، میزان بارش از سال ۱۹۵۱ با قطعیت بالا افزایش پیدا کرده است. مشاهدات تغییرات در میزان شوری آب اقیانوس و دریاها نیز گواهی غیرمستقیم برای تغییر در چرخه آب جهانی ارائه می دهد. بر اساس مطالعات احتمال دارد که در آینده مناطقی با شوری زیاد و نرخ تبخیر سطحی قابل توجه، شورتر شود، در حالی که مناطقی با شوری کم که میزان بارش قابل توجهی داشته اند، از دهه ۱۹۵۰ درصد شوری آنها کمتر شده است [۱۹].

افزایش دما: هر یک از ۳ دهه گذشته به طور متوالی گرم تر از دهه قبل از سال ۱۸۵۰ بوده است. دوره ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۲ احتمالاً گرم ترین دوره ۳۰ ساله ۱۴۰۰ سال گذشته می باشد. یک روند خطی دمای جهانی را دوره ۱۸۸۰ الی ۲۰۱۲ با متوسط افزایش ۰/۸۵ درجه سانتی گراد تخمین می زند. شکل ۲، تغییرات دمای سالانه دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در سطح زمین که از میانگین گیری دما در سطح زمین و اقیانوس ها به دست آمده است [۱۹].



شکل (۲): روند تغییرات دمای سالانه در سطح زمین [۲۱]

افزایش خاصیت اسیدی اقیانوس ها: از ابتدای دوره صنعتی شدن جوامع، جذب گاز CO₂ در سطح اقیانوس ها منجر به اسیدی شدن آب سطح اقیانوس ها شده است. pH آب سطح اقیانوس به میزان ۰/۱ کاهش یافته است که برآمده از افزایش ۲۶ درصد خاصیت اسیدی آب اقیانوس است [۱۹].

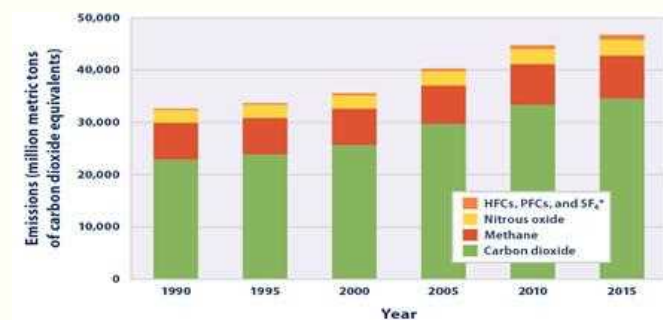
ذوب شدن یخچال های قطبی: در طول سال های ۱۹۹۲-۲۰۱۱، یخ های قطب جنوب و گرینلند و پوشش برف در نیم کره شمالی در فصل بهار با کاهش چشمگیری روبه رو بوده است و این کاهش در طول سال های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۱ با سرعت بیشتری ادامه می یابد [۱۹].

بالا آمدن سطح آب دریاها: طول دوره سال های ۱۹۰۱ الی ۲۰۱۰، میانگین سطح دریاها در جهان ۰/۱۹ متر افزایش یافت. از اواسط قرن نوزدهم، میزان افزایش سطح دریاها در طول دو هزار سال گذشته بیشتر

(ماه ها تا میلیون سال) است اما آب و هوا^۲ یک حالت نوسانی از اتمسفر اطراف ما می باشد که به وسیله باد، دما، بارندگی، ابرها و دیگر المان های جوی در یک زمان نسبی کوتاه (چند ساعت تا یک هفته) و در مقیاس ایستگاه های هواشناسی مشخص می شود. همان طور که در سازمان جهانی هواشناسی تعریف شده، دوره معمول میانگین گیری متغیرهای اقلیمی ۳۰ سال است. درواقع تفاوت اصلی این دو مفهوم در بعد زمانی بررسی رفتار جوی است [۱۸]. این تغییر و تحولات در مشخصه های اقلیمی عمدتاً در اثر فعالیت های بشری ایجاد می شود. درنتیجه این عدم تعادل آب و هوای کره زمین، پایداری اکوسیستم های زمین، پایداری اقتصاد جهانی آینده بشر را در معرض تهدید قرار می دهد [۳]. از ابتدای دهه ۱۹۵۰، تغییرات شدیدی در اقلیم کره زمین ایجاد شد. تغییر در غلظت ذرات معلق، گازهای گلخانه ای، پوشش زمین و تابش خورشیدی از عوامل بر هم زدن تعادل سیستم انرژی جو می باشد. تولید گازهای گلخانه ای جهانی با توجه به فعالیت های بشری برآمده از تولید صنعتی در حال افزایش است. شناخت هر چه بیشتر چگونگی رخدادهای اقلیمی با توجه به اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیطی کره زمین و حیات دارد، ضرورتی است [۱۹].

۳-۲- علل تغییر اقلیم

نگرانی های تغییر و تحولات آب و هوایی جهانی برآمده از رشد صنایع و سوزاندن گازهای فسیلی و هر فعالیتی که باعث افزایش غلظت ذرات معلق و گازهای گلخانه ای در جو طی سال های اخیر افزایش یافته است. گازهای گلخانه ای به طور عمده نیتروژن دی اکسید (NO₂)، دی اکسیدکربن (CO₂)، متان (CH₄) و کلروفلوروکربن ها (CFC) هستند. این نوع گازها موجب بر هم زدن تعادل گرمایی زمین با محبوس کردن اشعه ها با طول موج های بلند خورشیدی در جو کره زمین می شود که این پدیده به طور محاوره ای تحت عنوان اثر گلخانه ای^۳ شناخته شده است. اثر گلخانه ای در سال ۱۹۸۸ پس از عبور سال های گرم غیرمنتظره نسبت به سال های پیش توجه زیادی را به خود جلب کرد [۲۰]. شکل ۱ میزان افزایش انتشار گازهای گلخانه ای مهم را در طی سال های ۲۰۰۵-۱۹۹۰ میلادی نشان می دهد.

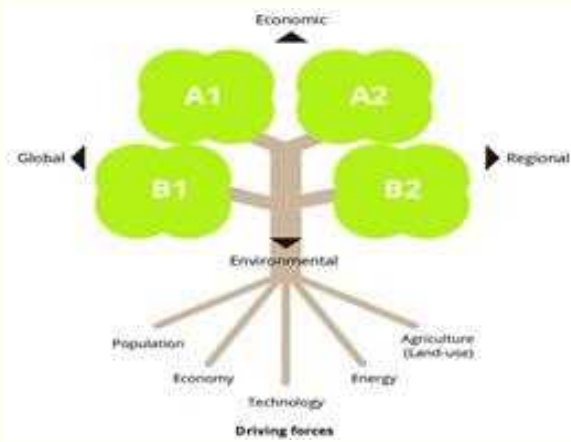


شکل (۱): میزان انتشار جهانی گازهای گلخانه ای مهم بین سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ میلادی [۲۱]

۴-۲- مشاهدات و اثرات تغییر اقلیم

گرم شدن کره زمین و افزایش انتشار گازهای گلخانه ای در

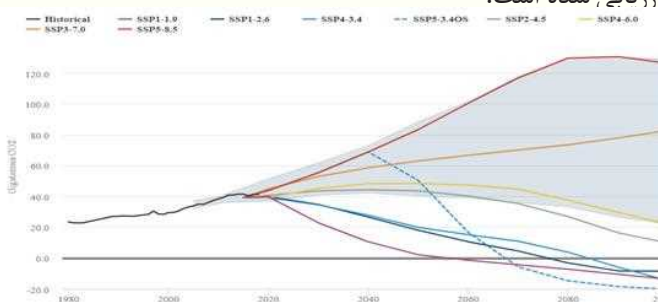
- 2 Weather
- 3 Greenhouse effect



شکل (۳): شماتیک وضعیت گروه های سناریو SRES [۲۶]

۱-۱-۵-۲- سناریوهای SSP

مدل های آب و هوایی یکی از اصلی ترین ابزارهایی است که دانشمندان می توانند تشخیص بدهند چگونه آب و هوا در گذشته تغییر کرده و ممکن است در آینده تغییر کند. این مدل ها به طور مکرر در حال به روز شدن هستند، زیرا گروه های مختلف مدل سازی در سراسر جهان از وضوح مکانی بالاتر، چرخه های بیوشیمیایی و فرایندهای فیزیکی جدید استفاده می کنند. این گروه ها مدل سازی به روزرسانی خود را در برنامه گزارش ارزیابی پانل بین دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC) منتشر می کنند [۲۷]. در گزارش ارزیابی پنجم IPCC (AR5) مدل آب و هوایی CMIP5^۹ ارائه شده است، درحالی که گزارش ارزیابی ششم IPCC (AR6) که در سال ۲۰۲۱ توسط محققین منتشر شده است، مدل های پیشرفته جدید CIMP6 را ارائه می کند که از نظر تعداد گروه های مدل کننده، مقدار سناریوهای آینده مورد بررسی و تعداد آزمایش های مختلف انجام شده، یک گسترش قابل توجه نسبت به CIMP6 را نشان می دهد که شامل ۱۰۰ مدل متنوع آب و هوایی است که در ۴۹ گروه مختلف مدل سازی تولید شده است [۲۸]. IPCC AR5 دارای ۴ مسیر غلظت نماینده RCP است که انتشار گازهای گلخانه ای احتمالی مختلفی را در آینده بررسی می کند. این سناریوها RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 دارای نسخه جدید در CIMP6 هستند که نسخه های جدید و به روز شده SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0 و SSP5-8.5 نام گذاری شده اند [۲۸]. همچنین تعدادی سناریو جدید در CIMP6 نسبت به CIMP5 ارائه شده است تا مدل های بیشتری از آینده را برای شبیه سازی دانشمندان ارائه دهد. این سناریوها در شکل ۴ به نمایش درآمده است که نشان می دهد انتشار سالانه CO2 در هر سناریو تا سال ۲۱۰۰ چگونه ارزیابی شده است.



شکل (۴): سناریوهای آینده انتشار CO2 در CIMP6 و انتشار CO2 گذشته به رنگ سیاه [۲۸]

بوده است. متخصصان اقلیم از سالیان پیشین شروع به یافتن رابطه تغییرات حوادث حدى و تأثیرات انسانی و همچنین شناخت اثر تغییر این وقایع بر سیستم اقلیم جهانی کردند [۲۳]. تأثیر بر سیستم های هیدرولوژیکی از نظر کیفیت و کمیت بر منابع آب، جنبه های مختلف زندگی اکوسیستم های آبی و زندگی انسان می توان از زمینه آثار تغییر اقلیم شمارید.

۵-۲- سناریوهای اقلیمی و غیر اقلیمی (سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای)

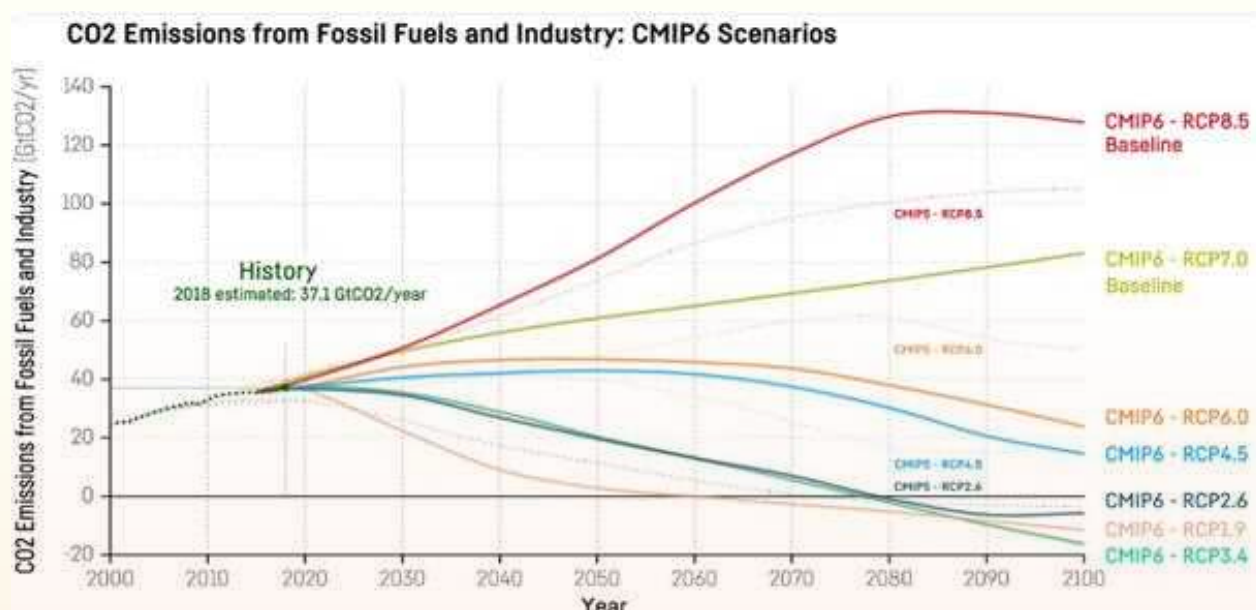
هرگونه تغییر در مقدار غلظت گازهای گلخانه ای در جو کره زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزای سیستم، اقلیم کره زمین می گردد؛ اما اینکه چه مقدار از این گازها در آینده در اتمسفر زمین باقی می ماند و چه قدر خواهد شد و به تبع آن، چه شرایطی را برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، قطعی و معین نیست؛ بنابراین متخصصان اقلیم با عدم قطعیت و احتمال، سناریوهایی را برای مطالعات و پیش بینی های اقلیم آینده ارائه می کنند. این سناریوها در دو قسمت سناریوهای اقلیمی و غیراقلیمی قابل تفکیک هستند که در ادامه شرح بیشتری از این سناریوها ارائه می شود [۲۴].

۱-۵-۲- سناریوهای غیر اقلیمی

از عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه ای می توان به افزایش فعالیت های اقتصادی جامعه و متعاقب آن رشد کارخانه ها و صنایع و تغییرات کاربری اراضی نام برد. از این رو برای برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه ای در دوره آینده، نیاز است تا در ابتدا وضعیت اجتماعی و اقتصادی کره زمین در سال های آتی بررسی گردد. به طور کلی یک سناریوی غیراقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اجتماعی، اقتصادی و میزان انتشار گازهای گلخانه ای در جو کره زمین است که همچنین به آن سناریو انتشار^۶ گفته می شود. هیئت بین الدول تغییر اقلیم وظیفه شناخت تمام جنبه های پدیده تغییر اقلیم در ابعاد جهانی است و سری اولیه سناریوهای انتشار را در سال ۱۹۹۲ میلادی با نام IS۹۲ منتشر کرده است. در تمامی این سناریوها میزان گازهای گلخانه ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش یافته است [۲۵]. در سال ۱۹۹۶ میلادی، IPCC^۷ سناریوهای انتشار را برای به روزرسانی و جایگزین کردن سناریوهای IS۹۲ با نام SRES^۸ ارائه کرد. روی هم رفته ۴۰ سناریو مختلف SRES که دربرگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت بشر در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه ای و ذرات معلق است. شکل ۳ وضعیت ۴ گروه از سناریوهای SRES را نشان می دهد [۲۵].

- 5 Non-climatic Scenarios
- 6 Non-climatic Scenarios
- 7 Intergovernmental Panel on Climate Change
- 8 special Report on Emissions

CIMP6 سناریو جدید 7.0-SSP3 را ارائه کرده است که درست میان دامنه نتایج پایه مدل سازی شده توسط مدل های سیستم انرژی قرار دارد. اکنون محققین می توانند بدترین حالت (SSP5-8.5)، حالت متوسط (SSP3-7.0) و حالت خوش بینانه تر (SSP4-6.0) را هنگام مدل کردن نحوه گرم شدن جهانی بررسی کنند [۲۸]. یک سناریو جدید دیگر 3.4-SSP4 است که تلاش دارد فضای بین سناریوهایی را که به طور کلی گرمایش را به زیر 2 درجه سانتی گراد (RCP2.6/SSP1-2.6) و حدود 3 درجه سانتی گراد (RCP4.5 / SSP2-4.5) تا سال ۲۱۰۰ میلادی محدود می کند را کشف کند [۲۸]. سناریو 3.4-SSP5 OS یک سناریو اغراق آمیز است که در آن، انتشارات گازهای گلخانه ای تا سال ۲۰۴۰ بدترین مسیر 8.5-SSP5 را دنبال می کنند و پس از آن با به کارگیری انتشار منفی این گازها در اواخر قرن بسیار سریع کاهش می یابد. در انتها 1.9-SSP1 سناریو ای است که قصد دارد گرمایش زمین را به زیر ۱/۵ درجه سانتی گراد تا سال ۲۱۰۰ میلادی محدود کند. این سناریو پس از توافق نامه پاریس هنگامی که کشورها توافق کردند، تلاش و کوشش برای افزایش دمای آبی تا ۱/۵ درجه سانتی گراد را دنبال کنند، اضافه شد. شکل ۵ انتشار CO2 را در سناریوهای RCP و SSP مقایسه می کند.



شکل (۵): سناریوهای انتشار CO2 در CIMP5 و نمونه های CIMP6 آنها و همچنین انتشار CO2 تاریخی [۲۸]

دلایل مختلفی برای این میزان اختلاف وجود دارد. سناریوهای جدید SSP از سال ۲۰۱۴ آغاز می شود، در حالی که RCPهای قدیمی از سال ۲۰۰۷ شروع می شوند. سناریو 2.6-SSP1 کاهش تدریجی انتشار نسبت به RCP2.6 و نقطه آغاز بالاتر را نشان می دهد که نشان دهنده مقداری از انتشار سال ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۴ میلادی است که در سناریو RCP2.6 بسیار بالاتر از حد انتظار بوده است. همچنین SSP4-4.5 نسبت به RCP4.5 نقطه آغاز بالاتر و کاهش کندتری نسبت به دوره قبل را نشان می دهد و SSP4-6.0 به طور کامل متفاوت از RCP6.0 است. با اوج گرفتن و کاهش انتشار CO2 پس از سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۸۰ کاهش می یابد و در انتها 8.5-SSP5 دارای انتشار CO2 قابل توجهی بالاتر از RCP8.5 می باشد [۲۸].

۲-۵-۲- سناریوهای اقلیمی^{۱۰}

با توجه به مطالبی که در قسمت های قبلی ذکر شد، اطمینان بسیاری بر افزایش غلظت گازهای اتمسفر و با توجه به آن، افزایش میانگین دمای سطحی اتمسفر کره زمین در دوره های آینده در بین دانشمندان وجود دارد ولی چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاس ناحیه ای به طور صریح مشخص نیست؛ لذا چون پیش بینی وضعیت اقلیم ناحیه ای تحت پدیده تغییر اقلیم دشوار می باشد و راه جایگزین، مشخص کردن وضعیت های ممکن آینده بوده که سناریو اقلیمی نامیده می شود؛ اما باید توجه داشت که یک سناریو اقلیمی پیش بینی کننده آب و هوا نیست. هم اکنون از روش های متنوعی برای تولید سناریوهای اقلیمی در دوره آینده استفاده شده که ساده ترین آنها تولید سناریوهای مصنوعی^{۱۱} می باشد. در این سناریوهای متغیرهای اقلیمی به صورت دلخواه مورد افزایش یا کاهش قرار می گیرد [۲۹، ۳۰].

به کارگیری داده های پیشین متغیر اقلیمی منطقه مورد مطالعه روش دیگر در تولید سناریوهای اقلیمی است که در این روش تولید سناریوهای اقلیمی با به کارگیری روند داده های اقلیمی مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه از گذشته تاکنون استفاده می شود. در این روش، روند پردازش شده برای هریک از متغیرهای اقلیمی با به کارگیری روش های آماری امتداد داده شده و متغیرهای مورد نظر، برای دوره های آینده شبیه سازی می گردد. ضعف عمده ی این روش تکیه بر روند تجربه شده در داده های پیشین است. بر پایه پژوهشی انجام شده روند مشاهداتی در دوره آماری منطقه ای، می تواند قسمتی از سیکل های بلندمدت تغییرات داخلی سیستم اقلیم منطقه باشند؛ لذا امتداد روند برای دوره های آینده، لزوماً بیانگر وضعیت آن متغیر، تحت تأثیر

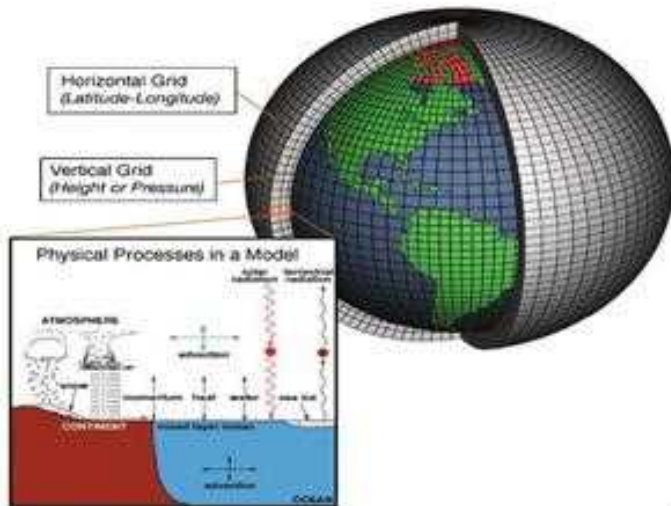
10 Climatic Scenario

11 Synthetic Scenario

تغییرات اقلیم نیست [۳۱]. هم اکنون، معتبرترین و کارآمدترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو AOGCM می باشد [۳۲].

۶-۲- مدل های گردش عمومی

مدل های گردش عمومی GCM^{۱۲} یا همان AOGCM^{۱۳} بر اساس روابط ریاضی و حل در یک شبکه سه بعدی که شامل تمامی کره زمین می باشد؛ توسعه یافته اند. مدل سازی اقلیمی به دنبال همانندسازی فرایندهای اقلیمی و پیش بینی روابط متقابل آنها با یکدیگر بوده و این کار از طریق حل معادلات عددی در لایه های مختلف انجام شده. به طور کلی GCMها در سه مورد پیش بینی هوا، درک اقلیم و بررسی تغییرات اقلیم از طریق مدل سازی کاربرد دارند. مدل های جفت شده گردش عمومی جو یک نمایش ریاضی پیچیده از مؤلفه های اساسی سیستم های آب و هوا (سطح زمین، جو، اقیانوس و یخ دریا) و تعامل آنها می باشد. تعادل انرژی زمین بین این ۴ مؤلفه، پایه پیش بینی درازمدت آب و هوا است، با به کارگیری معادلات حاکم بر هرکدام از این گروه مؤلفه ها، متغیرهای اقلیمی آتی در مقیاس جهانی به دست می آید [۳۳]. در شکل ۶ شماتیکی از مدل های گردش عمومی جو آمده است.



شکل (۶): شماتیک مدل های گردش عمومی جو [۳۴]

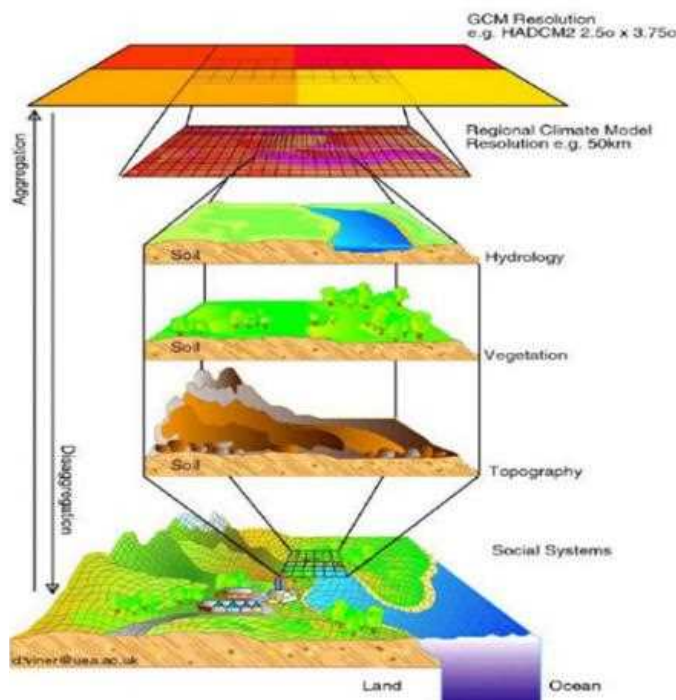
۶-۲-۱ مدل گردش عمومی CanESM5^{۱۴}

CanESM5 پنجمین مدل ورژن مدل سیستم زمینی از نسل چهارم مدل های آب و هوایی است. این مدل از یک مدل های گردش عمومی هوا می باشد که توسط مرکز مدل سازی و تحلیل آب و هوای کانادا CCCma^{۱۵} زیر نظر سازمان محیط زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل، کل سطح زمین به صورت سلول های ۱۲۸ در ۶۴ شبکه بندی شده است که هرکدام از این سلول ها حدود ۲/۸۱۲۵ درجه را پوشش می دهد که بر اساس آنها پارامترهای اقلیمی در دوره های زمانی قابل تعیین از سوی کاربر و با سناریوهای انتشار مختلف قابل تولید و محاسبه برای هر نقطه بر روی کره زمین می باشند. یکی از بزرگ ترین اشکال یا محدودیتی که برای مدل های اقلیمی وجود دارد، خروجی این مدل ها با گذشت زمان دقت خود را از دست می دهند؛ بنابراین این خروجی ها باید به طور مرتب به روزرسانی شوند و این عملیات با هزینه گزافی در برخی از کشورها انجام می شود. باوجود وب سایت های انبوه برای گردآوری داده های اقلیمی آینده در جدول ۱ شش پایگاه اطلاعاتی آورده شده است.

نام تجاری	نام مؤسسه	سال انتشار	آدرس سایت
CRU	Climatic Research Unit	۱۹۸۵	/http://www.cru.uea.ac.uk
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	۱۹۸۸	/http://ipcc.ch
PCMDI	Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison	۱۹۸۹	/http://www-pcmdi.llnl.gov
TYN	Tyndall Centre for Climate Change Research	۲۰۰۰	/http://www.tyndall.ac.uk
CCCSN	Canadian Climate Change Scenarios Network	۲۰۰۵	/http://www.cccsn.ec.gc.ca
CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	۲۰۱۵	/http://www.cccma.ec.gc.ca

جدول (۱): مشخصات پایگاه اطلاعاتی مدل های اقلیمی [۳۵]

- 12 Global Climate Model (GCM)
- 13 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
- 14 Canadian Earth System Model
- 15 The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis



شکل (۷): شماتیک ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی [۳۸]

این روش با توجه به روابط آماری بین پارامترهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی مانند بارش و دما در مقیاس ناحیه ای استوار است. ریزمقیاس نمایی آماری می تواند به مدل رگرسیونی^{۱۷}، تولیدکننده داده های آب و هوا استوکاستیک (مدل های تصادفی)^{۱۸} و روش بر پایه الگوی رفتار آب و هوا یا دسته بندی داده های هواشناسی^{۱۹} دسته بندی شود. روابط خطی و غیرخطی بین پارامترها در مقیاس ناحیه ای و متغیرهای پیش بینی کننده با وضوح پایین معمولاً به روش رگرسیون صورت می گیرد. ساده ترین روش، روش دلتا (CF^{۲۰}) است که در این روش تفاوت بین دوره شبیه سازی شده و آینده کنترل و به داده های مشاهداتی اعمال می شود [۳۹]. لذا، این روش می تواند به سرعت چندین مدل بزرگ مقیاس برای تولید سناریوهای اقلیمی اعمال شود اما باید توجه داشت که همچنین دارای نواقصی می باشد. این روش یک انحراف همیشگی و ثابت را با گذر زمان در نظر می گیرد و همچنین فقط می توانند به حداکثر، حداقل و متوسط متغیرهای اقلیمی اعمال شوند و نحوه تغییرپذیری نادیده گرفته می شود و فرض بر آن است که الگوی محلی اقلیم ثابت باقی خواهد ماند [۴۰].

۱-۲-۷-۱-۱ مدل های رگرسیونی

این روش از اولین روش های ریزمقیاس نمایی است که در این روش، هدف به دست آوردن رابطه مناسب بین پارامترهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای اقلیمی ریزمقیاس (مقیاس ناحیه ای یا حوضه و...) است. ساده ترین روش استفاده از تکنیک درون یابی می باشد که اولین بار در زمینه تغییر اقلیم توسط کیم و همکاران در سال ۱۹۴۸ میلادی استفاده شد [۴۱]. کیم بین میانگین داده های ماهانه بارندگی و درجه حرارت و

مرکز مدل سازی و آنالیز اقلیم کانادا CCCma تغییرات اقلیمی را با به کارگیری مدل های رایانه ای سیستم جوی، آب و هوای در مقیاس جهانی در بازه های زمانی فصلی تا صدسال را با توجه به سناریوهای گازهای گلخانه ای و آتروسول پیش بینی و شبیه سازی کرده است.

۲-۶-۲-۲ مجموعه داده های واکاوی NCEP^{۱۶}

مجموعه داده های واکاوی NCEP یا NCAR مجموعه ای از داده ها است که حاصل همکاری مراکز پیش بینی محیط زیست و پژوهشگاه جوی باهدف آنالیز جوی جدید با به کارگیری داده ای تاریخی و همچنین تولید موشکافی وضعیت جو فعلی می باشد. بدین منظور از بهترین و پیشرفته ترین سیستم های موشکافی و همچنین پیش بینی برای گردآوری داده ها با به کارگیری داده های پیشین از سال ۱۹۸۴ تاکنون انجام شده است. این داده ها دارای وضوح مکانی ۲/۵ درجه و وضوح زمانی ۶ ساعته، وضعیت اقلیمی زمین را نشان می دهد. داده های واکاوی، ترکیبی از داده ای مدل سازی و مشاهداتی شده می باشند که تفاوت آنها نسبت به داده های مشاهداتی در این است که داده های مشاهداتی نقطه ای هستند ولی داده های واکاوی به صورت شبکه ای می باشند از این داده ها زمانی برای مدل سازی استفاده می شوند که منطقه مورد مطالعه، فاقد داده یا شبکه ایستگاه ها دارای تراکم کمی باشد [۳۶].

۲-۷-۲-۲ ریزمقیاس نمایی

یکی از مشکلات اصلی در استفاده از خروجی های مدل AOGCM در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آنها، نسبت به منطقه ی مورد مطالعه است. شبکه بندی این مدل ها همچنین برای کاربرد در مناطق کوهستانی و شبیه سازی پارامترهای اقلیمی نظیر دما و بارش مناسب نمی باشند، زیرا مدل ها نمی توانند ویژگی های خرده شبکه محلی و دینامیکی را نشان دهند. از جهت دیگر خروجی این مدل ها با مقیاس شبکه بندی بزرگ نمی توانند تأثیرات اقلیمی را در سطوح ناحیه ای و محلی شناسایی کنند [۳۷]. روش های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه ای از سناریوهای اقلیمی از مدل ها وجود دارد که به این روش ها ریزمقیاس نمایی گفته می شود. جزئیات بیشتری با به کارگیری ریزمقیاس نمایی از مدل نمایان می شود. از این رو برای ارزیابی تأثیر تغییر پارامترهای هواشناسی مانند بارش و دما بر روی هیدرولوژی و سیستم های منابع آب باید خروجی های GCM ریزمقیاس شوند. روش ریزمقیاس نمایی، روشی است که وضوح GCM را افزایش می دهد تا آب و هوای سطحی در مقیاس ناحیه ای، برای کاربردهای مختلف به دست آید. دو روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری معروف ترین روش های ریزمقیاس نمایی هستند که در تحقیقات مختلف به کار گرفته شده اند [۳۸]. در شکل ۷ شماتیکی از ریزمقیاس نمایی خروجی های مدل های گردش عمومی نشان داده شده است [۳۸].

۱-۲-۷-۲-۲ ریزمقیاس نمایی آماری

- 17 Regression models
- 18 Stochastic Weather Generators
- 19 Weather Pattern based Approach
- 20 Change Factor

خروجی های پیش بینی کننده با استفاده از رگرسیون خطی رابطه ای پیدا کرد. برگرد در سال ۱۹۹۶ میلادی روش مبسوط^{۲۱} که روش پیچیده تری می باشد را ارائه کرد که در این روش بین کواریانس متغیرهای محلی با واریانس متغیرهای GMC رابطه ای خطی برقرار شده است [۴۰]. روش ماشین بردار پشتیبان را نیز می توان جزو روش های رگرسیونی به حساب آورد به دلیل آنکه الگوریتم آن برای کار با مسائل رگرسیون توسعه یافته است [۴۲]. وان استورچ در سال ۱۹۹۳ میلادی در کشور اسپانیا رابطه ای رگرسیونی بین الگوهای فشار در سطح و بارش در زمستان پیدا کرد [۴۳]. در مطالعه ای مشابه، ویگلی و همکاران در سال ۱۹۹۰ میلادی بین بارندگی و درجه حرارت در یک ناحیه، الگوی فشار در تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل و الگوی فشار در تراز، رابطه رگرسیونی پیدا کرد [۴۴]. با کمی اختلاف، پیدا کردن رابطه ای بین یک پارامتر در مقیاس مکانی مختلف نیز جزء روش ریزمقیاس نمایی رگرسیونی است. برای نمونه کاربونه و برامانته در سال ۱۹۹۵ میلادی بین میانگین مکانی ماهانه درجه حرارت حداکثر و حداقل در یک منطقه و همین پارامتر در چندین ایستگاه در جنوب شرقی کشور آمریکا، رابطه ای رگرسیونی پیدا کردند [۴۵]. در سال ۲۰۰۲ میلادی، ویلی و همکاران اولین مدلی رایانه ای را برای ریزمقیاس نمایی با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به نام SDSM ارائه کردند. آنها کاربرد این مدل را در ساخت سناریوهای دما و بارش روزانه برای شهر تورنتو در کانادا و در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نشان دادند [۱۵].

۲-۷-۱-۲- مدل های تصادفی

عملکرد ریزمقیاس نمایی تصادفی یا استوکاستیک، به طور معمول شامل تعیین و بهینه سازی پارامترهای مدل های تولید داده اقلیمی نظیر WGEN، LARS-WG و EARWIG می باشد. مدل WGEN از زنجیر مارکوف درجه اول دوفازی برای ریزمقیاس نمایی استفاده می کند. سناریوهای تغییر اقلیم استوکاستیک با استفاده از پارامترهای تعیین شده در مرحله آموزش و استفاده از خروجی GCM تولید می شوند. اصلی ترین مزیت این روش توانایی خوب آن در مولدسازی بسیاری از متغیرهای اقلیمی مشاهداتی می باشد. LARS-WG برای شبیه سازی داده های آب و هوا در یک محل مشخص تحت شرایط اقلیمی حال و آینده به کار می رود [۴۶، ۴۷].

هوشیار و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی تغییرات دمای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزمقیاس گردانی آماری خروجی مدل CanESM2 پرداختند [۴۸]. وطنی و همکاران در سال ۱۳۹۶ تأثیرات تغییر اقلیم بر رواناب خروجی رودخانه سرد رود در استان آذربایجان شرقی با استفاده از ابزار داده کاوی پرداخت. برای پیش بینی تغییر اقلیم بر پایه مدل های گردش عمومی جو از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده [۴۹]. شهیدی و همکاران در سال ۱۳۹۷ بررسی عملکرد ANN و SVM در ریزمقیاس نمایی بارش روزانه مشاهداتی بین سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ در شهرستان بیرجند با مقادیر ۲۶ متغیر پیش بینی کننده از خروجی مدل-گردش عمومی CanESM2 در گزارش پنجم، برای مدت مشابه استفاده شد [۵۰].

یکی از متداول ترین روش ها برای ریزمقیاس نمایی استفاده از

توابع است. این روش بر پایه روابط کمی و روش رگرسیونی بین متغیرهای بزرگ مقیاس (پیش بینی کننده) و متغیرهای مشاهداتی در مقیاس مدنظر (پیش بینی شوند) می باشد [۵۱]. ماشین بردار پشتیبان یکی از روش های رگرسیونی است که به منظور بررسی ارتباط و روابط حاکم بین متغیرهای پیش بینی کننده و پیش بینی شوند به کار می رود. در ادامه چند نمونه از تحقیقات گذشته که کارا بودن این مدل را ارائه کرده اند؛ آورده شده است.

امیرآبادی و همکاران در سال ۱۳۹۷ شمسی به بررسی روش های رگرسیونی و هوش مصنوعی در شبیه سازی مقادیر روزانه پرداختند. در این تحقیق مدل های رگرسیون چند متغیره، ANFIS، ANN^{۲۲}، GP، SVM و SVR برای ریزمقیاس نمایی مقادیر میانگین دمای روزانه ایستگاه هواشناسی ارومیه با استفاده از ۲۶ پارامتر پیش بینی کننده منتج از گزارش پنجم IPCC مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. مقادیر دمای میانگین روزانه ایستگاه موردبررسی از تاریخ ۱۲ مارس سال ۱۹۶۱ میلادی تا تاریخ ۲۰ دسامبر ۲۰۰۵ انتخاب شد. برای بررسی مقادیر خطای برآمده از مدل سازی از ۳ معیار کارایی مدل، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین استفاده شد. نتایج بررسی میزان و دقت خطای مدل ها نشان داد که در بین مدل های هوشمند، مدل برنامه ریزی ژنتیک (GP) کمترین مقدار خطا را داشته و در بین مدل های رگرسیون (رگرسیون چندمتغیره و رگرسیون پشتیبان) روش رگرسیون بردار پشتیبان، کمترین خطا و بیشترین میزان دقت را در شبیه سازی مقادیر دمای روزانه ایستگاه ارومیه داشت. به طور کلی نتیجه شبیه سازی مقادیر میانگین دما روزانه نشان می دهد که روش های رگرسیونی نسبت به روش های هوشمند دقیق تر است [۵۲].

چن و همکاران برای ریزمقیاس نمایی بارش روزانه از دو روش SVM و SDSM در حوضه آبریز هان جیانگ کشور چین نمودند. حوضه هانجیانگ با بارش سالانه ۹۰۰ میلی متر و میانگین درجه حرارت ۱۲- ۱۶ سانتی گراد در شمال غربی کشور چین قرار دارد. آنها در این مطالعه نیز خروجی دو مدل گردش عمومی CGCM^۳ و HadCM^۳ را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج نشان می دهد که عملکرد SVM نسبت به روش SDSM بهتر است [۵۳].

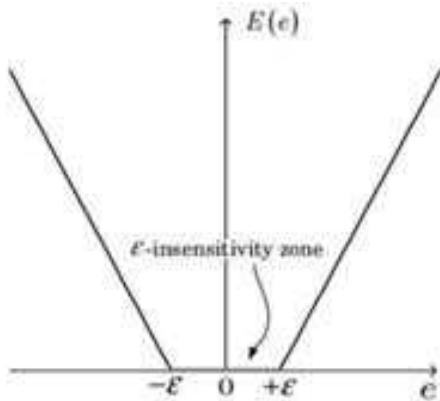
در تحقیقی دیگر داوون و میایی در سال ۲۰۰۴ میلادی اقدام به سنجش ۳ روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM، LARS-WG و SVM برای شبیه سازی بارندگی روزانه در اقلیم های متفاوت در کشور چین نمودند. آنها در این مطالعه از داده های اندازه گیری شده در ۳۱ ایستگاه در پهنه کشور چین استفاده نمودند. نتایج حاصل از مطالعه آنها نشان داد که هرکدام از این روش ها کارایی و دقت خاصی متناسب با نوع اقلیم دارد. در حالت کلی SDSM توانمندی بالاتری در اکثر ایستگاه ها داشت [۵۳].

حمیدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی درباره برتری روش SVM به بررسی توانمندی روش شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در ریزمقیاس نمایی بارش ماهانه پرداختند؛ به برتری قابل توجه SVM نسبت به ANN اشاره می کند [۳۰].

همچنین در مطالعاتی نظیر یون و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی و سیمن و کیسی در سال ۲۰۰۹ میلادی به بررسی توانمندی این دو روش

در عبارت فوق سیگما تابه هزینه واپنیک نام دارد و تابعی به شکل رابطه ۲ و نمودار شکل ۸ است.

$$|y - f(x)|_\varepsilon = \begin{cases} 0, & \text{if } |y - f(x)| \leq \varepsilon \\ |y - f(x)| - \varepsilon, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$



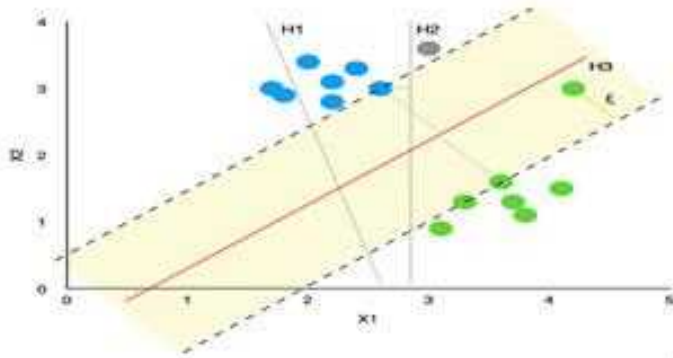
شکل (۸): تابع هزینه واپنیک [۵۷]

هدف ما پیدا کردن بردار W و مقدار اسکالر b به گونه ای است که شرایط رابطه ۳ را برآورد کنند.

$$J_P(W, \xi, \xi^*) = \frac{1}{2} W^T W + c \sum_{k=1}^N (\xi_k + \xi_k^*) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y_k - W^T x_k - b &\leq \varepsilon + \xi_k, & k &= 1, \dots, N \\ W^T x_k + b - y_k &\leq \varepsilon + \xi_k^*, & k &= 1, \dots, N \\ \xi_k, \xi_k^* &\geq 0, & k &= 1, \dots, N \end{aligned}$$

برای درک بهتر این مسئله بهینه سازی، کافی است به نمودار شکل ۹ توجه شود:



شکل (۹): رگرسیون بردار پشتیبان [۵۷]

مطابق این شکل در حالی که مقدار ε را باید ثابت در نظر بگیریم، مقدار حاشیه را باید تا جایی که امکان دارد افزایش بدهیم و در همان سان برش عرضی لوله مشخص شده در تصویر به گونه ای باشد که مقدار عرض برش آن در راستای محور y ها (مخور عمودی) از 2ε تجاوز نکند به بیان ساده، به دنبال لوله ای هستیم که تا جایی که ممکن است تمام داده ها را پوشش بدهد ولی برش عرضی آن در محور y ها از 2ε تجاوز نکند؛ در این حالت مسئله بهینه سازی پارامتر C بیانگر هزینه تخطی یا خارج کردن نمونه ها از داخل لوله است و مقادیر نویز در داده ها را نشان می دهد. این مسئله با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ قابل حل است که پس از انجام محاسبات لازم و ساده سازی روابط، دوگان مسئله فوق با استفاده از رابطه ۴ به دست خواهد آمد.

در سایر مطالعات هیدرولوژی پرداخته بودند، نیز به عملکرد بهتر روش SVM نسبت به ANN پی بردند [۵۴، ۵۵].

۲-۷-۲- ریزمقیاس نمایی دینامیکی

در روش دینامیکی معادلات حرکت هوا در شبکه های منظم افقی و قائم از عمق سطح زمین تا ارتفاع حدود استراتوسفر حل می شوند. این معادلات شامل معادله تکانه، قانون عمومی گازها، بقای جرم و قوانین شناوری و ترمودینامیک هستند. در یک روش دینامیک می توان در زمان محدودتر، از مدل های گردش عمومی با وضوح بالاتری استفاده شده یا در روشی دیگر، مدل گردش عمومی با دقت های متفاوت در سطح کره زمین اجرا گردد. به گونه ای که در سطح منطقه مورد مطالعه، دقت بهتر و بالاتری استفاده شود. همچنین در برخی از موارد، مدل های ناحیه ای با دقت بالا استفاده می شود، به گونه ای که خروجی های مدل چرخه عمومی به عنوان شرایط مرزی این مدل ها مورد استفاده قرار می گیرند. در روش دیگری، از خروجی های یک مدل ناحیه ای به عنوان شرایط مرزی مدل ناحیه ای دیگر با دقت بالاتر استفاده می شود. این مدل ها از نظر تئوری، همان روش های مدل اقلیمی را دنبال می کنند و تنها تفاوتی که میان آنها می باشد این است که از شبکه بندی کوچک تری استفاده می کنند. ریزمقیاس کردن به این روش ها نیازمند به سامانه های پردازشی پرسرعت و صرف وقت زیاد است. برای نمونه مدل سازی یک دوره ۱۰ ساله با کامپیوترهای معمولی حدود ۳ ماه وقت نیاز دارد. این روش نیز از رفتارهای اقلیمی دوره مشاهداتی بی نیاز بوده. شرط اصلی برقراری روابط یادشده بر روی نقاط شبکه محاسباتی است [۵۶].

۲-۷-۳- ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبانی یک روش یادگیری ماشینی نظارت شده است که می تواند برای حل مشکل رگرسیون و طبقه بندی استفاده شود. به طور کلی، از آن به عنوان یک طبقه بندی کننده استفاده می شود. در سال ۱۹۹۶، واپنیک و همکارانش، نسخه ای از SVM را پیشنهاد دادند که به جای طبقه بندی، عمل رگرسیون را انجام می دهد. این مورد به Support Vector Regression یا SVR معروف است [۵۷]. ماشین بردار پشتیبان یک سیستم یادگیری کارآمد بر پایه تئوری بهینه سازی مقید است که از اصل استقرار کمینه سازی خطای ساختاری استفاده کرده و منجر به یک جواب بهینه کلی می گردد به شرح مختصر روش در ادامه آمده است [۵۸]. فرض می کنیم مجموعه ای از داده ها به شکل $(x_i, y_i) 1 \leq i \leq l$ داریم که $y \in R$ و $R \neq \emptyset$ ؛ هر داده دارای n بعد است (یک بردار n بعدی است) و متناظر با هر یک از این داده ها یک مقدار اسکالر y نیز در اختیار داریم که ابتدایی ترین تابع برای برآورد را به صورت $f(x) = W^T x + b$ می نویسیم به طوری که رابطه بین داده های برداری x و مقدار خروجی y را به بهترین صورت و حداقل خطای ممکن تخمین بزند؛ هدف از این کار پایین آوردن تابع ریسک می باشد که در رابطه ۱ آمده است.

$$R_{emp} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y_k - W^T I_k - b|_c \quad (1)$$

$$\max_{J_D^{(a_1^*)}} = -\frac{1}{2} \sum_{K,i=1}^N (a_k - a_k^*) (a_i - a_i^*) X_k^T X_1 - \varepsilon \sum_{K=1}^N (a_k + a_k^*) + \sum_{K=1}^N y_K (a_k - a_k^*), \dots, N \quad (4)$$

به طوری که در رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\sum_{K=1}^N (a_k - a_k^*) = 0 \quad a_k a_k^* \in [0, c] \quad (5)$$

و در نهایت تابع تخمین گر به صورت رابطه (۶) درمی آید:

$$f(X) = \sum_{K=1}^N (a_k + a_k^*) X_k^T + b \quad (6)$$

که در آن a_i و a_i^* چند جمله لاگرانژ و جواب مسئله بهینه سازی هستند که حال اگر داده ها به صورت غیرخطی باشند می تواند از توابع کرنل به دست آوردن تابع تخمین گر استفاده کرد یعنی:

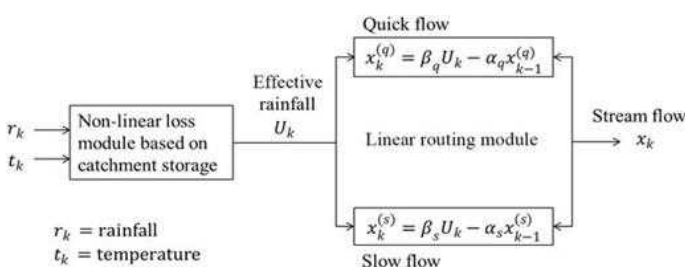
$$f(X) = \sum_{K=1}^N (a_k - a_k^*) k(x, x_k) + b \quad (7)$$

که در آن $k(X_i, X_j)$ یک تابع کرنل است و فضای ویژگی های بهترین راهکار مسئله بهینه سازی را تعریف می کند.

۲-۸- مدل بارش-رواناب IHACRES

تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوزه با به کارگیری دو مدل هیدرولوژی SIMYED و IHACRES پرداختند. در این تحقیق در ابتدا نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره سوء در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی با به کارگیری مدل HadCM3-A2 و روش کوچک مقیاس کردن آماری، مورد شبیه سازی قرار گرفت که نتایج به دست آمده حاکی از هماهنگی دو مدل در شبیه سازی تغییرات رواناب در منطقه مورد مطالعه داشت. به گونه ای که هر دو مدل کاهش رواناب را برای فصل پاییز و افزایش رواناب را برای فصل های دیگر تخمین می زنند. [۶۴]. ویز و همکاران با به کارگیری چهار مدل بارش-رواناب تأثیرات اقلیمی روی فرایندهای هیدرولوژی در استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که داده های شبیه سازی شده توسط مدل IHACRES مطابقت بیشتری با داده های مشاهداتی در مقایسه با سایر مدل ها دارد [۶۵].

این مدل مطابق شکل ۱۰ به دو بخش به هم پیوسته غیرخطی (Non-linear loss module based on catchment storage) و خطی (Linear unit hydrograph) است. در قسمت غیرخطی، بارش مشاهداتی با کمک درجه حرارت ایستگاه به بارش مؤثر تبدیل می شود و در بخش خطی، بارش مؤثر به جریان مؤثر تبدیل می گردد [۶۰].



شکل (۱۰): ساختار کلی مدل هیدرولوژیکی IHACRES [۵۹]

مدل بارش-رواناب IHACRES به طور مشترک توسط مرکز ارزیابی و مدیریت جامع حوضه آبخیز ICAM^{۲۴} دانشگاه ملی کشور استرالیا، کانبرا و مرکز هیدرولوژی و اکولوژی CHE^{۲۵} و انجمن تحقیقات زیست-محیطی انگلستان توسعه یافته است. IHACRES یک بارش-رواناب پیوسته و متری-مفهومی است که برای اجرا در حوضه های بزرگ و اکثر شرایط آب و هوایی از جمله مناطق نیمه خشک و خشک کاربرد دارند که نیازمند داده های دما، بارش و دبی می باشد [۵۹]. مطالعات پیشین که ثابت کرده است که برآورد جریان توسط مدل یکپارچه IHACRES در بسیاری از موارد بهتر از مدل های توزیعی است [۶۰]. قاسمی و همکاران به منظور شبیه سازی و پیش بینی رواناب حوضه رودخانه شیرین از خروجی ۵ مدل AOGCM تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کردند. خروجی این مدل ها حاکی از افزایش دما و کاهش بارندگی بود. برای پیش بینی رواناب رودخانه از مدل بارش-رواناب IHACRES استفاده شد. بر اساس نتایج میزان رواناب در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه تحت هر سه سناریو کاهش پیدا کرد [۶۱].

گودرزی و همکاران به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES جهت شبیه سازی جریان رودخانه ای در حوزه آبخیز کن در طول دوره آماری پایه جهت بررسی تغییرات اقلیمی پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 مقدار رواناب برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ کاهش یافت [۶۲]. در مطالعه دیگری، مکینتر و همکاران با به کارگیری سه مدل مختلف به محاسبه دبی و حجم جریان خروجی در حوزه وادی آهین پرداختند. نتایج حاصل برتری مدل IHACRES را نسبت به دو مدل دیگر را تأیید نمود [۶۳]. همچنین کمال و مساح بوحوانی به تأثیر

۹-۲- مدل برنامه ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP^{۲۶})

به طور کلی کاربرد این مدل را می توان در زمینه برنامه ریزی و ارزیابی پروژه های آبی دانست. از آنجایی که این مدل اجزای مختلف یک حوضه رودخانه را جمع آوری می کند، برای برنامه ریزی و مدیریت جامع منابع آب می توان از آن بهره برد. از وظایف مدل های شبیه سازی، ارزیابی سناریوها می باشد. از جمله سناریوهایی که با این نرم افزار قابل بررسی هستند، عبارت اند از: توسعه اقتصادی و رشد جمعیت، تغییر سیاست بهره برداری از مخازن، برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی، صرفه جویی آب، تخصیص نیاز اکوسیستم، استفاده ترکیبی از آب های سطحی و زیرزمینی، استفاده مجدد از آب، استفاده از روش های باران دمان بیشتر برای آبیاری، تغییر الگوی کشت، تغییر اقلیم، تأثیر آلاینده ها در بالادست بر مناطق پایین دست، تغییر کاربری اراضی و... این نرم افزار در بخش مدل سازی هیدرولوژیکی، کل فرایندهای لازم برای موازنه کمی آب های سطحی و اندرکنش سفره آب زیرزمینی با جریان رودخانه را شبیه سازی می کند. برای مدل سازی از یکی از سه روش نرم افزار می توان استفاده کرد که شامل:

- روش رطوبت خاک
- روش بارش-رواناب (FAO (Food and Agriculture Organization)
- روش ساده ای که فرایند بارش-رواناب را شبیه سازی نمی کند. به طور مختصر خصوصیات مدل هیدرولوژیکی آن شامل: تئوری، پیوسته زمانی، معین و نیمه توزیعی. به دلیل نیمه تئوری بودن مدل های هیدرولوژیکی در این نرم افزار، باید از واسنجی استفاده کرد و برای این کار ابزار خاصی تعبیه نشده و باید به صورت دستی انجام شود [۶۶-۶۸]. قاعده و اصول بهره برداری از این نرم افزار به صورت ساده و از طریق تعیین سطوح مختلف آب برای کنترل سیلاب، ذخیره جهت دوره زمانی آتی، تأمین نیاز پایین دست و تولید برقابی شبیه سازی می شود. کیفیت آب درون جریان (رودخانه) علاوه بر مخازن (مانند سفره های آب زیرزمینی، دریاچه ها، مخازن سدها) مدل سازی می شود. نیاز بخش کشاورزی به ۳ روش

- رطوبت
- FAO با استفاده از مؤلفه های نیاز آبی گیاهان
- روش استاندارد محاسبه می شود. در روش تقاضای آبی در هر بخش به صورت حاصل ضرب سطح فعالیت در نرخ تقاضای آب به ازای واحد سطح محاسبه می شود. دیگر تقاضاهای آب (صنعت و شرب و...) به کمک روش استاندارد قابل برآورد می باشد [۶۶-۶۸]. برای تخصیص منابع به تقاضاهای مختلف از یک الگوریتم بهینه سازی، امکان ارتباط با لایه های GIS از طریق نرم افزار وجود دارد، اما نمی توان داده های موجود در این لایه ها را به صورت مستقیم با مدل WEAP استخراج کرد. همچنین می توان برای تحلیل مالی پروژه ها از ابزار جداگانه ای استفاده کرد. با استفاده از این ابزار می توان هزینه ها و منافع اقتصادی پروژه های آبی را محاسبه کرد و در پایان باهم مقایسه کرد تا بهترین گزینه انتخاب شود. امکانات جانبی دیگر این نرم افزار عبارت اند از:

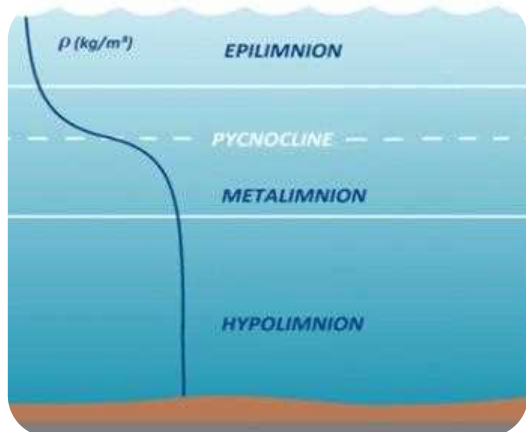
۱- توانایی در تهیه گزارش با ایجاد، نمودارها، جدول ها و نقشه ها

۲- وجود پایگاه داده ای و امکان برقراری ارتباط با نرم افزارهای گوناگون

۳- وجود توابع متنوع از پیش تعریف شده و امکان تعریف معادلات و متغیرهای گوناگون [۶۶-۶۸].

۲-۱۰- لایه بندی حرارتی و مشکلات ناشی از آن

یکی از رایج ترین پدیده ها در مخازن و دریاچه ها ایجاد لایه بندی حرارتی می باشد که مهم ترین تأثیر را بر روی مشخصه های هیدرولیکی و گرمایی در مخازن و دریاچه ها می گذارد. پارامتر دما، کل جامدات محلول و اکسیژن محلول در تشخیص و تعیین پدیده لایه بندی حرارتی مورد استفاده قرار می گیرند. این پدیده به معنی ایجاد لایه هایی از جرم سیال می باشد که در اثر اختلاف در چگالی یا درجه حرارت یا مواد محلول و معلق ایجاد می گردد. در مخازن عمیق اختلاف درجه حرارت بین لایه های بالا و پایین ممکن است به بیش از ۱۵ درجه سانتی گراد نیز برسد. هنگامی که پدیده لایه بندی حرارتی در مخازن رخ می دهد، دریاچه به ۳ بخش رو لایه (اپیلیمنیون)، میان لایه (متالیمنیون) و زیر لایه (هایپولیمنیون) تقسیم می شوند. لایه ای که در مرز لایه اپیلیمنیون و متالیمنیون قرار می گیرد، ترموکلاین گفته می شود. این قسمت از اختلاط عمودی نواحی بالایی و زیرین جلوگیری می کند و مانع توزیع یکپارچه غلظت اکسیژن محلول در راستای عمودی خواهد شد. در واقع در این برهه غلظت اکسیژن محلول در قسمت هایپولیمنیون بسیار اندک می گردد و کیفیت آب مخزن در اعماق شدیداً کاهش می یابد. از جهت دیگر لایه بندی حرارتی از نظر دیگر تأثیر مستقیمی بر سرعت واکنش شیمیایی، به عنوان ابزار اولیه تعیین آب در سیستم آب شیرین شناخته می شود. همچنین در فصل تابستان چون جریان طبیعی کم است، بنابراین چندلایه در آب به وجود می آید، یعنی آب سرد در پایین تر و آب گرم تر بالاتر قرار می گیرد. به دلیل نرسیدن هوا به لایه های زیرین در این لایه اکسیژن کاهش می یابد. از طرفی این لایه ها بسیار سرد بوده و اکسیژن محلول آن نیز کم است. از این رو ماهیان نمی توانند در آنجا زندگی کنند. زمانی که آب لایه زیرین، از تورین عبور می کند چون دارای اکسیژن محلول کمی است، می تواند رودخانه پایین دست را غیرقابل سکوت کند [۶۹]. بخش های مختلف لایه بندی در شکل (۱۱) آمده است [۷۰].



شکل (۱۱): بخش های مختلف یک مخزن لایه بندی شده [۷۰]

۱۱-۲- اکسیژن محلول

اکسیژن محلول مقدار اکسیژن حل شده در آب است که به عنوان شاخص تأثیرگذار برای تعیین وضعیت آبیان مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین اکسیژن برای زنده ماندن همه موجودات زنده به جز برخی از باکتری ها ضروری است. ارگانیزم های زنده با اکسیژن که در آب حل می شود تنفس می کنند. مقدار اکسیژن محلول به طور مستقیم با درجه حرارت جریان آب مرتبط است. هرچه که آب سردتر باشد، اکسیژن محلول آن نیز بیشتر می شود. از آنجاکه واضح است رابطه مستقیمی بین دمای هوا و دمای جریان آب وجود دارد؛ بنابراین در یک نگاه کلی بر تغییر اقلیم و گرمایش کره زمین با افزایش دما جو می توان کاهش اکسیژن محلول را انتظار داشت؛ این پارامتر به صورت غلظت حداقل روزانه یا غلظت میانگین در یک دوره نمونه روزانه، ۷ روزه و ماهانه بیان می شود [۷۱]؛ اما بادید موشکافانه و دقیق تر می توان بر تغییرات غلظت اکسیژن محلول در عمق و ارتباط آن با لایه بندی حرارتی نگاه ویژه ای داشت [۷۲]. به این دلیل که دمای جریان یک عامل مهم و اصلی بر حلالیت گازهای حل شده از جمله اکسیژن، سینتیک واکنش های زیستی و توزیع انواع گونه ها و حیات ماهی ها و آبیان است. از جهت دیگر می توان اشاره کرد که لایه بندی حرارتی به علت تفاوت در چگالی آب که برآمده از اختلاف دما در ترازهای مختلف است، حاصل می شود و مانع دریافت اکسیژن از منابع خارجی می شود، در نتیجه کمبود اکسیژن با ایجاد شرایط بی هوازی بر بسیاری از فرایندهای بوم شناختی و شیمیایی تأثیر منفی می گذارد [۷۳].

۱۲-۲- تغذیه گرای

تغذیه گرای به عنوان یکی از اصلی ترین و مهم ترین مشکلات کیفیت آب در مخازن و دریاچه ها شناخته می شود و دلیل اصلی پیدایش آن، ورود بار مواد مغذی از حوضه آبریز بالادست به مخزن می باشد. فرآیند تغذیه گرای، یک فرآیند بیولوژیکی است که به دلیل حضور مواد مغذی نظیر فسفر و ازت، با افزایش و رشد موجودات دارای کلروفیل در مخزن همراه می باشد. منابع اصلی تأمین مواد مغذی، شامل منابع آلاینده شهری و روستایی، صنعتی، زهاب کشاورزی و فرسایش خاک است. از مهم ترین علائم بروز تغذیه گرای، رشد بی رویه جلبک ها و گیاهان در کنار پیکره آبی، کاهش شفافیت و تغییر رنگ آب، کاهش میزان اکسیژن محلول و حتی حذف کامل آن از اعماق مخزن در فصل تابستان و رشد گیاهان و جلبک ها در سطح آب می باشد. ورود مواد مغذی به مخزن، از ۳ منبع عمده حوضه آبریز، رسوبات و اتمسفر تأمین می شود که منبع اتمسفر، تنها در دریاچه های بسیار بزرگ قابل توجه می باشد. میزان حضور مواد مغذی و توده بیولوژیک گیاهی در آب، درجه ابتلاي مخزن به تغذیه گرای را تعیین می کند. این دسته بندی در ۳ سطح تعریف می شود [۷۴]:

- **سطح شادابی یا الیگوتروف^{۲۷}**: به دریاچه هایی گفته می شود که جرم توده بیولوژیک گیاهی و غلظت مواد مغذی در آنها پایین و سطح شفافیت آب بالاست.
- **سطح بینابینی یا مزوتروف^{۲۸}**: حالتی بینابین شرایط شاداب

و مغذی است.

- **سطح مغذی یا یوتروف^{۲۹}**: دریاچه هایی را شامل می شود که غلظت مواد مغذی و توده بیولوژیک گیاهی در آنها بالا و شفافیت ستون آب کم است.

یکی از مسائل مهم در مدیریت تغذیه گرای، شناخت ماده مغذی محدودکننده رشد گیاهان است که این مسئله با نسبت ازت به فسفر (N:P) تعیین می گردد. اگر این نسبت از ۷/۲ کمتر باشد، در این حالت نیتروژن ماده مغذی محدودکننده رشد گیاه و جلبک می باشد. ولی از آنجایی که عموماً در مخازن سدها $N:P > 7/2$ است، از فسفر بیشتر به عنوان ماده اصلی کنترل کننده تغذیه گرای در مخازن نام برده می شود [۷۵]. سایر پارامترهایی که به عنوان نشانه های تغذیه گرای مطرح هستند، کلروفیل آ، عمق دیسک سکی و میزان درصد اشباع اکسیژن زیرلایه می باشند. اثرات نامطلوب تغذیه گرای شامل افزایش طعم و بوی آب، کدورت، کاهش ظرفیت مجاری انتقال آب، گرفتگی فیلترها در تصفیه خانه آب، ایجاد نوسان در میزان pH، سمی، بدمزه و بدبو شدن آب مخزن، بی هوازی شدن بخشی از مخزن و کاهش اکسیژن محلول زیرلایه و به تبع آن مرگ آبیان می باشد. در جدول ۲ معیار نووتنی^{۳۰} که برای ارزیابی وضعیت مخزن سد مورداستفاده قرار می گیرد آورده شده است [۷۶].

پارامتر کیفی	الیگوتروفیک	مزوتروفیک	یوتروفیک
فسفر کل $\mu g/L$	<10	۱۰-۲۰	>20
کلروفیل $\mu g/L$	<4	۴-۱۰	>10
عمق دیسک سکی m	۴	۴-۲	<2
اکسیژن هیپولیمنتیک (% اشباع)	>80	۸-۱۰	<10

جدول (۲): معیار نووتنی جهت بررسی وضعیت تغذیه گرای مخزن سد [۷۷]

۱۳-۲- مدل سازی

امروزه مدل سازی به عنوان ابزار مناسب و کارآمد در تعیین و ارزیابی اثرات آلاینده های مختلف در مدیریت کیفی پیکره های آبی تبدیل شده است. با شناخت کافی از پارامترهای کیفی می توان از یک مدل مناسب بهره گیری کرد و به شبیه سازی کیفی و اقدامات مدیریتی پرداخت. اگرچه مدل ها دارای محدودیت های خاصی می باشند ولی نقش مهمی در کنترل، پیش بینی و مدیریت منابع آب دارند. شناخت کامل پدیده های کیفی آب و آشنایی با نقاط ضعف و قوت مدل ها و مقایسه کارایی آنها لازمه استفاده از مدل سازی می باشد. جهت کارآمد بودن یک مدل مسائل مختلفی نظیر قابل اعتماد بودن، سادگی کار با آن، هزینه های مربوطه و منافع حاصل از آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱-۱۳-۲- مدل مناسب

کار مدل سازی برای این نوع پژوهش شامل دو بخش، مدل هیدرودینامیکی و مدل کیفیت آب است. مدل هیدرودینامیکی عمدتاً به ویژگی های فیزیکی مخزن می پردازد، درحالی که مدل کیفیت آب ویژگی های شیمیایی و بیولوژیکی را در نظر می گیرد. هیدرودینامیک رودخانه و دریاچه تعیین کننده های مهم کیفیت آب هستند. مدل های

و غلظت اجزای کیفیت آب را شبیه سازی کند. مدل CE-QUAL-W2 برای مخازن و دریاچه های نسبتاً طولانی و باریک مناسب است تا کیفیت پارامترها را در قالب پروفیل های عمودی و طولی نشان دهد. خواص آماری داده های کیفیت آب به دلیل تعداد کمتر نمونه های موجود، چه از نظر مکانی و چه زمانی، با داده های هیدرولوژیکی موجود متفاوت است [۸۲]. در پایگاه های اطلاعاتی اقلیمی، داده ها با فرکانس های متفاوتی در دسترس هستند که از فرکانس های سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و حتی کوتاه تر متغیر است. با این حال، برای پایگاه داده کیفیت آب، فرکانس معمولی یک بار در ماه است. همچنین، توزیع فاصله داده ها برای داده های کیفیت آب محدودتر است. تفکیک مکانی زمانی کوچک داده های کیفیت آب ممکن است معیارهای آماری درستی ایجاد نکند، بنابراین تفسیر تخصصی از نتایج ضروری است [۷۸]. برای داشتن بهترین انتخاب پارامترهای کیفیت آب، می توانیم الزامات داده ورودی CE-QUAL-W2 را که یک مدل جامع کیفیت آب است، بررسی کنیم. مدل CE-QUAL-W2 از داده های چندین گروه از مواد مغذی معدنی و آلی، فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون استفاده می کند. CE-QUAL-W2 دارای ۲۸ متغیر حالت، ۲۳ متغیر کیفیت آب مشتق شده و ۷۳ شار کیفیت آب است. اکثر این متغیرها مستقیماً از پایگاه های داده کیفیت آب در دسترس هستند، اما تعدادی متغیر وجود دارد که از یک سری معادلات یا بر پایه هم بستگی با متغیرهای دیگر محاسبه می شوند. مدل CE-QUAL-W2 برای تجزیه و تحلیل کامل سیستم به تمام ۲۸ متغیر حالت، به عنوان داده های ورودی کیفیت آب نیاز دارد [۸۳]. برای کالیبره کردن مدل شامل مقایسه داده های مشاهداتی و داده های پیش بینی شده می باشد. عملیات کالیبراسیون آنقدر تکرار می شود تا تطبیق قابل قبولی بین نتایج پیش بینی شده و اندازه گیری شده به وجود آید. هیچ راهنمایی برای تشخیص قابل قبول برای تطابق نتایج وجود ندارد و کاربر برحسب ملزومات موردنیاز در هر پروژه تصمیم می گیرد که تطابق به اندازه کافی می باشد یا خیر. به طور معمول کالیبراسیون مدل با جریان آب شروع شده و به دنبال آن دما و سپس سار مشخصه های کیفی آب موردبررسی قرار می گیرند. برای کالیبره کردن هیدرودینامیکی، علاوه بر کالیبراسیون درجه حرارت، سایر مشخصه های کیفی آب نیز باید مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب پارامتر مناسب برای کالیبراسیون مدل برحسب نوع بدنه آبی می تواند متفاوت باشد. [۸۴]. برون و همکاران، برای پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر دمای آب، درخور یاکوینا در ایالت متحده آمریکا از مدل CE-QUAL-W2 استفاده کردند. نتایج ریزمقیاس نمایی شده مدل CIMP5، نشان می دهد که مقدار دما در این ناحیه به طور میانگین در هر دهه ۰/۳ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. افزایش دما ۳ درجه سانتی گراد در این حوضه آبریز، دمای آب را درخور ۰/۷ الی ۱/۶ درجه سانتی گراد افزایش می دهد. با بررسی میزان تغییرات دما، بیشترین میزان تغییرات در فصل تابستان مشاهده می شود [۸۵]. آزادی و همکاران تحت تأثیر اقلیم، کیفیت آب را پیش بینی کردند. آنها یا به کارگیری دو مدل CE-QUAL-W2 و IHACRES سد آیدوغموش در آذربایجان شرقی در کشور ایران را تحت سناریو A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که دمای هوا ۱/۳ درجه سانتی گراد و دمای سطح آب ۱/۱۹ درجه سانتی گراد در دوره ۲۰۲۶-۲۰۳۹ افزایش خواهد یافت. همچنین میزان TDS به ۳۳/۴ گرم افزایش

هیدرودینامیکی متغیرهایی را که بر چگالی و گردش آب تأثیر می گذارند، مانند دما، کل مواد جامد محلول و کل جامدات معلق را در نظر می گیرند [۷۸]. برای رسیدگی به کلیه فرایندهای اساسی که به کیفیت آب دریاچه ها و مخازن کمک می کند، چارچوب مدل باید به اندازه کافی دقیق باشد. برای رسیدگی به کلیه فرایندهای اساسی که به کیفیت آب دریاچه ها و مخازن کمک می کند، چارچوب مدل باید به اندازه کافی دقیق باشد [۷۹]. مدل های بالقوه که می توان از آنها استفاده کرد، شامل برنامه شبیه سازی تجزیه و تحلیل کیفیت آب (WASP) توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EFDC)، (EPA) توسط مؤسسه علوم دریایی ویرجینیا، MIKE3 و MIKE21 توسط مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) و CE-QUAL-W2 توسط ارتش ایالات متحده و دانشگاه ایالتی پورتلند توسعه یافته اند. این مدل ها بیشترین استاندارد و کاربردی ترین مدل های کیفیت آب در سطوح دانشگاهی و صنعتی هستند و توسط بسیاری از سازمان های محیط زیستی مانند محیط زیست و تغییرات آب و هوایی کانادا و آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده توصیه می شوند. مدل WASP می تواند در یک بعد دو بعد و سه بعد استفاده شود. با این حال، از آنجا که مدل فقط معادلات کیفیت آب را حل می کند، باید با مدل دیگری برای هیدرودینامیک همراه شود [۷۸]. مدل های EFDC و MIKE3 مدل های سه بعدی پیچیده ای هستند که تمام الزامات این مطالعه را برآورده می کنند. مدل EFDC از تقسیم بندی افقی و لایه بندی سیگما عمودی استفاده می کند در حالی که مدل MIKE3 از شبکه های مش مثلثی استفاده می کند [۸۰]. با این حال، زمان های طولانی محاسباتی که شامل تجزیه و تحلیل عدم قطعیت است، کار راکمی دشوار می کند.

CE-QUAL-W2 یک مدل کیفیت آب ۲ بعدی است که بیش از ۴۰ سال رویه پیشرفت است و در سیستم های متعددی در سراسر جهان با موفقیت آزمایش شده است. نیروی مهندسی ارتش آمریکا این مدل را در سال ۱۹۷۵ عرضه کردند. این مدل توسط ادینگر و بوکاک حدود ۱۰ سال توسعه یافت و در سال ۱۹۸۴ به تیم بعدی به رهبری تام کول واگذار شد. بیشتر کارها بر روی نظریه های اساسی کار در ۲۰ سال آینده انجام شد. پس از ۳۰ سال پیشرفت، گروه مهندسان ایالات متحده توسعه مدل را متوقف کرد و مدل را به دانشگاه ایالتی پورتلند منتقل کرد [۷۸]. در این مدل ها شبیه سازی جریان و کیفیت، در جهت جریان که معمولاً در جهت محور طولی مخزن است انجام می شود. در مخازن کوچک، کم عمق و در حالت اختلاط کامل قابل کاربرد هستند. فرض بر آن است که در جهت عرض و عمق گرادیان متغیرها وجود ندارد و لذا کمترین اطلاعات را نیاز دارند [۸۱].

۱۴-۲- مدل CE-QUAL-W2

یک مدل هیدرودینامیکی و کیفی آب است که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) پیشنهاد شده است. این مدل در ابتدا برای مخازن توسعه یافته است، اما می توان از آن برای رودخانه ها نیز استفاده کرد. این مدل دوبعدی از روش حل اختلاف محدود استفاده می کند و می تواند توزیع عمودی و طولی انرژی حرارتی، مواد شیمیایی و بیولوژیکی انتخاب شده در توده آب را در طول زمان شبیه سازی کند. این مدل می تواند حجم، سطح آب، چگالی، سرعت های عمودی و طولی

می یابد [۸۶]. شریبان و همکاران باهدف بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر بار مواد مغذی حوضه آبریز و وضعیت تغذیه گرایی در مخزن سد مهاباد، از دو مدل اقلیمی HadCM3 و CanESM2 تحت سناریوهای مختلف A2 و B2 برای مدل HadCM3 و برای مدل اقلیمی CanESM2 از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. در این پژوهش برای ریزمقیاس نمایی از مدل آماری SDSM در منطقه مورد مطالعه استفاده کردند که افزایش دما و کاهش باران را پیش بینی نمود. سپس با به کارگیری مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز، SWAT تأثیر تغییرات دو متغیر جوی بارندگی و دما را بر میزان رواناب، بار مواد مغذی و بار رسوب حوضه آبریز تخمین زده شد. روند غالب میزان بار مغذی و رواناب ورودی به مخزن، نسبت به دوره پایه روند کاهشی بود و تنها در سناریو RCP ۲/۶ این روند با افزایش همراه بود. پیش بینی پارامترهای اقلیمی و بار مواد مغذی ورودی از حوضه آبریز، به بررسی لایه بندی حرارتی و وضعیت کیفیت آب در مخزن سد مهاباد با نرم افزار دوبعدی CE-QUAL-W2 انجام گرفت. در فصل تابستان بیشترین میزان تغییرات در دمای آب مخزن مشاهده شد. بر پایه نتایج به دست آمده، پدیده تغییر اقلیم، موجب بحرانی تر شدن شرایط تغذیه گرایی در مخزن سد مهاباد خواهد شد [۸۷].

۳- نتیجه گیری

موضوع تغییر اقلیم و اثرات احتمالی آن بر بخش های مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، به عنوان یکی از پیامدهای مضر فناوری مطرح است. این پدیده بر کلیه مؤلفه های هیدرولوژیکی و هواشناسی و همچنین کیفیت آب اثرگذار است. اثرات این پدیده با توسعه فناوری، صنایع و تکیه بیشتر به سوخت های فسیلی افزایش خواهد یافت که می تواند تهدیدی جدی برای منابع آب در دسترس باشد. از این رو، مدیریت صحیح منابع آب و ایجاد بسترهای مناسب برای مواجهه با اثرات این پدیده، امری ضروری می باشد.

تغییرات در بارندگی و همچنین دمای هوا که بر کیفیت و کمیت آب تأثیرگذارند، مدیران این عرصه را مجاب می کند که تغییرات اقلیمی را در برنامه ریزی های آینده دخیل بنمایند. با توجه به ارتباط نزدیکی که میان چرخه های هیدرولوژیکی و سیستم اقلیمی وجود دارد، هر تغییری که در اقلیم ایجاد می گردد، نیز بر روی عناصر چرخه هیدرولوژیکی نیز تأثیرگذار خواهد بود. رواناب آبدی رودخانه، تبخیر و تعرق، آب های زیرزمینی، شدت خشکی و سیلاب، همگی متأثر از دما و بارش می باشند که از مهم ترین عناصر اقلیمی هستند.

تحقیقات گسترده صورت گرفته در این زمینه، نشان دهنده تأثیر قابل توجه و جدی افزایش دما و تغییرات در الگوی در اثر پدیده تغییر اقلیم بر چرخه هیدرولوژیکی و سایر روندهای طبیعی در مقیاس حوضه آبریز می باشد که بر کیفیت و کمیت منابع آب که پذیرنده جریان های ورودی از سطح حوضه تأثیرگذار می باشد. ازجمله این تغییر و تحولات می توان به تغییر در بار رسوب، میزان رواناب و بار مواد مغذی اشاره کرد.

لایه بندی حرارتی و غلظت اکسیژن محلول از دیگر پارامترهای مورد مطالعه در کیفیت آب دریاچه ها و مخازن سد می باشد. پدیده لایه بندی حرارتی منجر به تغییر کیفیت آب در اعماق مختلف بدنه آبی می شود. برای نمونه، در حالت های شدید لایه بندی حرارتی، فعالیت

های تجزیه بی هوازی در ناحیه زیر لایه سرعت می گیرد که در نتیجه آن ترکیبات موجود در این لایه احیاء شده و کیفیت آب در دریاچه ها و مخازن تنزل می یابد. همچنین با توجه به تأثیر دما بر شدت لایه بندی حرارتی آب، پدیده تغییر اقلیم می تواند الگوی لایه بندی حرارتی را تغییر داده و شرایط متفاوتی از کیفیت آب را در دریاچه ها و مخازن سد پدید آورد. در سال های اخیر، با پیشرفت های صورت گرفته در زمینه پردازش کامپیوتری، پیش بینی های اقلیمی توسط مدل های گردش عمومی جو و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای انجام شده. این مدل ها به عنوان پیش بینی کننده های هیدرولوژیکی و اقلیمی، تحول عظیمی در پیش بینی های اقلیمی به وجود آورده اند اما باید توجه داشت که این مدل ها در تعیین مقدار کمی متغیرها در مقیاس ناحیه ای می باشد؛ بنابراین باید از روش های ریزمقیاس نمایی برای تبدیل مقیاس بزرگ مدل های گردش عمومی جو، به مقیاس ناحیه ای استفاده شود.

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



توسعه بنادر و ملاحظات زیست محیطی

علی اکبر احترامی

دکتری مهندسی ژئوتکنیک دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

E-mail Address: a_ehterami@sbu.ac.ir



چکیده

ساخت و گسترش بنادر از اساسی ترین پروژه های توسعه محور کشورها برای تسهیل تجارت بین المللی، افزایش بهره وری حمل و نقل دریایی و تقویت حفاظت ساحلی در برابر نیروهای طبیعی هستند. با این حال، ساخت سازه های ساحلی و گسترش بنادر اغلب تأثیرات زیست محیطی قابل توجهی را به همراه دارند که می توانند تعادل حساس اکوسیستم های ساحلی و جانوران دریایی را تحت تأثیر قرار دهند. با توجه به اینکه در سال های اخیر موضوع پایداری و مدیریت محیط زیست بحث اصلی مجامع بین المللی بوده، اهمیت حفاظت از محیط زیست و کاهش پیامدهای اکولوژیکی در پروژه های توسعه محور و زیرساختی بیش از پیش احساس می شود. باید توجه داشت که حفاظت از محیط زیست یک مسئله ملی یا منطقه ای نیست، بلکه یک وظیفه اخلاقی و انسانی است.

کلمات کلیدی: توسعه دریا محور، اقتصاد آبی، حفاظت از محیط زیست، سازه های ساحلی، توسعه بنادر.

۱- مقدمه

اقتصاد دریامحور که در اصطلاح جهانی به آن اقتصاد آبی^۱ گفته می شود، در واقع استفاده پایدار از منابع و گستره های آبی اعم از اقیانوس ها، دریاها، دریاچه ها، سواحل و جزایر، برای رشد اقتصادی، بهبود وضعیت معیشت و ایجاد مشاغل است. واژه اقتصاد آبی برگرفته از رنگ آبی گستره های دریایی و در برگرفته فعالیت های اقتصادی مربوط به عرصه های آبی و طیف وسیعی از بخش های مستقر و نوظهور است. گستره فعالیت های اقتصادی آبی فراتر از فعالیت های سنتی مانند شیلات، گردشگری و حمل و نقل دریایی تعریف شده و مستلزم صنایع جدید از جمله انرژی های تجدیدپذیر، آبریزوری، فعالیت های استخراج از دریا، بیوتکنولوژی^۲ و زیست هوشناسی دریایی^۳ است.

کشور ایران نیز با توجه به موقعیت ژئوپلیتیک خود در منطقه و جهان، دارای نقشی کلیدی و حساس است، از همین رو و با توجه به دارا بودن بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر خطوط ساحلی، دسترسی به دریا در شمال و جنوب، دسترسی به آب های آزاد از طریق اقیانوس هند، مجاورت با منطقه راهبردی خلیج فارس و تنگه هرمز و قرارگرفتن در کریدورهای ترانزیتی بین المللی بایستی به دنبال توسعه پایدار با رویکرد دریایی باشد، تعبیری که تحت عنوان توسعه دریا محور به آن اشاره می شود. بررسی های کارشناسان نشان می دهد که سهم دریا از تولید ناخالص داخلی در کشورهای ساحلی توسعه یافته عضو اتحادیه اروپا ۵۰٪ است، اما این رقم در کشور ایران، باوجود بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر نوار ساحلی، فقط ۲٪ می باشد. از سوی دیگر طبق اعلام کارشناسان در حال حاضر حدود ۹۵٪ واردات و ۸۵٪ صادرات کشور از طریق بنادر انجام می شود؛

بنابراین با توجه به حجم گسترده صادرات و واردات کالا، توسعه بنادر به عنوان دروازه های ارتباطی کشور در راستای توسعه دریا محور، امری ضروری است.

معمولاً به منظور ساخت اسکله ها و سازه های ساحلی، انجام عملیات بهسازی خاک بستر دریا و یا تعویض خاک محل به دلیل وزن بالای این سازه ها ضروری است [۱]. عملیات بهسازی خاک، اکوسیستم های ساحلی را مختل نموده و تأثیرات مخربی بر کیفیت آب، توزیع رسوبات و تغییر محیط های دریایی دارد. پیامدهای این امر، می تواند موجب اختلال در فرایندهای طبیعی که برای حیات جانداران دریایی لازم است، شود. برنامه های بازسازی محیطی و حفظ تنوع زیستی نقش اساسی در حفظ و یا حتی افزایش سلامت اکولوژیکی مناطق تحت تأثیر دارند. این برنامه ها معمولاً شامل ایجاد محیط های جدید، انتقال گونه های آسیب پذیر، یا ایجاد مناطق حفاظت شده دریایی برای ایجاد بازیابی تنوع زیستی هستند.

کنترل مؤثر فرسایش و مدیریت رسوبات، راهبردهای اصلی در حفاظت از محیط زیست در ساخت و سازهای ساحلی می باشند. حذف موانع طبیعی و ایجاد تغییر در مسیر انتقال رسوبات، می تواند منجر به افزایش نرخ فرسایش شود و علاوه بر دوره عمر پروژه، اکوسیستم های ساحلی اطراف آن را نیز تحت تأثیر قرار دهد. استفاده از روش هایی نظیر انتقال رسوبات به سواحل، ایجاد ریف های مصنوعی^۴ و سیستم های عبور رسوبات می توانند به کاهش این تأثیرات کمک کنند و از پایداری ساحل و محیط های زیست دریایی حفاظت نمایند.

پروژه های ساخت و ساز در مناطق ساحلی به طور طبیعی پسماندها و آلاینده هایی تولید می کنند که اگر به درستی مدیریت نشوند، می توانند به محیط زیست آسیب برسانند؛ بنابراین، استفاده از روش های مدیریت

- 1 Blue economy
- 2 Biotechnology
- 3 Marine biometeorology

پسماند، شامل بازیافت، دفع و پیشگیری از تولید آلاینده‌ها، ضروری است تا تأثیرات منفی بر اکوسیستم‌های دریایی به کم‌ترین مقدار خود برسند. به‌کارگیری مصالح قابل‌بازیافت و روش‌های ساخت‌وساز سازگار با محیط‌زیست نیز اثرات منفی اکولوژیکی این پروژه‌ها را کاهش می‌دهند. همچنین، احداث پرده‌های گل‌ولای و تله‌های رسوب در محیط آبی اطراف پروژه برای کاهش انتشار رسوبات و سایر آلاینده‌ها به محیط، تدوین برنامه‌های مقابله با نشت نفت، به‌حداقل رساندن آلودگی صوتی با استفاده از تجهیزات مدرن و اجتناب از ساخت سازه‌های ساحلی و دریایی در مناطقی با زیستگاه‌های دریایی حساس، مانند صخره‌های مرجانی و جلبک زارهای دریایی^۵، در کاهش اثرات مخرب پروژه‌های توسعه‌ای مناطق ساحلی مفید هستند.

یکی از رویکردهای اصلی برای کاهش تأثیرات محیطی پروژه‌های ساخت‌وساز ساحلی، گنجانیدن اصول طراحی پایدار و برنامه‌ریزی دقیق در فرآیند طراحی و اجرا است که شامل انجام ارزیابی تأثیرات محیطی دقیق برای شناسایی خطرات و حساسیت‌های ممکن در منطقه موردنظر برای ساخت پروژه می‌شود. با ارزیابی عوامل اکولوژیکی و انجام تجزیه و تحلیل جامع محلی، برنامه‌ریزان و مهندسان می‌توانند تصمیمات صحیح در مورد روش ایمن انجام پروژه، تکنیک‌های ساخت و اقدامات کاهشدهنده خسارت‌ها را انجام دهند.

در این یادداشت به موضوع بحرانی حفاظت محیط‌زیست در سیاق پروژه‌های ساخت‌وساز مرتبط با بنادر، دیوارهای ساحلی و موج‌شکن‌ها پرداخته می‌شود. این مطالعه چالش‌هایی که ممکن است در نتیجه پروژه‌های توسعه بنادر مطرح شوند را مورد بررسی قرار می‌دهد و به بررسی راهبردها و روش‌هایی می‌پردازد که در حفظ محیط‌زیست در کنار تحقق اهداف این پروژه‌ها به کار می‌روند.

۲- ملاحظات زیست محیطی

در طراحی، ساخت، و نگهداری سازه‌های ساحلی تحت استانداردهای فنی، باید به حفظ محیط طبیعی، بهبود چشم‌انداز منطقه‌ای و ایجاد امنیت پایدار توجه شود. به عبارت دیگر، هنگام طراحی و ارائه نقشه‌ها، تعیین ابعاد و مشخصات، همچنین انتخاب نوع ساختارها، مصالح، و روش‌های ساخت، عواملی چون امکان‌پذیری، کارایی، مصرف بهینه منابع و دیگر موارد مرتبط باید در نظر گرفته شوند. برای حفاظت از محیط‌زیست در نزدیکی سواحل، باید به ایجاد یک محیط اکولوژیکی سالم تمرکز نمود و سعی در کمینه‌سازی تأثیرات مخرب بر محیط‌زیست داشت. ملاحظات زیست محیطی در یک محیط طبیعی شامل عناصری چون کیفیت آب، شرایط رسوب، کیفیت هوا، و همچنین اکوسیستم‌ها و موجودات زنده است [۲].

۲-۱- عوامل اصلی کنترل‌کننده محیط طبیعی

نیروهای طبیعی مانند جزر و مد، امواج، نقش اساسی در تعیین نحوه حرکت مواد و پخش آنها و محیط‌های زنده مرتبط با محیط‌زیست طبیعی بنادر دارند. فعالیت‌های ساخت و نگهداری بنادر نیز می‌توانند اثرات مختلفی را در محیط طبیعی ایجاد نمایند و بر جریان آب و موجودهای زنده‌ای که در بنادر زندگی می‌کنند، تأثیرگذار خواهند بود؛ بنابراین،

ضروری است که این فعالیت‌ها با دقت بالا و با در نظر گرفتن اثرات پیش‌بینی‌نشده آنها بر تعادل حساس بیولوژیکی در محیط ساحلی، برنامه‌ریزی و انجام شوند. به این ترتیب آثار تغییرهای اعمال‌شده بر محیط‌زیست و موجوداتی که در پیرامون بندر زندگی می‌کنند، به حداقل خواهد رسید.

۲-۲- در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی

در مورد کیفیت آب، توجه به صرف مواردی مانند مواد معدنی، رسوبات، میزان آلودگی‌ها در آب و مواد معلق شناور کافی نبوده و می‌بایست به موج‌های قرمز^۶، مناطق کم اکسیژن^۷ و موج‌های آبی^۸ که نشانه‌هایی از بروز آلودگی در آب هستند نیز، توجه نمود. این موارد می‌توانند بر تعادل مواد در آب تأثیرگذار باشند، بنابراین ارزیابی آنها از دیدگاه چرخه مواد در آب مهم است.

در مورد رسوبات ته‌نشین شده، باید به عواملی مانند ترکیب مواد آلی، توزیع اندازه ذرات و حضور مواد شیمیایی و فلزات سنگین توجه کرد. علاوه بر این، بررسی میزان تأثیر این رسوبات بر روی کیفیت کل آب، ضروری است. زیرا، باید توجه نمود که این رسوبات موجب کاهش سریع سطوح اکسیژن در لایه‌های پایینی آب به علت تجزیه رسوبات و افزایش مواد معدنی در محیط‌های کم اکسیژن شده و موجب بروز آلودگی ثانویه می‌گردند. علاوه بر این، ذرات ریزی که در مناطق آرام دریایی رسوب می‌نمایند، متمایل به جذب مواد مضر مانند فلزات سنگین هستند.

در مورد کیفیت هوا، توجه اصلی به عواملی نظیر گرما، گازها (مانند: CO₂، SOX، NOX)، ذرات ریز و سایر آلاینده‌هایی که توسط کشتی‌ها، وسایل نقلیه، تجهیزات بارگیری کالا در بنادر و فعالیت‌های شرکت‌های واقع در مناطق بندری به هوا انتشار می‌یابند، خواهد بود. اگرچه این آلاینده‌ها اغلب به دلیل فعالیت‌های مختلف در بندر ایجاد می‌شوند، اما مطابق با استانداردهای فنی، از زمان آغاز مرحله طراحی، ساخت و نگهداری سازه‌ها، می‌بایست وسایل نقلیه، ماشین‌آلات و تجهیزات مرتبط مناسب مورد انتخاب و استفاده قرار گیرند. انتشار CO₂ که یکی از عوامل بروز و تشدید پدیده گرمایش جهانی است، اصلی‌ترین نوع گازهای گلخانه‌ای منتشرشده از مناطق بندری بوده و باید موردتوجه ویژه قرار گیرد. گاز CO₂ حدود ۹۰٪ از گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در کشور ژاپن را تشکیل می‌دهد.

در مورد موجودات زنده (حیوانات و گیاهان) و اکوسیستم‌ها، تمرکز باید بر حفظ تنوع زیستی، پایداری محیط‌زیست و تأثیر بر گونه‌های شاخص در اکوسیستم‌های دریایی مانند جلبک‌زارهای دریایی، پهنه جزرومدی^۹، مرجان‌زارها^{۱۰} و... باشد. گونه‌های شاخص، گونه‌هایی هستند که موقعیت آنها بالای زنجیره غذایی در اکوسیستم خود بوده و معمولاً ویژگی‌های یک محیط خاص را نشان می‌دهند. یک اکوسیستم دریایی از موجودات زنده، مواد غیرزنده و محیط‌های مختلف اطراف آنها تشکیل شده و به‌عنوان محیط‌زیست برای موجودات زنده با وظایفی نظیر تصفیه آب، چرخه مواد، جدایی و ذخیره‌سازی کربن (کربن

به کارگیری عوامل تهدیدکننده یا خطرآفرین گردند. با شناسایی و رفع این نقاط کور، می‌توان شاخص‌های امنیتی بنادر را بهبود بخشید.

۷-۲- امنیت سایبری بنادر

امنیت سایبری در حفاظت غیرفیزیکی تأسیسات بنادر و سازه‌های ساحلی، بسیار مهم است. امروزه، تکنولوژی به‌روز و اینترنت در سرعت‌بخشی و تسهیل مدیریت عملیات و وظایف بنادر یک نقش بسیار مهم ایفا می‌کند. به‌عنوان یک نقطه نفوذ امنیتی، ممکن است بنادر، مورد هدف حملات سایبری متعددی قرار گیرند که می‌تواند به تخریب یا قطع سرویس‌های حیاتی در بنادر منجر شود. امنیت سایبری در حفاظت از بنادر به معنای اتخاذ تدابیر و راهبردهایی برای پیشگیری از حملات سایبری، تشخیص نوع و کیفیت واکنش به تهدیدات، و بازیابی آسیب‌ها و تأثیرات آنها است. استفاده از سیستم‌های فایروال و سیستم‌های حفاظتی، مانیتورینگ شبکه‌ها برای تشخیص حملات، آموزش کارکنان برای مقابله با حملات سایبری و برنامه‌ریزی برای مواجهه با این نوع حملات، انجام مانورهای امنیت سایبری توسط متخصصین داخلی و به کارگیری نیروها و متخصصین امنیت شبکه در سیستم مدیریت بنادر و سازه‌های ساحلی ضروری است. امنیت سایبری در بنادر، به‌منظور حفاظت از اطلاعات مهم، سیستم‌های کنترل ترافیک و تأسیسات که برای عملکرد بنادر ضروری هستند، بسیار حیاتی است. شایان‌ذکر است، امنیت سایبری در حفاظت از بنادر نیازمند توجه دقیق به جزئیات و به‌روزرسانی مداوم است تا از تأثیرات منفی حملات سایبری جلوگیری شود و عملکرد بنادر در تمام شرایط تضمین گردد.

۸-۲- ملاحظات مربوط به افراد دارای چالش‌های حرکتی

در طراحی و توسعه امکانات عمومی، به‌ویژه امکاناتی که برای استفاده تعداد زیادی از مردم قرار دارند، در نظر گرفتن نیازهای گروه‌های مختلف افراد؛ از جمله سالمندان و افراد معلول ضروری است. این رویکرد جامع، اطمینان می‌دهد که همه افراد، بدون توجه به سن یا توانایی جسمانی، بتوانند به راحتی و با ایمنی به این امکانات دسترسی پیدا کنند و از آنها بهره‌برداری نمایند.

به‌عنوان مثال، در هنگام طراحی تأسیسات پهلوگیری برای کشتی‌های مسافری، طراح باید ویژگی‌هایی نظیر پله‌ها، دستگیره‌ها و نقاط بارگیری و تخلیه قابل دسترس را در نظر بگیرد تا مسافران دارای چالش‌ها و محدودیت‌های حرکتی نیز بتوانند به راحتی از امکانات به وجود آمده استفاده نمایند. این مفهوم باید به طراحی سواحل و سازه‌های ساحلی نیز تعمیم یابد؛ برای نمونه، مسیرها، مکان‌های توقف جهت استراحت و امکانات بهداشتی باید طوری طراحی شوند که برای همه بازدیدکنندگان، از جمله افرادی که از ویلچر یا وسایل حرکتی دیگر استفاده می‌کنند، دسترسی آسان فراهم باشد.

در فضاهای سبز، طراحی‌های منظر و طراحی‌های مسیرها می‌توانند محیطی ایجاد کنند که برای سالمندان و افراد معلول لذت‌بخش و دسترسی آسان داشته باشند. با گنجاندن این ملاحظات در طراحی سازه‌های ساحلی، می‌توان محیط‌هایی ایجاد کرد که به نیازهای تمام اعضای جامعه پاسخ دهند. این عمل نه تنها کیفیت زندگی افراد با توانایی‌های متنوع را افزایش می‌دهد، بلکه به بهبود کلی زندگی شهروندان مجاور و کارکنان مناطق بندری کمک می‌کند.

آبی^(۱)، تولیدات بیولوژیکی و... عمل می‌کند. در طراحی، ساخت و نگهداری از سازه‌های ساحلی، بررسی و مطالعه اثر این فعالیت‌ها بر روی اکوسیستم‌های دریایی ضروری است.

۳-۲- عوامل اصلی کنترل‌کننده محیط طبیعی

یکی از روش‌های کارآمد، ایجاد یک سازوکار مدیریت تطبیقی است که به طور منظم شرایط را با استفاده از اطلاعات و فناوری‌های مناسب بررسی می‌کند. هدف اصلی مدیریت تطبیقی کمک به حصول اطمینان از مؤثر بودن اهداف تعریف‌شده و اقدامات انجام شده برای یک منطقه خاص است. همچنین، سیستم مدیریت تطبیقی با در نظر گرفتن تغییرات در محیط طبیعی و سایر عوامل، باید قادر به اعمال تغییرات در برنامه‌های از پیش تعریف‌شده باشد.

۴-۲- بازیافت منابع

در طراحی، ساخت و نگهداری از سازه‌های ساحلی و بندری به کارگیری مواد و مصالح قابل بازیافت و همچنین استفاده از مصالح بازیافت شده یک ضرورت و مسئولیت در جهت کمک به حفظ محیط‌زیست است. استفاده از مصالح تجدیدپذیر و یا بازیافت شده علاوه بر بهره‌وری اقتصادی به کاهش تولید زباله و نخاله‌های مصالح کمک کرده و فشار بر منابع طبیعی را کاهش می‌دهد [۳].

۵-۲- چشم‌اندازهای زیبا

طراحی یکپارچه پروژه‌های ساحلی، بر اساس یک هدف و مفهوم مشترک به‌منظور ایجاد منظره‌های منطقه‌ای دلنشین توصیه می‌شود. هدف از ارائه یک طرح یکپارچه، به‌وجود آمدن یک چشم‌انداز هماهنگ برای طراحی، ساخت و نگهداری سازه‌ها بوده که با زیبایی طبیعی و شاخص‌های منطقه، شامل ملاحظات فرهنگی، سبک‌های معماری محلی، و تأثیرات کلی بر مناظر متناسب است. با اعمال دیدگاهی جامع و حفظ یک مفهوم طراحی یکپارچه، امکان ارتقای استانداردهای فنی فراتر از ابعاد عملیاتی و بهبود آمیزش بصری منظره به وجود می‌آید. این رویکرد نه تنها به محیط اطراف تأثیر می‌گذارد؛ بلکه کیفیت کلی زندگی افرادی که با این تأسیسات در تعامل هستند را نیز بهبود می‌بخشد. استفاده از طراحی‌های چشم‌نواز و زیبا باعث تقویت احساس غرور و افتخار در افراد ساکن و شاغل در محیط ساحلی بوده و اگر امکانات رفاهی موجود در بنادر آمادگی پذیرایی از گردشگران را داشته باشند به ایجاد کانون‌های فرهنگی و تفریحی کمک شایانی خواهد نمود.

۶-۲- ملاحظات امنیتی بنادر

تضمین امنیت بنادر و سازه‌های ساحلی بسیار ضروری و مهم است. برای دستیابی به این هدف، اجرای سیستم‌های نظارتی قوی که مختص ویژگی‌های منحصر به فرد هر سازه و یا تأسیسات باشد، حائز اهمیت است. این سیستم‌های نظارتی باید پارامترها و وظایف گسترده‌ای را پوشش دهند تا امکان نظارت جامع را فراهم نمایند. یکی از جنبه‌های کلیدی افزایش امنیت، حذف نقاط کور ساختاری در تنظیمات سیستم‌های نظارت است. این نقاط کور ممکن است آسیب‌پذیری‌هایی ایجاد کنند که باعث



جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



مطالعه عددی رفتار رادیه-شمع متکی بر شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه مخروطی

محمد حسین عرب

کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

Arabmohammadhosein85@gmail.com



چکیده

تحقیقات جدید، بیانگر تأثیر تغییر شکل مقطع شمع در طول آن، بر ظرفیت باربری و جابجایی شمع است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی عددی و مقایسه رفتار استاتیکی و دینامیکی شمع استوانه‌ای با شمع‌های مخروطی و نیمه مخروطی، در سیستم رادیه-شمع یک سازه، به روش المان محدود و با لحاظ اندرکنش مستقیم خاک-سازه می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده، ظرفیت باربری رادیه با شمع‌های مخروطی و نیمه مخروطی با حجم مصالح مصرفی کمتر، به ترتیب برابر و بیشتر از رادیه با شمع‌های استوانه‌ای است. همچنین افزایش زاویه مخروط و کاهش طول آن در شمع‌های نیمه مخروطی تأثیر مثبتی در بهبود عملکرد لرزه‌ای رادیه-شمع دارد.

کلمات کلیدی: شمع مخروطی، شمع نیمه مخروطی، اندرکنش خاک و سازه، بهبود عملکرد لرزه‌ای، تحلیل تاریخچه زمانی.

۱- مقدمه

شمع‌ها علاوه بر تحمل نیروهای قائم، تحت نیروهای کششی و جانبی ناشی از زلزله، باد، امواج دریا و یا نیروی ناشی از جابجایی خود خاک قرار می‌گیرند. هنگامی که لایه‌های سطحی خاک مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارد از روسازه را نداشته باشند و شناسایی‌های ژئوتکنیکی، وجود لایه‌های مقاوم در اعماق بیشتر را اثبات کنند، استفاده از شمع‌ها یک راهکار اصلی به شمار می‌رود [۱]. مطالعات، بیانگر عملکرد بسیار مناسب سیستم رادیه، متکی بر شمع به عنوان پی سازه‌های سنگین و یا سازه‌هایی که در خاک‌های مسئله‌دار ساخته می‌شوند است [۲]. رادیه-شمع، یک سازه مرکب ژئوتکنیکی است که شامل سه المان شمع، پی گسترده و خاک بوده و در محیط‌هایی که اجرای پی سطحی به تنهایی نیازهای طراحی را برآورده نمی‌کند به عنوان گزینه‌ای اقتصادی و فنی مطرح می‌باشد [۳]. این نگرش، طراحی پی‌های عمیق را بهینه نموده و تعداد شمع‌ها نسبت به حالت گروه شمع به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در این شرایط، علاوه بر ظرفیت باربری نهایی، عملکرد پی در نشست کلی، نشست نسبی و نیز ضخامت مورد نیاز رادیه بهبود پیدا می‌کند [۴ و ۵].

مطالعه ظرفیت باربری شمع‌ها به دلیل کاربرد روزافزون پی‌های عمیق و اهمیت بالای سازه‌هایی که بار خود را از طریق شمع به زمین منتقل می‌کنند، ضرورت پیدا می‌کند [۶]. مطالعات پک، از جمله اولین تحقیقاتی بود که بر روی ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی انجام شد. وی به بررسی و ارزیابی اثر باریک‌شدگی مقطع شمع روی ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی در خاک‌های ماسه‌ای پرداخت و به این نتیجه رسید که با مخروطی نمودن مقطع شمع در طول آن، می‌توان ظرفیت باربری شمع را بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر افزایش داد [۷]. خان و همکاران با استفاده از یک کار آزمایشگاهی بزرگ مقیاس، ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای در جا را در خاک‌های لایه‌ای بررسی نموده و با مقایسه نتایج

به دست آمده از تحلیل‌های خود با استفاده از نرم افزار المان محدود -Plax is ۲D به این نتیجه رسیدند که ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی در جا با ۰/۹۵ تا ۱/۹۱ درجه باریک‌شدگی ۲۸٪ الی ۵۰٪ بیشتر از شمع‌های با مقطع یکنواخت است [۸]. لی و همکاران با انجام آزمایشات مختلف به بررسی ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی در جا در خاک‌های ماسه‌ای پرداخته و نشان دادند که ظرفیت باربری نهایی شمع‌های باریک‌شونده بیشتر از ظرفیت باربری نهایی شمع‌های استوانه‌ای است. همچنین، با افزایش زاویه مخروط، ظرفیت باربری جدار شمع افزایش و ظرفیت باربری نوک شمع کاهش می‌یابد [۹]. ژان و همکاران با ارزیابی ظرفیت باربری انواع شمع به این نتیجه رسیدند که در خاک‌های ماسه‌ای با اتساع کم، شمع‌های مخروطی نسبت به شمع‌های استوانه‌ای هم طول و هم حجم، ظرفیت باربری بیشتری دارند [۱۰]. فلاح با مدلسازی عددی در نرم افزار Plaxis 2D نشان داد که مخروطی کردن شمع‌های دارای ابعاد بزرگ لزوماً باعث افزایش ظرفیت باربری نمی‌شود و حتی در مواردی می‌تواند باعث کاهش ظرفیت باربری آن گردد [۱۱]. علی مرادی و برخورداری با مطالعه آزمایشگاهی نشان دادند که با افزایش زاویه مخروطی در ماسه بادی، ظرفیت باربری شمع کاهش می‌یابد. همچنین در ماسه شکسته تا زاویه مخروطی ۲/۴۵ درجه ظرفیت باربری شمع نسبت به شمع استوانه‌ای کاهش و در زاویه مخروطی ۳/۲۷ درجه ظرفیت باربری شمع مخروطی نسبت به شمع استوانه‌ای افزایش می‌یابد [۱۲].

برای طراحی و تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها از شتاب، سرعت و جابجایی میدان آزاد به عنوان حرکت ورودی زمین و بدون در نظر گرفتن اندرکنش دینامیکی پی شمع استفاده می‌شود. در این شرایط پاسخ میدان آزاد زمین، بسته به شرایط ژئوتکنیکی و مشخصات پی، می‌تواند نتایج تحلیل را نسبت به شرایط واقعی، دست بالا یا دست پایین برآورد نماید. همچنین در تحلیل شمع‌ها در برابر بارهای جانبی همچون زلزله، معمولاً اثر سختی سازه در نظر گرفته نمی‌شود [۱۳]. براین اساس، پژوهشگران مختلف با

ارائه روش‌هایی به مطالعه اندرکنش خاک-شمع-سازه پرداخته‌اند که شامل چهار وجه اصلی اندرکنش دینامیکی، اندرکنش سختی، اندرکنش فیزیکی و میرایی تابشی اند. تحلیل عکس‌العمل بستر، محیط پیوسته ارتجاعی و روش‌های عددی مانند المان محدود سه روش عمده تحلیل اندرکنش خاک-شمع-سازه هستند. هریک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند که در مراجع معتبر در مورد آنها به تفصیل بحث شده است [۱۴ و ۱۵]. روش المان محدود واقع‌گرایانه‌ترین شبیه‌سازی را در مدل‌های اندرکنش مستقیم خاک-شمع-سازه ارائه می‌دهد [۱۶]. گازتائس و میلوناکیس نشان دادند وجود خاک نرم در زیر سازه باعث کاهش سختی و افزایش پریود طبیعی در کل سیستم می‌گردد و سازه رفتار نرم‌تری از خود نشان می‌دهد [۱۷]. صامتی و قناد در سال ۲۰۱۴، اسبارتای در سال ۲۰۱۵، و چن در سال ۲۰۱۵ به بررسی اندرکنش دینامیکی خاک-پی-سازه و تأثیر آن بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها پرداخته و همچنین روش‌های زیرسازه و روش‌های عددی را مقایسه نمودند [۱۸-۲۰].

مطالعه حاضر، عملکرد نوع دیگری از شمع‌ها به نام شمع نیمه‌مخروطی که کمتر مورد توجه محققین واقع شده است را بررسی می‌نماید. مهمترین معضلی که برای شمع‌های مخروطی وجود دارد، مشکل اجرای آن به خصوص در عمق‌های زیاد است. در شمع‌های نیمه‌مخروطی قسمت عمده شمع در اعماق پایین‌تر و به شکل استوانه‌ای است که با استفاده از ماشین حفار به راحتی اجرا می‌شود. قسمت مخروطی شکل آنها نیز نزدیک به سطح زمین بوده و با استفاده از یک مته مخروطی و یا به روش دستی قابل حفر است. به دلیل نسبت طول به قطر زیاد شمع‌ها، امکان افزایش زاویه مخروطی شمع بیش از یک حد خاص وجود ندارد. مزیت اصلی شمع‌های نیمه‌مخروطی نسبت به شمع‌های مخروطی، فراهم بودن امکان افزایش بیشتر زاویه بخش مخروطی است [۲۱ و ۲۲]. مطالعات گذشته عمدتاً به بررسی ظرفیت باربری شمع تکی با مقطع متغیر پرداخته و در خصوص کاربرد شمع‌های مخروطی و نیمه‌مخروطی در سیستم رادیه-شمع تحقیق مشخصی صورت نگرفته است. در این مطالعه، رفتار استاتیکی و دینامیکی شمع‌های استوانه‌ای نسبت به شمع‌های مخروطی و نیمه‌مخروطی با حجم کاهش‌یافته در پی یک ساختمان ۶ طبقه در شهر تبریز به روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و با مدل سازی اندرکنش مستقیم خاک، رادیه-شمع و سازه با استفاده از نرم‌افزار المان محدود Midas GTS NX 2022 مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- مطالعه موردی

جهت انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی در محل احداث ساختمان مورد مطالعه، اقدام به حفر یک حلقه گمانه شناسایی ماشینی (BH-01) به عمق ۱۵ متر و یک حلقه گمانه شناسایی دستی (TP-01) به عمق ۵ متر در داخل قطعه شده است. شکل ۱ الف، پلان ساختمان و موقعیت حفر گمانه‌ها را نشان می‌دهد. به موازات انجام عملیات حفاری، آزمایش نفوذ استاندارد در اعماق مختلف خاک انجام و بر روی نمونه‌های به‌دست آمده از حفاری، آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری، برش مستقیم، وزن مخصوص و... صورت پذیرفت. همچنین، تصویر گمانه دستی حفر شده و تصاویر نمونه‌های اخذ شده از خاک در شکل ۱ ارائه شده است. جدول ۱، مشخصات مکانیکی مصالح لایه‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد.

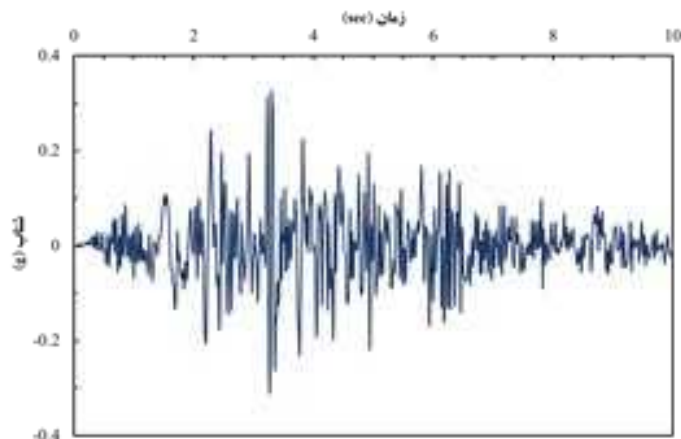
لایه	نوع خاک	مدل رفتاری	عمق (m)	c (kN/m ²)	φ (deg)	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	ν	N ₆₀ '	w (%)	ξ (%)
۱	واریزه دستی		۳-۰	۴	۱۶/۱۲	۱۰×۱۰ ^۲	۱۶/۴۰	۰/۳۰	۱۵	-	۵
۲	ماسه لای دار به همراه شن	موهر-کولمب	۳-۶	۵	۳۳/۸۲	۴۳×۱۰ ^۲	۱۹/۵۱	۰/۳۰	۹۰	۹/۵	۵
۳	مارن زیتونی		۶-۱۲	۴۱	۱۷/۷۵	۳۷×۱۰ ^۲	۱۸/۸۸	۰/۲۵	۷۶	۲۹/۳	۵
۴	مارن خاکستری		۱۲-۶۰	۳۹	۱۸/۷۹	۳۸×۱۰ ^۲	۱۹/۰۳	۰/۲۵	۷۸	۲۷/۶	۵
-	مصالح بتنی	الاستیک	-	-	-	۲/۱×۱۰ ^۷	۲۴/۰۰	۰/۲۰	-	-	-

جدول (۱): مشخصات لایه‌های خاک مورد مطالعه و مصالح بتنی.

۳- مدل سازی و تحلیل عددی

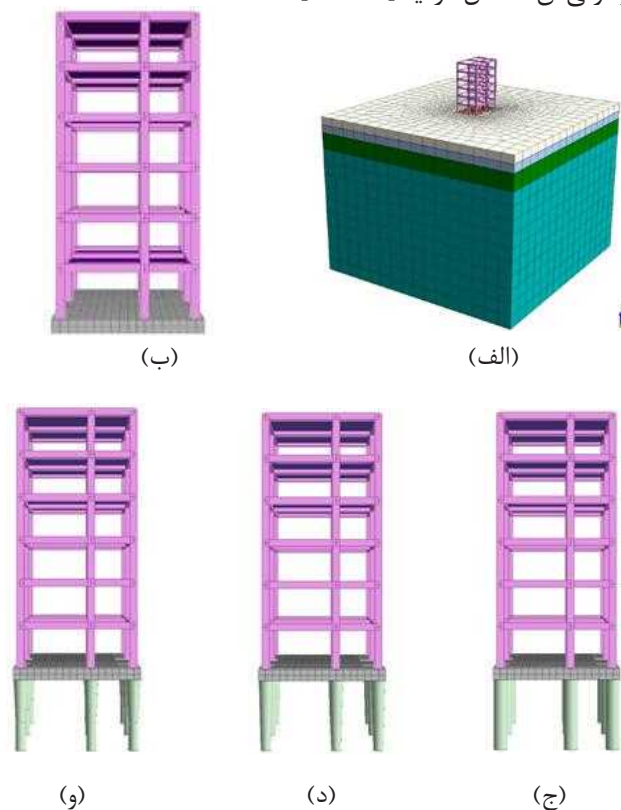
جهت در نظر گرفتن اثر سختی و وزن ساختمان بر سیستم رادیه-شمع، ساختمان بتنی با ۶ سقف سازه‌ای با سیستم سازه‌ای قاب خمشی متوسط و با کاربری مسکونی با فرض احداث در شهر تبریز و رعایت ضوابط مباحث ۶، ۷ و ۹ مقررات ملی ساختمان [۲۳-۲۵]، توسط نرم‌افزار Etabs مدل سازی و سپس جهت تحلیل استاتیکی و دینامیکی مدل خاک-سازه مستقیم به نرم‌افزار Midas GTX NX منتقل گردید. ارتفاع طبقات ۳ متر و ابعاد المان‌های سازه‌ای در تمام طبقات برای ستون‌ها ۵۰×۵۰ سانتی‌متر و برای تیرها ۴۵×۴۵ سانتی‌متر و ضخامت رادیه برابر ۰/۸ متر انتخاب شد. مشخصات هندسی شمع‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده و محل قرارگیری آنها در امتداد محور ستون‌های سازه می‌باشد.

در این مطالعه، جهت شبکه‌بندی از مش هیبرید، که مزیت اصلی آن، دقت بالا در محاسبه تنش و تغییر شکل‌ها می‌باشد، استفاده گردید. برپایه مطالعات مختلف، بزرگ‌ترین بعد مش‌ها در یک تحلیل دینامیکی باید از $0/1$ تا $0/125$ برابر طول موج منطبق بر بزرگ‌ترین فرکانس ورودی کوچکتر باشد [۲۹]. بنابراین باتوجه به اینکه در این مطالعه از شتاب‌نگاشت زلزله سال ۱۹۷۸ طیس جهت بارگذاری دینامیکی استفاده گردیده است (شکل ۲).



شکل (۲): شتاب‌نگاشت ورودی مربوط به زلزله سال ۱۹۷۸ طیس در جهت X.

ابعاد مش‌های مدل براساس سرعت موج برشی لایه‌های خاک بین $0/20$ الی $2/5$ متر می‌باشد [۳۰]. باتوجه به شکل ۳، مدل نهایی خاک دارای 60 متر عمق و 80 متر طول و عرض است. همچنین ضریب بین‌لایه‌ای (Rinter) برابر $0/7$ بر سطوح المان‌های سازه‌ای و خاک پیرامونی آن، اعمال گردید [۳۱، ۳۲].

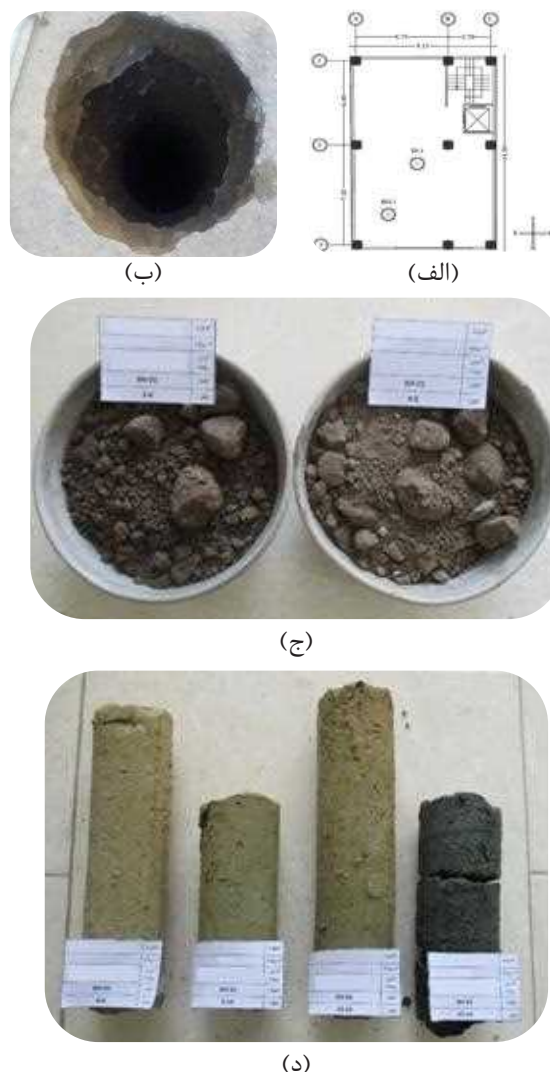


شکل (۳): مدل عددی رادیه-شمع و سازه: (الف) خاک-سازه، (ب) NPR، (ج) CPR، (د) TPR۳، (ه) STPR۱.

شماره مدل	نوع شمع	نام مدل	قطر بالایی (m)	قطر پایینی (m)	زاویه مخروط (درجه)	ارتفاع مخروط (m)	طول شمع (m)	حجم شمع (m³)
۱	بدون شمع	NPR	-	-	-	-	-	-
۲	استوانه‌ای	CPR	۱/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۶/۰	۳/۹۳
۳		TPR1	۱/۰	۰/۹۰	۰/۵	۶/۰	۶/۰	۳/۵۱
۴	مخروطی	TPR2	۱/۰	۰/۸۰	۱/۰	۶/۰	۶/۰	۳/۱۶
۵		TPR3	۱/۰	۰/۷۰	۲/۰	۶/۰	۶/۰	۲/۸۳
۶	نیمه-	STPR1	۱/۰	۰/۷۰	۳/۰	۳/۰	۶/۰	۲/۴۷
۷		STPR2	۱/۰	۰/۷۰	۴/۰	۲/۰	۶/۰	۲/۲۸
۸	مخروطی	STPR3	۱/۰	۰/۷۰	۹/۰	۱/۰	۶/۰	۲/۱۰

جدول (۲): مشخصات فیزیکی شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی مورد مطالعه.

موقعیت مرزهای مدل در تحلیل استاتیکی، به کمک روش آنالیز حساسیت طوری انتخاب شد که وجود مرزهای مصنوعی تأثیری در میدان‌های تنش و کرنش نداشته باشند [۲۶]. همچنین شرایط مرزی در تحلیل استاتیکی با استفاده از تکیه‌گاه‌های گیردار در کف مدل، تکیه‌گاه‌های غلتکی در کناره‌های آن و آزاد بودن مرزهای سطح بالایی مدل، مشابه شرایط واقعی زمین فرض شد [۲۷]. در مدل‌های مربوط به تحلیل اندرکنش دینامیکی مستقیم خاک و سازه، مرزهای کف مدل توسط شرایط مرزی گیردار و جهت جلوگیری از انعکاس بارهای دینامیکی از مرزهای مصنوعی به داخل مدل و همچنین به منظور عدم انتخاب ابعاد بسیار بزرگ برای مدل‌های دینامیکی، مرزهای جانبی با المان مرزی زمین-آزاد مدل شده‌اند (شکل ۱) [۲۸].



شکل (۱): (الف) نقشه تیپ طبقات سازه و موقعیت حفاری گمانه‌های ماشینی و دستی، (ب) گمانه دستی TP-۱، و (ج) و (د) نمونه‌های خاک حاصل از عملیات حفاری گمانه ماشینی BH-۱ در عمق‌های ۳ الی ۱۵ متر.

برای تحلیل مدل‌های دینامیکی اندرکنش مستقیم خاک، رادیه-شمع و سازه از روش تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی استفاده شده است. همچنین در مدل‌های استاتیکی، تحلیل ساخت مرحله‌ای روش مناسبی برای تعیین ظرفیت باربری رادیه-شمع بوده و نتایج مختلف مربوط به تنش و جابجایی مدل در هر گام قابل بررسی می‌باشد. مدل‌های مربوط به تعیین ظرفیت باربری رادیه-شمع با انواع شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی فاقد مدل ساختمان بوده و بار گسترده‌ای به‌طور تدریجی بر سطح رادیه اعمال شده است.

۴- صحت‌سنجی

جهت صحت‌سنجی روش مدل‌سازی و عملکرد صحیح نرم‌افزار از نتایج مطالعه عددی هتاف و شفقت [۳۳]، که با روش المان محدود و توسط نرم‌افزار ۳D Plaxis به بررسی ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی به روش استاتیکی در خاک ماسه‌ای پرداخته‌اند، استفاده گردید. مصالح، مشخصات فیزیکی شمع مخروطی و ظرفیت باربری محاسبه شده توسط نرم‌افزار 3D Plaxis و Midas GTS NX در جدول ۳، ارائه شده است. تقریب نتایج به دست آمده بیانگر روش مدل‌سازی و عملکرد صحیح نرم‌افزار مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد.

مصالح	c (kN/m ²)	φ (deg)	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	ν	ψ (deg)
خاک	۰	۳۳/۰	۳۰×۱۰ ^۲	۱۷/۰	۰/۲۰	۳/۰
بتن	-	-	۳۰×۱۰ ^۶	۲۵/۰	۰/۱۰	-

مشخصات هندسی شمع	قطر بالایی (m)	قطر پایینی (m)	حجم شمع (m ³)	طول شمع (m)
مخروطی	۰/۳۷	۰/۲۳	۲/۷	۱۰/۰

ظرفیت باربری (kN)	Plaxis 3D = ۳۴۷	Midas GTS NX = ۳۵۱
-------------------	-----------------	--------------------

جدول (۳): مشخصات و ظرفیت باربری مدل صحت‌سنجی [۳۳].

۵- نتیجه‌گیری

۵-۱- ظرفیت باربری رادیه-شمع

جهت تعیین ظرفیت باربری مجاز رادیه-شمع با شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی، بار گسترده استاتیکی به‌طور تدریجی و تا رسیدن به حد مجاز نشست آئین‌نامه، که باتوجه به ضوابط مبحث ۷ مقررات ملی ساختمان برای رادیه واقع بر خاک ماسه‌ای برابر ۵/۰ سانتی‌متر می‌باشد، بر سطح رادیه-شمع اعمال شد [۲۴]. جدول ۴، ظرفیت باربری هر یک از حالات مدل‌سازی معرفی شده در جدول ۲ را باتوجه به منحنی‌های بار-جابجایی رسم شده در شکل ۴ الف نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده، ظرفیت باربری رادیه با شمع‌های مخروطی TPR1، TPR2 و TPR3 به ترتیب با زاویه مخروطی ۰/۵، ۱/۰ و ۲/۰ درجه به‌طور تقریبی با ۵/۰٪ کاهش، نسبت به ظرفیت باربری رادیه با شمع‌های استوانه‌ای CPR، تقریباً به ۱۵۸/۱۳ کیلو نیوتن بر مترمربع می‌رسد. در پروژه‌های ساخت‌وساز به دلیل مشکلات اجرایی، عملاً امکان افزایش زاویه مخروط شمع‌های مخروطی بیش از حد مشخصی وجود ندارد. بنابراین، در مطالعه موردی حاضر نیز حداکثر زاویه مخروطی شمع‌های مخروطی در شمع TPR3، برابر ۲/۰ درجه می‌باشد. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، شمع‌های مخروطی از نظر ظرفیت باربری، تفاوت چندانی با شمع‌های استوانه‌ای ندارند.

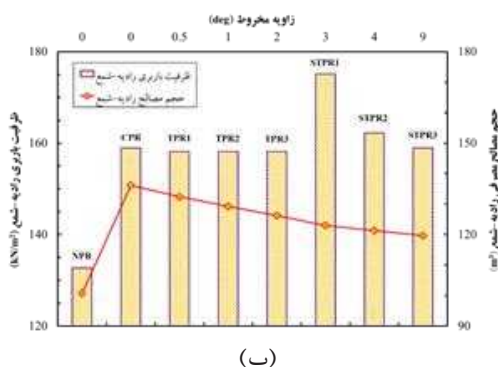
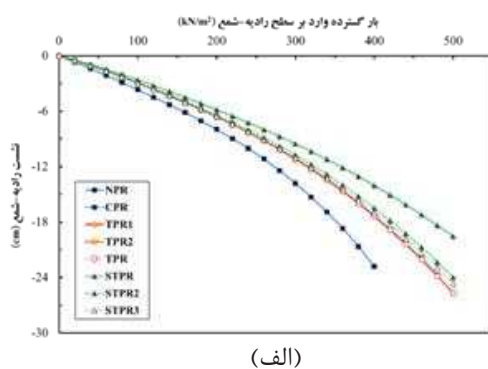
در صورت استفاده از رادیه با شمع‌های نیمه‌مخروطی STPR1، STPR2 و STPR3 به جای رادیه متکی بر شمع استوانه‌ای CPR، ظرفیت باربری رادیه-شمع نسبت به حالت استفاده از شمع‌های استوانه‌ای

به ترتیب ۱۰/۲۰٪، ۲/۰۷٪ و ۰/۱۲٪ افزایش یافته و به ۱۷۵/۱۵، ۱۶۲/۲۲ و ۱۵۹/۱۳ کیلو نیوتن بر مترمربع می‌رسد. براساس نتایج حاصل ارائه شده در جدول ۴، افزایش زاویه مخروط با کاهش طول آن در شمع‌های نیمه‌مخروطی، سبب کاهش ظرفیت باربری رادیه-شمع نسبت به شمع‌های نیمه‌مخروطی با زاویه مخروط کمتر و طول ناحیه مخروطی بیشتر است.

شماره مدل	نوع شمع	نام مدل	زاویه مخروط (درجه)	ارتفاع مخروط (m)	حجم مصالح رادیه-شمع (m ³)	کاهش حجم مصالح نسبت به رادیه با شمع استوانه‌ای (%)	ظرفیت باربری (kN/m ²)	تغییرات ظرفیت باربری نسبت به رادیه با شمع استوانه‌ای (%)
۱	بدون شمع	NPR	-	-	۱۰۰/۸۰	-	۱۳۲/۶۸	-
۲	استوانه‌ای	CPR	۰/۰	۰/۰	۱۳۶/۱۷	-	۱۵۸/۹۳	-
۳	مخروطی	TPR1	۰/۵	۶/۰	۱۳۲/۳۹	-۲/۷۷	۱۵۸/۱۳	-۰/۵۰
۴	مخروطی	TPR2	۱/۰	۶/۰	۱۲۹/۲۴	-۵/۰۹	۱۵۸/۱۳	-۰/۵۰
۵	مخروطی	TPR3	۲/۰	۶/۰	۱۲۶/۲۷	-۷/۲۷	۱۵۸/۱۳	-۰/۵۰
۶	نیمه-مخروطی	STPR1	۳/۰	۳/۰	۱۲۳/۰۳	-۹/۶۵	۱۷۵/۱۵	+۱۰/۲۰
۷	نیمه-مخروطی	STPR2	۴/۰	۲/۰	۱۲۱/۳۲	-۱۰/۹۰	۱۶۲/۲۲	+۲/۰۷
۸	نیمه-مخروطی	STPR3	۹/۰	۱/۰	۱۱۹/۷۰	-۱۲/۰۹	۱۵۹/۱۳	+۰/۱۲

جدول (۴): ظرفیت باربری رادیه-شمع با شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی.

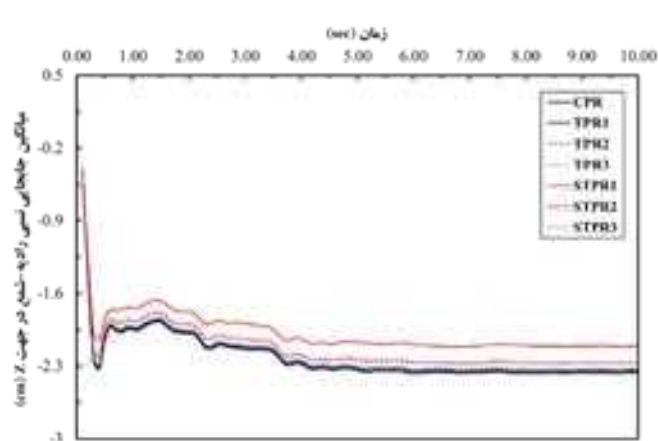
شکل ۴ (ب)، به مقایسه ظرفیت باربری رادیه-شمع‌های مورد مطالعه با در نظر گرفتن حجم مصالح مصرفی و زاویه مخروطی شمع‌های مخروطی و نیمه‌مخروطی می‌پردازد. به‌طور کلی در ظرفیت باربری یکسان، حجم مصالح مصرفی برای احداث رادیه-شمع با شمع‌های مخروطی، کمتر از رادیه با شمع‌های استوانه‌ای است. همچنین، در رادیه با شمع‌های نیمه‌مخروطی STPR1، STPR2 و STPR3 با وجود اینکه حجم مصالح مصرفی نسبت به رادیه با شمع استوانه‌ای به ترتیب ۹/۶۵٪، ۱۰/۹۰٪ و ۱۲/۰۹٪ کاهش می‌یابد، ولی ظرفیت باربری رادیه-شمع در تمام مدل‌های مورد بررسی افزایش نشان می‌دهد. برای مثال، ظرفیت باربری رادیه شمع STPR1 با ۱۰/۲۰٪ افزایش به ۱۷۵/۱۵ کیلو نیوتن بر مترمربع و رادیه-شمع STPR3 با ۱۲/۰۹٪ کاهش در حجم مصالح مصرفی، تقریباً ظرفیت باربری یکسانی با رادیه-شمع استوانه‌ای CPR دارد.



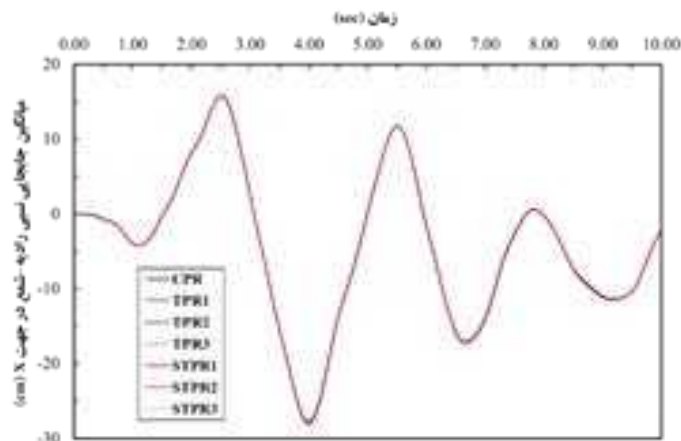
شکل (۴): (الف) نمودار بار-جابجایی رادیه-شمع با شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی، (ب) نسبت ظرفیت باربری رادیه-شمع با زاویه مخروط و حجم مصالح مصرفی.

۵-۲- پاسخ دینامیکی رادیه-شمع تحت بار لرزه‌ای

براساس نتایج به دست آمده، میانگین جابجایی نسبی سطح رادیه با شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی در جهت‌های X و Z ، به دلیل حرکت هم‌زمان کل سیستم خاک، رادیه-شمع و سازه در زمان اعمال بار دینامیکی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارند (شکل ۵).



(ب)



(الف)

شکل (۵): جابجایی نسبی رادیه-شمع در طول زمان اعمال بار لرزه‌ای: (الف) در جهت X ، (ب) در جهت Z .

جدول ۵ و ۶، به ترتیب تغییرات نیروی محوری و لنگر خمشی وارد بر شمع‌های مخروطی، نیمه‌مخروطی و استوانه‌ای را در طول زمان اعمال بار زلزله سال ۱۹۷۸ طیس نشان می‌دهند.

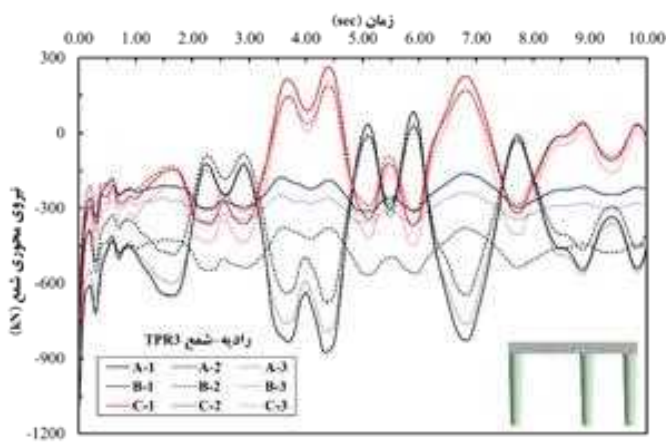
نیروی محوری شمع (kN)									نیروی وارد بر شمع	رادیه-شمع
C-3	C-2	C-1	B-3	B-2	B-1	A-3	A-2	A-1		
-۴۷۷/۲۸	-۲۹۴/۵۷	-۳۶۰/۳۱	-۳۸۵/۰۴	-۵۴۷/۹۳	-۳۳۱/۷۷	-۷۷۰/۷۷	-۶۵۵/۶۶	-۸۵۳/۲۷	حداکثر	CPR
۲۲۷/۱۴	۲۰۷/۳۸	۲۸۶/۸۱	-۲۱۰/۸۳	-۳۵۸/۱۵	-۱۴۰/۹۱	۴۵/۹۶	۵۶/۱۵	۱۰۷/۳۴	حداقل	
-۴۸۱/۴۸	-۳۰۲/۵۵	-۳۶۶/۱۷	-۳۹۱/۱۵	-۵۵۴/۲۱	-۳۳۸/۴۳	-۷۷۸/۳۷	-۶۶۲/۸۰	-۸۵۹/۴۹	حداکثر	TPR1
۲۱۹/۵۷	۱۹۹/۲۷	۲۷۸/۲۰	-۲۱۹/۴۷	-۳۶۴/۹۲	-۱۴۸/۴۳	۳۸/۲۰	۴۸/۴۱	۹۹/۸۶	حداقل	
-۴۸۷/۹۳	-۳۰۹/۷۳	-۳۶۸/۶۲	-۳۹۶/۳۲	-۵۵۹/۶۸	-۳۴۵/۰۵	-۷۸۴/۵۰	-۶۶۹/۳۲	-۸۶۵/۳۱	حداکثر	TPR2
۲۱۳/۱۰	۱۹۲/۴۲	۲۷۰/۹۶	-۲۲۷/۳۵	-۳۷۱/۰۵	-۱۵۵/۱۸	۳۰/۸۳	۴۱/۳۰	۹۲/۶۸	حداقل	
-۴۸۸/۶۷	-۳۱۵/۹۵	-۳۷۳/۷۴	-۴۰۰/۸۱	-۵۶۴/۸۰	-۳۴۷/۲۰	-۷۹۰/۲۳	-۶۷۴/۸۸	-۸۷۰/۲۰	حداکثر	TPR3
۲۰۷/۳۶	۱۸۶/۲۵	۲۶۴/۶۳	-۲۳۳/۳۷	-۳۷۶/۴۴	-۱۶۱/۲۶	۲۴/۲۸	۳۴/۸۱	۸۶/۴۳	حداقل	
-۹۳۳/۳۷	-۶۶۲/۵۷	-۹۵۶/۵۱	-۷۰۵/۴۴	-۷۶۶/۳۲	-۸۰۰/۹۵	-۱۲۳/۷۸	-۱۲۴/۰۰	-۱۱۴/۲۸	حداکثر	STPR1
۷۳/۳۵	۱۶۸/۳۸	۱۰۶/۰۳	-۵۱۳/۹۷	-۵۹۵/۵۱	-۶۲۴/۵۰	-۲۰۹/۰۳	-۸۳/۴۰	۱۶/۷۵	حداقل	
-۵۹۶/۹۱	-۴۴۵/۵۲	-۵۰۷/۱۲	-۵۲۰/۸۸	-۶۵۳/۲۲	-۴۵۰/۶۳	-۹۱۳/۱۶	-۷۹۶/۰۳	-۹۶۹/۹۳	حداکثر	STPR2
۱۹۹/۷۶	۱۹۲/۶۵	۲۶۸/۴۶	-۳۳۳/۹۷	-۴۶۶/۲۵	-۲۶۱/۷۰	۸/۰۱	۲۴/۱۰	۶۸/۶۴	حداقل	
-۵۲۷/۹۰	-۳۶۷/۸۱	-۴۲۵/۸۳	-۴۴۰/۹۵	-۶۰۲/۵۴	-۳۸۶/۲۲	-۸۳۳/۰۶	-۷۱۴/۹۱	-۹۱۰/۵۶	حداکثر	STPR3
۱۹۵/۶۷	۱۷۴/۲۰	۲۵۳/۹۰	-۲۷۷/۲۱	-۴۱۴/۲۲	-۲۰۱/۲۲	۱۱/۷۰	۲۰/۰۰	۷۱/۶۳	حداقل	

جدول (۵): تغییرات نیروی محوری وارد بر شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی.

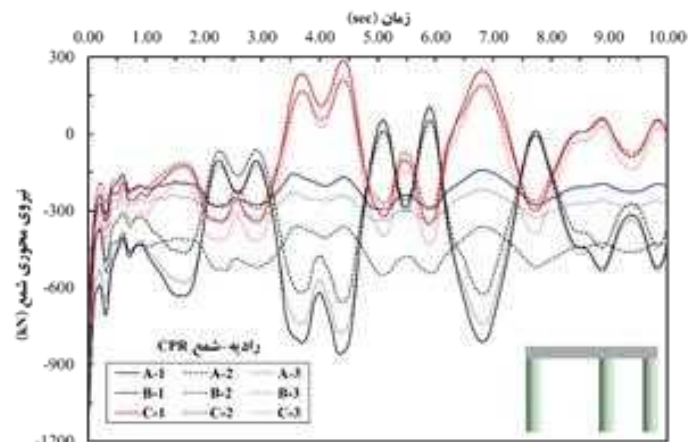
لنگر خمشی شمع (kN.m)									نیروی وارد بر شمع	رادیه-شمع
C-3	C-2	C-1	B-3	B-2	B-1	A-3	A-2	A-1		
-۱۴۴/۸۲	-۷۹/۹۷	-۲۸/۱۵	-۵۵/۶۰	-۷۶/۸۷	-۲۹/۹۸	-۱۳۹/۲۱	-۷۲/۵۱	-۵۹/۵۷	حداکثر	CPR
۸/۸۶	۴/۰۵	۱۸/۸۲	۳۵/۷۵	۴۵/۲۱	۲۷/۸۱	۸۳/۳۴	۷۳/۳۵	۴۶/۳۴	حداقل	
-۱۴۰/۵۲	-۷۷/۹۸	-۲۷/۵۱	-۵۴/۳۱	-۷۴/۵۳	-۲۹/۳۵	-۱۳۴/۳۳	-۷۰/۴۰	-۵۸/۰۳	حداکثر	TPR1
۷/۷۲	۳/۴۹	۱۸/۲۷	۳۵/۱۸	۴۳/۷۳	۲۷/۲۳	۷۵/۹۵	۶۹/۷۴	۴۴/۸۲	حداقل	
-۱۳۵/۲۸	-۷۵/۶۲	-۲۶/۸۸	-۵۲/۲۲	-۷۱/۴۸	-۲۸/۴۰	-۱۲۸/۱۷	-۶۷/۶۸	-۵۶/۵۴	حداکثر	TPR2
۶/۲۹	۲/۶۰	۱۷/۶۲	۳۴/۶۸	۴۲/۴۰	۲۶/۷۴	۶۷/۴۸	۶۵/۴۶	۴۳/۱۴	حداقل	
-۱۲۸/۵۹	-۷۲/۹۱	-۲۶/۴۶	-۵۰/۰۰	-۶۷/۳۳	-۲۷/۴۸	-۱۲۰/۷۷	-۶۴/۸۰	-۵۴/۹۶	حداکثر	TPR3
۴/۰۹	۱/۶۷	۱۶/۶۹	۳۴/۰۳	۴۰/۸۵	۲۶/۱۸	۵۸/۱۳	۶۰/۳۱	۴۰/۶۷	حداقل	
-۱۳۴/۴۷	-۷۰/۷۵	-۶۴/۵۵	-۹۹/۰۸	-۲۰۱/۸۷	-۱۰۶/۷۲	-۱۶۷/۰۱	-۲۵۶/۷۴	-۱۲۹/۳۸	حداکثر	STPR1
۲/۷۳	۳۹/۳۹	۸۵/۲۴	۱۰۷/۷۱	-۰/۲۵	۵۹/۴۴	۱۳/۲۰	-۳۹/۸۷	۵۳/۷۲	حداقل	
-۹۹/۷۹	-۷۳/۶۰	-۷۶/۴۴	-۶۵/۶۰	-۶۷/۳۶	-۵۵/۴۱	-۷۱/۲۸	-۷۱/۱۴	-۵۲/۴۳	حداکثر	STPR2
۱۷/۱۴	۱۸/۷۶	۱۶/۵۴	۵۲/۵۵	۴۵/۴۰	۴۱/۶۵	۴۴/۸۹	۴۱/۰۹	۴۷/۳۹	حداقل	
-۵۳/۰۷	-۳۶/۵۷	-۳۹/۱۵	-۲۵/۴۸	-۲۳/۲۶	-۲۵/۰۸	-۱۸/۵۵	-۱۰/۲۹	-۱۰/۴۸	حداکثر	STPR3
-۲/۷۳	۰/۵۳	۱/۰۸	۱۹/۸۴	۲۰/۲۴	۱۸/۶۰	۲۶/۹۶	۲۲/۱۲	۳۲/۲۶	حداقل	

جدول (۶): تغییرات لنگر خمشی شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی.

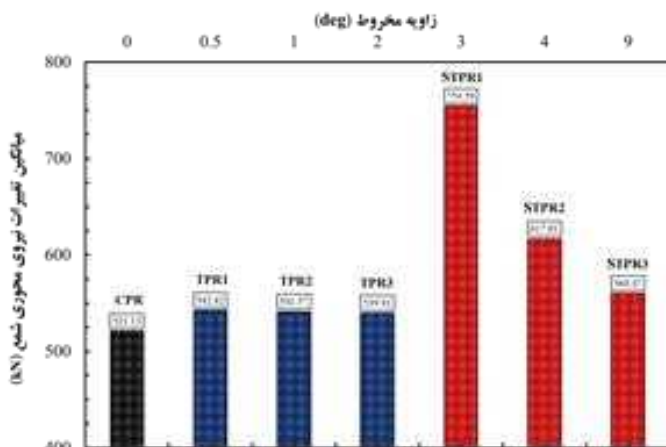
تاریخچه زمانی تغییرات نیروهای داخلی شمع‌های رادیه-شمع TPR3، CPR، STPR1 و STPR2 در زمان اعمال بار لرزه‌ای، در شکل ۶ نشان داده شده است.



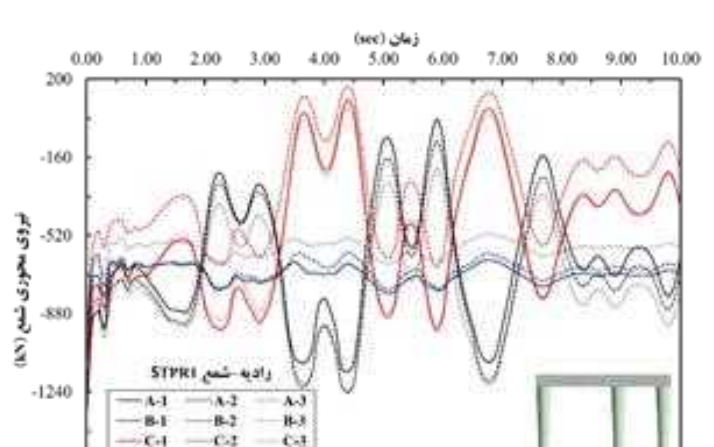
(ب)



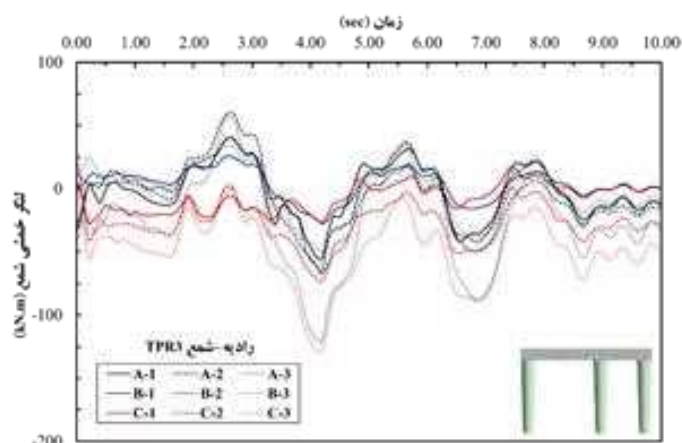
(الف)



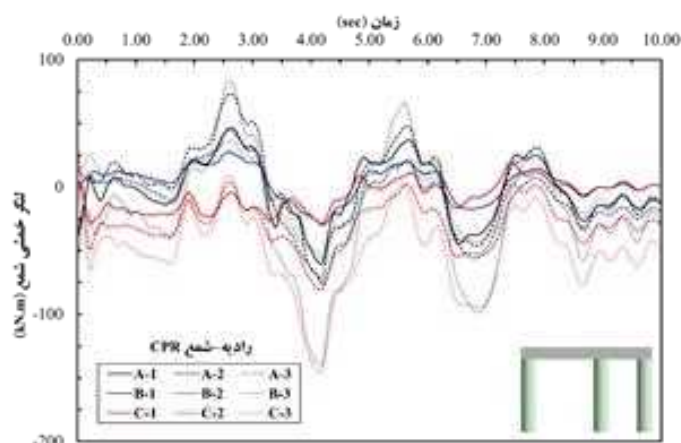
(د)



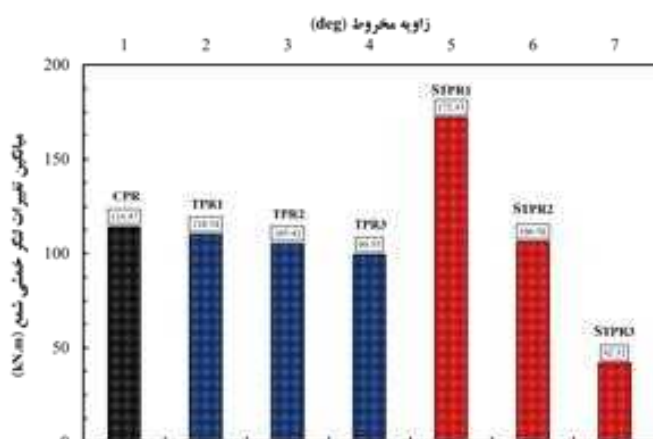
(ج)



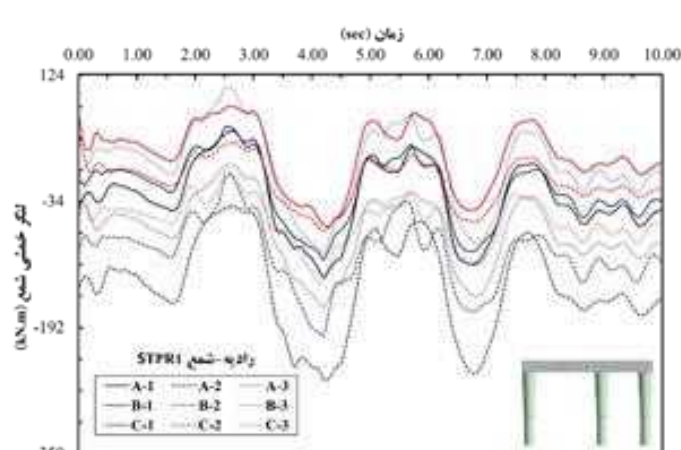
(ه)



(و)



(ز)



(ی)

شکل (۶): تغییرات نیروهای داخلی شمع تحت بار لرزه‌ای: (الف) نیروی محوری در CPR، (ب) نیروی محوری در TPR۳، (ج) نیروی محوری در STPR۱، (د) میانگین تغییرات نیروی محوری شمع‌ها، (و) لنگر خمشی در CPR، (ه) لنگر خمشی در TPR۳، (ی) لنگر خمشی در STPR۱، (ز) میانگین تغییرات لنگر خمشی شمع‌ها.

انواع شمع‌های نیمه‌مخروطی کمتر و تقریباً برابر با شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای بوده و همچنین مقدار و تغییرات لنگر خمشی این شمع‌ها بسیار کمتر از سایر انواع شمع‌های مورد مطالعه است. بنابراین، باتوجه به یکسان بودن جابجایی تمام رادیه-شمع‌های مورد مطالعه در جهت X و Y در طول زمان اعمال بار لرزه‌ای، رادیه متکی بر شمع‌های نیمه‌مخروطی STPR۳ بهترین عملکرد لرزه‌ای را در شرایط وقوع زلزله از خود نشان می‌دهند.

۶- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به مقایسه رفتار استاتیکی و دینامیکی رادیه متکی بر شمع‌های استوانه‌ای، مخروطی و نیمه‌مخروطی در سیستم پی یک ساختمان ۶ طبقه، به روش المان محدود و با مدل‌سازی اندرکنش مستقیم خاک، رادیه-شمع و سازه پرداخته شده است. خلاصه نتایج به‌دست آمده به شرح زیر می‌باشند:

- با وجود اینکه شمع‌های مخروطی از نظر ظرفیت باربری استاتیکی و تغییرات نیروی‌های داخلی در شرایط اعمال بار لرزه‌ای، تفاوت قابل توجهی با شمع‌های استوانه‌ای ندارند، به دلیل کاهش حجم مصالح مصرفی از نظر اقتصادی انتخاب بهینه‌تری خواهند بود. باتوجه به محدودیت‌های اجرایی در پروژه‌های عملی، عدم امکان افزایش زاویه مخروط بیش از حدی مشخص، دلیل اصلی رفتار تقریباً مشابه شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای در سیستم رادیه-شمع است.
- رادیه متکی بر شمع‌های نیمه‌مخروطی نسبت به رادیه متکی بر

باتوجه به نتایج ارائه‌شده، در تمام حالات مورد بررسی، شمع‌های واقع در محور A پلان سازه نسبت به سایر شمع‌ها تحت تأثیر بیشترین مقدار و تغییرات نیروی محوری هستند. براساس شکل ۶ (د)، میانگین تغییرات نیروی محوری وارد بر شمع در طول زمان اعمال بار لرزه‌ای در شمع‌های مخروطی نسبت به شمع‌های استوانه‌ای بیشتر است، اما با افزایش زاویه مخروطی شمع از میزان تغییرات نیروی محوری شمع‌های مخروطی کاسته می‌شود. همچنین، شمع‌های نیمه‌مخروطی نسبت به شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای تحت تأثیر نیروی محوری و تغییرات نیروی محوری بیشتری می‌باشند. برای مثال، شمع‌های نیمه‌مخروطی A-۱، A-۲ و A-۳ قرارگرفته در محور A پلان رادیه-شمع STPR۱ به ترتیب با ۱۱۶۲/۰۳، ۱۱۶۰/۶۰ و ۱۰۲۹/۷۶ کیلو نیوتن، بیشترین تغییرات نیروی محوری را در بین تمام شمع‌های مورد بررسی نشان می‌دهند.

در شمع‌های نیمه‌مخروطی با افزایش زاویه مخروط، از مقدار و میزان تغییرات نیروی محوری وارده کاسته می‌شود. براساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۶ و شکل ۶، با افزایش زاویه مخروط در شمع‌های مخروطی و نیمه‌مخروطی تغییرات لنگر خمشی وارد بر شمع در طول زمان اعمال بار لرزه‌ای کاهش می‌یابد. باتوجه به شکل ۶ (ز)، میزان کاهش لنگر خمشی وارد بر شمع با افزایش زاویه مخروط در شمع‌های نیمه‌مخروطی نسبت به شمع‌های مخروطی بیشتر است. مقدار و تغییرات نیروی محوری وارد بر شمع‌های نیمه‌مخروطی رادیه-شمع STPR۳، در مقایسه با سایر

شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای، حجم مصالح مصرفی کمتری دارد و ظرفیت باربری آن در تمام مدل‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد. در شرایط مطالعه موردی حاضر، رادیه با شمع‌های نیمه‌مخروطی با زاویه مخروط ۳ درجه و ارتفاع مخروط ۳ متر، نسبت به رادیه متکی بر شمع‌های استوانه‌ای ۹/۶۵٪ کاهش حجم مصالح و ۱۰/۲۰٪ افزایش ظرفیت باربری دارد.

- به‌طور کلی شمع‌های نیمه‌مخروطی نسبت به شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای تحت تأثیر نیروی محوری و تغییرات نیروی محوری بیشتری هستند. اما، در این شمع‌ها با افزایش زاویه مخروط، از مقدار و میزان تغییرات نیروی محوری وارده کاسته می‌شود.
- تغییرات لنگر خمشی وارد بر شمع‌های استوانه‌ای و مخروطی در مقایسه با شمع‌های نیمه‌مخروطی با زاویه مخروط ۳ درجه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر و تقریباً برابر با شمع‌های نیمه‌مخروطی با زاویه مخروط ۴ درجه است. با افزایش زاویه مخروط در شمع‌های نیمه‌مخروطی به ۹ درجه، میزان و تغییرات لنگر خمشی وارد بر این شمع‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و به کمتر از شمع‌های استوانه‌ای و مخروطی می‌رسد.



جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:

بررسی مطالعات انجام شده در خصوص اثر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پایه‌های پل‌های بتن مسلح

نیلوفر اسدی

کارشناسی ارشد مهندسی سازه و زلزله دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۱

niloofaras78@gmail.com



چکیده

در زلزله‌های گذشته، پل‌ها به عنوان مهم‌ترین عضو از شبکه‌ی حمل و نقل، آسیب‌های بسیاری متحمل شدند. از طرفی بسیاری از پل‌ها در نواحی ساحلی در معرض یون کلرید قرار دارند و همین امر آسیب‌پذیری آنها را در برابر بارهای لرزه‌ای افزایش داده است. قرارگیری بسیاری از پل‌های ساحلی در سراسر دنیا در مناطق لرزه‌ای و وقوع خرابی‌های گسترده در این پل‌ها، توجه پژوهشگران را به تاثیر پدیده‌ی خوردگی در افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل‌های بتن مسلح جلب نموده، پدیده‌ی خوردگی در پل‌ها شکل‌های مختلفی دارد از جمله پوسته‌پوسته شدن و ترک خوردن پوشش بتنی و یا کاهش سطح مقطع میلگردهای تقویت کننده. در این مقاله مروری بر ۲۵ مقاله منتشر شده در زمینه اثر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پل‌ها در مجلات معتبر دنیا در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳ انجام گرفته است. این مقالات بر حسب نوع تحقیق (عددی و آزمایشگاهی) و نوع خوردگی (یکنواخت و غیریکنواخت) طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین روند کاهش سطح مقطع میلگردهای فولادی تقویت کننده در دو نوع توزیع خوردگی یکنواخت و غیریکنواخت مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که خوردگی باعث کاهش ظرفیت لرزه‌ای، کاهش مقاومت، کاهش سختی و کاهش شکل‌پذیری در پایه‌های بتن مسلح می‌شود.

۱- مقدمه

شبکه‌ی حمل و نقل نقش مهمی در توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی اکثر کشورهای جهان دارد و پل‌های بزرگراهی حیاتی‌ترین و چالش برانگیزترین عناصری هستند که حمل و نقل را آسان و سریع می‌کنند و تحرک بین مناطق و کشورها را افزایش می‌دهند. در سراسر دنیا صدها پل در مناطق لرزه‌ای واقع شده‌اند. پیری و فرسودگی در پل‌ها، خود را به شکل‌های مختلفی مانند پوسته‌پوسته شدن اعضای بتن مسلح، تجمع نخاله که منجر به خوردگی تکیه‌گاه‌های فولادی می‌شود و خوردگی آرماتورهای فولادی در ستون‌های بتن مسلح نشان می‌دهد.

ممکن است در طول عمر مفید پل‌ها، مکانیسم‌های خرابی متعددی بر عملکرد سازه‌ای آنها تاثیر بگذارند، از جمله فرسایش، حملات سولفاتی و اسیدی به بتن، خوردگی ناشی از کربنات و کلرید اجزای فولادی، چرخه‌های یخ-ذوب در پل‌ها در مناطق سردسیر و اکسیداسیون. در این میان، زوال خوردگی اجزای بتن مسلح پل، با توجه به آسیب‌پذیری پل‌هایی که واقع در مناطق لرزه‌خیز واقع شده‌اند، توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. این مکانیسم زوال به طور بالقوه بر چندین مؤلفه‌ی مهم پل از جمله ستون‌های بتن مسلح، تکیه‌گاه‌های فولادی، پیچ‌های لنگر تکیه‌گاه‌ها، دال‌های عرشه تقویت شده و تیرهای فولادی در معرض دید تاثیر می‌گذارد.

در دهه‌های گذشته، تلاش‌های قابل توجهی برای مطالعه اثرات خوردگی بر پاسخ‌های غیرخطی اجزای پل‌ها مانند تیرها، ستون‌ها و دال‌های تحت بارگذاری‌های یکنواخت و چرخه‌ای از طریق مطالعات تجربی و عددی انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد

که خوردگی یک روند متکی به زمان است و با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند. همچنین خوردگی گسترده در اطراف میلگردهای تقویت کننده منجر به جدا شدن و لایه‌لایه شدن پوشش بتنی می‌شود. در نتیجه، خوردگی ظرفیت باربری و شکل‌پذیری قطعات بتن مسلح خورده شده را کاهش می‌دهد و مکانیسم‌های خرابی اعضای بتن مسلح را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اگرچه مقالات در مورد ارزیابی آسیب لرزه‌ای پل‌های بتن مسلح خورده شده به ویژه در دهه گذشته افزایش یافته است. با این حال، مطالعات در مورد خسارات ناشی از آسیب‌های خوردگی بر پاسخ لرزه اجزای پل‌های بتن مسلح به اندازه‌ی کافی انجام نشده است. این مقاله با هدف مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه اثر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پایه‌های پل‌های بتنی، به بررسی مقالات و تحقیقات انجام شده در ۱۳ سال گذشته (از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳) می‌پردازد و بدین ترتیب موضوعات مرتبط با مطالعات ارزیابی کمی آسیب‌پذیری بر روی پل‌های بتن مسلح خورده شده در محیط‌های دریایی را به عنوان فرصت‌هایی برای تحقیقات آینده برجسته می‌کند.

۲- تعریف خوردگی

اتمامی عناصر موجود در طبیعت در ذات خود، به طور مستقیم یا غیرمستقیم تمایل دارند به تدریج به سطوح پایین‌تری از انرژی تغییر کنند و در این فرآیند در طول عمر مفید خود دچار تخریب می‌شوند. پل‌های بتن مسلح اعضای مختلفی دارند از جمله این اعضا می‌توان به ستون‌ها و میلگردهای تقویت کننده اشاره کرد. بسته به شرایط قرار گرفتن در

معرض حملات تخریبی خوردگی، روند زوال اعضای پل‌ها ممکن است به شکل خوردگی، فرسایش یا سایر اشکال تخریب شیمیایی و فیزیکی ظاهر شود. معمولاً در پل‌های فرسوده‌تر، خوردگی در میلگردهای فولادی تقویت‌کننده باعث کاهش شدیدتر مقاومت سازه در برابر بارهای لرزه‌ای، نسبت به حالت خوردگی در بتن می‌شود. فرآیند تخریب خوردگی منجر به کاهش سطح مقطع، تغییرات در خواص اجزای فولادی و اثرات ثانویه‌ای مانند ترک خوردگی در بتن، از بین رفتن و پوسته‌پوسته شدن پوشش بتنی می‌شود. در نهایت می‌توان گفت، خوردگی تخریب تدریجی یک ماده بر اساس واکنش با محیط اطرافش می‌باشد.

۲-۱-۲- دسته‌بندی خوردگی

خوردگی انواع مختلفی دارد که به طور کلی به دو نوع دسته بندی می‌شود: ۱. خوردگی یکنواخت (Uniform) و ۲. خوردگی غیریکنواخت. خوردگی غیر یکنواخت خود به دو دسته: ۱. خوردگی حفره‌ای (Pitting) و ۲. خوردگی حفره‌ای عمیق (Deep Pitting) دسته بندی می‌شود. در ادامه مختصری در مورد انواع خوردگی توضیح داده می‌شود.

۲-۱-۱-۱- خوردگی یکنواخت

خوردگی یکنواخت که به عنوان خوردگی عمومی نیز شناخته می‌شود، به از دست دادن یکنواخت سطح مقطع از کل سطح می‌گویند. با این حال، این نوع از خوردگی به عنوان جدی‌ترین شکل خوردگی در نظر گرفته نمی‌شود، زیرا پیش‌بینی آن نسبت به حالات دیگر خوردگی آسان‌تر است. این نوع خوردگی شاید شناخته‌شده‌ترین نوع خوردگی موجود باشد. در سال ۲۰۱۶ گاش و همکاران [۱] رابطه‌ای را به منظور به دست آوردن سطح مقطع کاهش یافته ارائه دادند که در آن سطح مقطع کاهش یافته از رابطه شماره ۱ به دست آورده می‌شود؛ در این رابطه $A_r^U(t)$ سطح مقطع کاهش یافته بر حسب میلی‌متر مربع و t زمان انجام فرآیند بر حسب سال، D_{-O} قطر اولیه میلگردها، می‌باشد. $r_{corr}(t_p)$ نیز نرخ خوردگی با واحد mm/year می‌باشد.

$$A_r^U(t) = \frac{\pi [D_0 - \int_{t_i}^t r_{corr}(t_p) dt_p]^2}{4} \quad (۱)$$

رابطه به دست آوردن مقدار $r_{corr}(t_p)$ نیز به شرح زیر می‌باشد. $i_{corr,0}$ نرخ اولیه خوردگی با واحد $\mu A/cm^2$ است.

$$r_{corr}(t_p) = 0.0116 \times i_{corr}(t_p) \quad (۲)$$

$$i_{corr}(t_p) = 0.85 i_{corr,0} t_p^{-0.29} \quad (۳)$$

$$i_{corr,0} = \frac{37.8(1 - \frac{w}{c})^{-1.64}}{x} \quad (۴)$$

لازم به ذکر است که در رابطه بالا w/c نسبت آب به سیمان، و x عمق کاور بتنی بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

۲-۱-۲- خوردگی حفره‌ای و حفره‌ای عمیق

خوردگی حفره‌ای، شکل موضعی خوردگی است که توسط آن

حفره‌هایی در سطح مقطع ایجاد می‌شود. زمانی که عمق حفره ایجاد شده در سطح مقطع از عمق سطح مقطع بزرگ‌تر باشد، آنگاه خوردگی حفره‌ای عمیق رخ داده‌است. آسیب‌هایی که از خوردگی حفره‌ای به سطح مقطع وارد می‌شود، از آسیب‌های ناشی از خوردگی یکنواخت خطرناک‌تر در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا پیش‌بینی و طراحی این نوع از خوردگی دشوارتر است. در مقالاتی که گاش و همکاران [۱] در سال ۲۰۱۶ و استوارت [۲] منتشر کردند رابطه زیر برای بدست آوردن سطح مقطع کاهش یافته تحت خوردگی حفره‌ای و حفره‌ای عمیق ارائه شد.

$$A_r^{DP}(t) = \begin{cases} A_0 - (A_1 + A_2) & \text{For } p(t) \leq \frac{D_0}{\sqrt{2}} \\ A_1 - A_2 & \text{For } p(t) \geq \frac{D_0}{\sqrt{2}} \end{cases} \quad (۵)$$

$$A_r^P(t) = (A_0 - A_r^U) \left(1 - \frac{a}{2D_0}\right) + A_r^{DP}(t) \quad (۶)$$

در رابطه شماره ۵، A_0 سطح مقطع اولیه، A_1 و A_2 سطح مقطع گودال‌های ایجاد شده بر حسب میلی‌متر مربع می‌باشد و مقدار آنان از طریق روابط شماره‌های ۸ و ۹ به دست آورده می‌شود. در رابطه شماره‌ی ۸ و ۹، a عرض حفره ایجاد شده در سطح مقطع است که از طریق رابطه‌ی شماره ۱۱ به دست می‌آید.

$$A_0 = \frac{\pi D_0^2}{4} \quad (۷)$$

$$A_1 = 0.5[\theta_1(0.5D_0)^2 - a \left|0.5D_0 - \frac{P(t)^2}{D_0}\right|] \quad (۸)$$

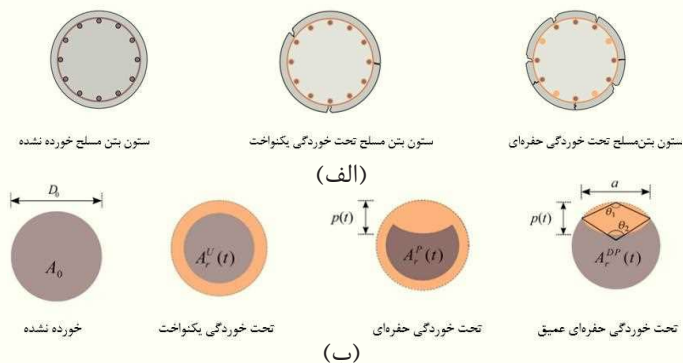
$$A_2 = 0.5[\theta_2 P(t)^2 - a \frac{P(t)^2}{D_0}] \quad (۹)$$

$P(t)$ در روابط شماره ۷ و ۸، عمق حفره ایجاد شده در سطح مقطع می‌باشد که از طریق رابطه شماره ۱۰ به دست می‌آید و در آن R ضریب حفره نامیده می‌شود و نشان دهنده نسبت بین حداکثر و متوسط عمق حفره می‌باشد که با استفاده از شرایط خوردگی یکنواخت از رابطه‌ی شماره ۱۲ به دست آورده می‌شود.

$$P(t) = R \int_{t_i}^T r_{corr}(t_p) dt_p; \theta_1 = 2 \arcsin\left(\frac{2a}{D_0}\right); \theta_2 = 2 \arcsin\left[\frac{a}{2P(t)}\right] \quad (۱۰)$$

$$a = 2p(t) \sqrt{1 - \left(\frac{p(t)}{D_0}\right)^2} \quad (۱۱)$$

$$R = \frac{P}{P_{av}} \quad (۱۲)$$



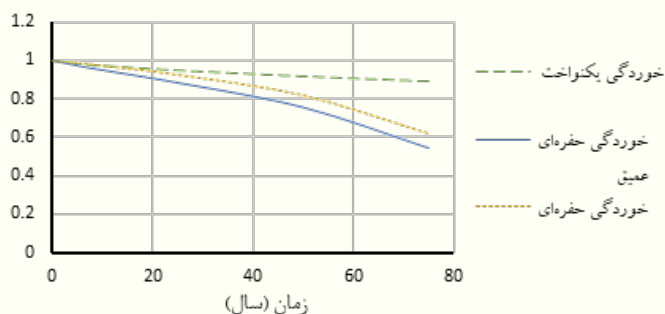
شکل (۱): (الف) مقدار کاهش سطح مقطع ستون‌های بتن مسلح تحت حالت‌های مختلف خوردگی (ب) کاهش سطح مقطع میلگردهای تقویت‌کننده تحت حالت‌های مختلف خوردگی [۱]

با استفاده از روابط خوردگی ذکر شده، خوردگی میلگردهای تقویت کننده یک ستون با قطر ۲۵/۴ میلی متر تحت حالت های مختلف خوردگی، در جدول ۱، آورده شده است. شکل ۲، نشان دهنده کاهش قابل توجه سطح مقطع میلگرد در حالت خوردگی حفره ای عمیق نسبت به دیگر حالت های خوردگی، به خصوص در اواخر عمر مفید سازه می باشد.

سال	۰	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵
نوع خوردگی	۵۰۶/۴۵۰۶	۴۹۸/۳۰۲	۴۹۳/۱۵۵	۴۸۱/۱۲۳	۴۶۵/۳۵۷	۴۵۲/۰۳۶
یکنواخت	۵۰۶/۴۵۰۶	۴۹۲/۷۹۰۳	۴۸۰/۷۸	۴۴۷/۴	۳۸۲/۵۵	۲۷۵/۳۴
حفره ای عمیق	۵۰۶/۴۵۰۶	۴۹۹/۸۷	۴۹۳/۲	۴۶۹/۵۴	۴۱۵/۳۱	۳۱۵/۳۱۵
حفره ای						

جدول (۱): مقایسه ی سطح مقطع کاهش یافته ی میلگردهای تقویت کننده در حالت های مختلف خوردگی

شکل (۲): مقایسه روند کاهش میانگین سطح مقطع میلگردهای تقویت کننده تحت حالت های مختلف خوردگی



۲-۲- عوامل ایجاد خوردگی

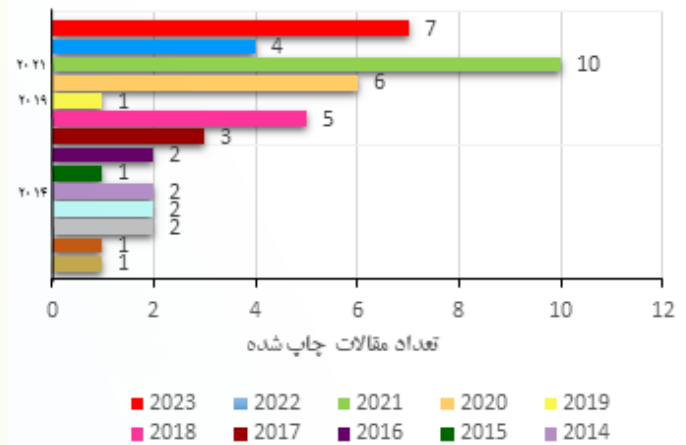
خوردگی در بتن و فولاد به عوامل متعددی بستگی دارد از جمله مدت زمان و نوع قرار گرفتن در معرض حملات کلریدی، حملات سولفاتی و دیگر مواد شیمیایی و همچنین افزایش سن پایه های پل ها. اغلب پل هایی که در مناطق ساحلی قرار دارند به دلیل قرار گیری مداوم در معرض یون های کلرید موجود در آب دچار خوردگی از نوع خوردگی کلریدی می شوند. این پل ها اغلب در حالت های گوناگونی در معرض حملات یون کلرید قرار می گیرند؛ مانند قرارگیری در معرض اتمسفر یون کلرید، قرار گرفتن پایه های پل در حالت پاشش آب حاوی کلرید و یا جزر و مد و در بدترین حالت قرار گیری که غوطه وری در آب حاوی یون کلرید می باشد. نفوذ مداوم این یون های کلریدی باعث ترک خوردن و پوسته پوسته شدن پوشش بتنی ستون ها، کاهش ظرفیت اتصال و کاهش مقاومت مصالح در ستون ها می شود. در مناطق زلزله خیز، آسیب خوردگی در پایه های پل ها به طور قابل توجهی ظرفیت مقاومتی را به ویژه تحت بارهای لرزه ای کاهش می دهد.

۳- تجزیه و تحلیل مقالات بر اساس سال های انتشار

در این مطالعه، مقالات موجود در زمینه ارزیابی آسیب لرزه ای پل های بتن مسلح خورده شده از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳ با استفاده از روش تحقیق کمی و کیفی بررسی و دسته بندی می شود. بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی و عددی به بررسی آسیب ناشی از خوردگی و یا خرابی لرزه ای پل های بتن مسلح به صورت جداگانه پرداخته است، از طرفی تاثیر خوردگی در افزایش آسیب پذیری پل ها در بسیاری از زلزله های گذشته مشاهده شده است. از این رو، هدف اصلی این مطالعه بررسی اثر همزمان خوردگی و بارهای لرزه ای بر روی رفتار پایه های پل های بتن مسلح می باشد. لازم به ذکر است که اغلب مطالعات انجام شده بر روی تاثیر خوردگی بر رفتار لرزه ای پل ها پس از سال ۲۰۱۰ صورت گرفته است. از این رو در این مقاله نتایج حاصل از مطالعات انجام شده پس از سال ۲۰۱۰ ارائه می شود. به منظور بررسی میزان توجه مجلات معتبر دنیا به موضوع خوردگی و بارهای لرزه ای، مقالات مورد بررسی مطالعه شد و با توجه به فراوانی چاپ این مقالات در طی سال های ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳ دسته بندی شد که نتایج آن در جدول ۲ و شکل ۳ آورده شده است.

نام مجله	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	کل
Engineering Structures	۰	۰	۰	۱	۲	۱	۰	۱	۱	۱	۳	۳	۰	۱	۱۴
Construction and Building Materials	۰	۱	۲	۱	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۱	۰	۰	۹
Structures	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۱	۲	۹
Soil Dynamics and Earthquake Engineering	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۱	۲	۶
Structural Engineering	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۱	۵
International Journal of Structural Integrity	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۴

جدول (۲): فراوانی انتشار مقالات در مجلات معتبر دنیا در طول سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳



شکل (۳): نمودار فراوانی مقالات چاپ شده در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳

با توجه به جدول ۲ و شکل ۳ مشاهده می شود که روند انتشار مقالات در مورد ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پل های بتن مسلح خورده شده در طول ۱۳ سال اخیر به طرز قابل توجهی افزایش یافته است. به طور مثال، روند رشد چاپ مقالات از یک مقاله در سال ۲۰۱۰ تا ۸ مقاله در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. در بازه زمانی بین سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ تعداد مقالات منتشر شده بین ۱ تا ۲ عدد متغیر بوده است؛ از سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۲۳ پس از یک دوره کاهش انتشار مقالات در سال ۲۰۱۹، افزایش چاپ مقالات حتی به تعداد ۱۰ عدد در سال در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است، که خود نشان دهنده افزایش علاقه مندی محققین به ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پل های بتن مسلح خورده شده می باشد. در ۱۳ سال اخیر بیشترین تعداد مقاله منتشر شده درباره تأثیر خوردگی بر افزایش آسیب پذیری لرزه ای، در سه مجله، Engineering Structures، Construction and Building Materials و Structures با ترتیب چاپ ۱۴، ۹ و ۹ مقاله بوده است. این مجلات از جمله مجلات معتبر در رشت G مهندسی عمران بوده و ضریب تأثیر این مجلات به ترتیب ۵/۵، ۷/۴ و ۴/۱ و H-Index این مجلات به ترتیب ۱۷۱، ۲۳۰ و ۴۲ در سال ۲۰۲۳ می باشد.

۴- تاریخچه مطالعات

گاش و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۰ رابطه ای با فرمول بندی رایج شکنندگی لرزه ای وابسته به زمان را برای پل ها و همچنین ایده های جدیدی در مورد اثرات با افزایش سن و خوردگی بر آسیب پذیری لرزه ای پل ها ارائه دادند که معمولاً در مطالعات گذشته در مدل سازی شکنندگی نادیده گرفته می شد. از نتایج این مقاله دریافت می شود که خوردگی در میلگردها که باعث کاهش سطح مقطع آنها و در نتیجه، کاهش ظرفیت نگر و مقاومت نهایی پایه ها می شود.

ما و همکاران [۴]، در سال ۲۰۱۲ در یک پژوهش آزمایشگاهی، مقاله ای پیرامون تخریب عملکرد لرزه ای ستون های بتن مسلح آسیب دیده در اثر خوردگی آرماتورها نوشتند. از نتایج آزمایشات انجام شده توسط این نویسندگان می توان دریافت که سطوح خوردگی بالاتر و بارهای محوری بیشتر منجر به حلقه های هیستریک با پایدار کمتری می شود و همچنین خوردگی باعث کاهش مقاومت و سختی بیشتری تحت

بارهای لرزه ای می گردد. از دیگر نتایج این آزمایش می توان دریافت که شکل پذیری ستون های خورده شده نیز نسبت به ستون های بتن مسلح خورده نشده کاهش می یابد.

مدا و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۴ در یک مطالعه آزمایشگاهی بررسی کردند که چگونه اثر خوردگی بر میلگردها می تواند منجر به کاهش شکل پذیری سازه شود، به طوری که می تواند به یک جنبه حیاتی به ویژه برای سازه ها در مناطق لرزه خیز تبدیل شود. نتایجی که از آزمایش خوردگی ۹ میلگرد به دست آوردند نشان می دهد که نیروهای تسلیم نسبت به حالت خورده نشده به شدت کاهش می یابند. میلگردهای تقویت کننده فولادی تعبیه شده در بتن دلیل وجود حفره ها، دچار کاهش شدیدی از نظر شکل پذیری نیز می شوند. نتایج نهایی نمونه های خورده نشده و نمونه های خورده در نهایت با هم مقایسه می شوند که می توان به این موضوع اشاره کرد که ستون خورده شده دچار کاهش حداکثری مقاومت می شوند؛ علاوه بر آن، کاهش شدید سختی، که در دو سیکل آخر نمونه های خورده رخ می دهد، باید مورد توجه مطالعه کنندگان قرار گیرد. همچنین در این مقاله این موضوع بررسی شده است که میلگردهای تعبیه شده در بتن اغلب دچار خوردگی حفره ای می شوند در حالی که میلگردهای خام، اغلب دچار خوردگی یکنواخت می گردند.

بیوندینی و همکاران [۶]، در سال ۲۰۱۴ در مقاله خود، فرمول بندی برای تیر المان محدود بتن مسلح فرسوده سه بعدی برای تحلیل غیرخطی خوردگی سازه های بتنی ارائه دادند. در این مقاله آسیب های خوردگی، از طریق کاهش سطح مقطع میلگردهای خورده شده مدلسازی شده است. کاهش شکل پذیری میلگردهای فولاد تقویت کننده و کاهش مقاومت بتن به دلیل شکافتن ترک ها، لایه لایه شدن و پوسته پوسته شدن پوشش بتنی از جمله تأثیرات خوردگی بر پایه های بتن مسلح می باشد. همچنین با کاهش سطح مقطع میلگردها در اثر خوردگی، مقاومت میلگردها به طور تقریبی کاهش می یابد. در نهایت نتایج نهایی این مقاله نشان می دهد که برخلاف خوردگی یکنواخت، خوردگی حفره ای تأثیر بیشتری بر پاسخ لرزه ای اجزای پل دارد.

در سال ۲۰۱۷ یوان و همکاران [۷] در مورد پل های ساحلی که در معرض تهاجم یون های کلرید قرار دارند مقاله ای نوشتند، پل های ساحلی که در این محیط تهاجمی واقع شده اند در برابر آسیب های خوردگی بسیار آسیب پذیرتر هستند و ظرفیت مقاومت این سازه ها در برابر بارهای لرزه ای کاهش می یابد. با تمرکز بر خوردگی حفره ای، این مقاله به بررسی حالت های شکنندگی وابسته به زمان و طول مفصل پلاستیکی معادل پایه های پل های پیر تحت تحریک بارهای لرزه ای در کل چرخه حیات می پردازد. از نتایج این مقاله می توان این موضوع اشاره کرد که حالت های شکنندگی لرزه ای پایه های پل خورده شده در محیط دریایی به حالت قرارگیری پایه ها در محیط خورنده بستگی دارند؛ برای مثال در حالت غوطه وری در آب حاوی یون کلرید، شکست سخت تری را نسبت به حالت قرارگیری در معرض اتمسفر یون کلرید مشاهده می کنیم.

در سال ۲۰۱۸ دنگ و همکاران [۹] مقاله ای پیرامون خوردگی

4 Meda et al.

5 Biondini et al.

6 Yuan et al.

7 Deng et al.

میلگردهای فولادی نوشتند. از جمله نتایج این مقاله می‌توان این موارد اشاره کرد که خوردگی میلگردهای تقویت کننده فولادی بر قابلیت سرویس‌دهی لرزه‌ای و ظرفیت لرزه‌ای پل‌های بتن مسلح، تأثیر منفی می‌گذارد و آسیب پذیری آنها را در برابر زلزله افزایش می‌دهد و همچنین آسیب خوردگی در اعضای بتن مسلح پل را می‌توان تحت زلزله با PGA های کوچک نادیده گرفت. خوردگی حفره‌ای یا همان خوردگی غیریکنواخت در اعضای بتن مسلح پل‌ها می‌تواند باعث کاهش شکل پذیری شود.

کوی و همکاران^۸ [۱۰]، در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای، در مورد خوردگی غیر یکنواخت اعضای بتن مسلح پل‌ها نوشتند و بدین نتیجه رسیدند که خوردگی در بتن تقویت‌شده با میلگرد، خود را به صورت ترک خوردگی و یا پوسته‌پوسته شدن نشان می‌دهد. آنان دریافتند که در تحلیل شکنندگی لرزه‌ای و ارزیابی قابلیت اطمینان پل‌های بتن مسلح برخی از پژوهشگران دیگر نرخ خوردگی را در طول زمان ثابت فرض می‌کردند با این حال، مطالعات تجربی نشان می‌دهد که نرخ خوردگی آرماتورها در محیط‌های کلریدی تغییرات زیادی در طول عمر سرویس خود می‌کند.

وانگ و همکاران^۹ [۱۱] در سال ۲۰۲۱، در مقاله نوشته شده خود بدین نتیجه رسیدند که، مقاومت لرزه‌ای پایه‌های پل‌های بتن مسلح در طول زمان به دلیل فرایندهای تخریب تدریجی مانند خوردگی آرماتورها، کاهش می‌یابد. استفاده از پوشش تقویتی بتن مسلح با الیاف انعطاف‌پذیر ممکن است این خرابی‌ها را کاهش دهد. همچنین روش‌های فعلی برای تخمین زوال و کاهش ظرفیت را نمی‌توان برای پایه‌های پل با پوشش ساخته شده از یک الیاف شکل‌پذیر که رفتاری متفاوت از بتن معمولی دارد، اعمال کرد.

هو و همکاران^{۱۰} [۱۲] در سال ۲۰۲۱، پل‌هایی را که در مناطق ساحلی که تحت حملات یون‌های کلرید قرار دارند تحلیل کردند و دریافتند یون‌های کلرید نه تنها خوردگی پل‌ها را شدت می‌دهند بلکه به طور قابل توجهی در طول زمان مکانیسم‌های انتشار آسیب و توزیع آسیب لرزه‌ای را تغییر می‌دهد. نتایج تحقیقاتی که انجام دادند، نشان می‌دهد که خوردگی ناشی از یون‌های کلرید موجود سواحل دریایی ممکن است منجر به آسیب‌پذیر لرزه‌ای بیشتری در سطح پایینی ستون پل که در مجاورت بیشتر آب حاوی یون کلرید قرار دارد، نسبت به بخش‌های دیگر پایه‌ها شود.

تنگتاکبی و همکاران^{۱۱} [۱۳] در سال ۲۰۲۲ در مقاله خود نوشتند که یکی از عوامل مؤثر در تخمین عمر مفید پل‌های بتن مسلح تعیین عملکرد لرزه‌ای بلند مدت این سازه‌ها می‌باشد. خوردگی ناشی از انتشار یون کلرید منجر به تخریب اعضای مهم پل‌های بتن مسلح در طول عمر مفید سازه می‌شود. بنابراین، عملکرد بلندمدت لرزه‌ای پل در مرور زمان کاهش می‌یابد. دیگر نتایج این مقاله نشان می‌دهد که ظرفیت لرزه‌ای پل به مرور زمان به دلیل خوردگی کاهش می‌یابد.

یوان و همکاران در سال ۲۰۲۳ [۱۴] دریافتند که پایه‌های پل‌های ساحلی به دلیل خوردگی غیریکنواخت و عدم قطعیت در ویژگی‌های مواد، دچار وخامت عملکرد می‌گردند. برخی از این پایه‌ها نیز در طول یک دوره خدمات رسانی طولانی مدت توسط زلزله‌های تصادفی تهدید می‌شوند و بنابراین، ایمنی سازه باید به صورت احتمالی با روش قابلیت اطمینان لرزه‌ای ارزیابی شود. برای مقابله با این مشکل، آنها روشی را برای محاسبه قابلیت اطمینان وابسته به زمان پایه پل‌های ساحلی، با در نظر گرفتن تصادفی بودن رویدادهای لرزه‌ای، خوردگی غیریکنواخت و عدم قطعیت مواد ارائه دادند. روش پیشنهادی این مطالعه در مورد پایه پل ساحلی نشان می‌دهد که افزایش آسیب خوردگی به وضوح به قابلیت اطمینان وابسته به زمان بستگی دارد. نتایج تحقیق ارائه شده در نهایت نشان می‌دهد که تجمع خوردگی غیریکنواخت بر قابلیت اطمینان لرزه‌ای وابسته به زمان مربوط به حالت شکست پایه پل ساحلی تأثیر می‌گذارد.

حامد و همکاران [۱۵]، در یک مطالعه آزمایشگاهی در سال ۲۰۲۳ دریافتند که خوردگی آرماتورهای فولادی در سازه‌های بتنی مانند پل‌ها، کارخانه‌های صنعتی، سازه‌های دریایی و ساختمان‌های ساحلی یک نگرانی رو به رشد است و همچنین خوردگی منجر به پوسته‌شدن، ترک خوردن و کاهش قطر آرماتور می‌شود که می‌تواند یکپارچگی سازه را به خطر بیندازد. از نتایج نهایی این آزمایش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با افزایش قطر کاور بتنی این ستون‌های بتن مسلح، میزان نفوذ یون کلرید به پایه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه خوردگی در میلگردهای تقویت کننده کاهش می‌یابد.

نام نویسنده	سال	حالت خوردگی	نوع تحقیق	نتایج
گاش و همکاران [۳]	۲۰۱۰	یکنواخت	عددی	• خوردگی، سبب کاهش ظرفیت لرزه‌ای پایه‌ها می‌شود. • خوردگی، مقاومت نهایی میلگردها را کاهش می‌دهد.
درماوان [۱۶]	۲۰۱۰	یکنواخت/غیر یکنواخت	عددی	• اثر خوردگی یکنواخت بر کاهش مقاومت خمشی و مقاومت برشی در تیرهای بتن مسلح نسبت به خوردگی حفره‌ای بیشتر است.

8 Cui et al.

9 Wang et al.

10 Hu et al.

11 Tangtakabi et al.

ما و همکاران [۴]	۲۰۱۲	یکنواخت	آزمایشگاهی	• در اثر خوردگی پایه‌ها مقاومت، سختی و شکل‌پذیری در میلگردها کاهش می‌یابد.
کاشانی و همکاران [۱۷]	۲۰۱۳	غیر یکنواخت	آزمایشگاهی	• خوردگی موجب کاهش تغییر شکل پلاستیک میلگردها در کشش می‌شود. • توزیع شکل حفره‌های ایجاد شده در سطح مقطع مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار در تنش و کرنش فشاری و کششی میلگردها می‌باشد.
بیوندینی و همکاران [۶]	۲۰۱۴	یکنواخت/غیر یکنواخت	عددی	• یکی از شکل‌های بارز خوردگی در پایه‌ها پوسته‌پوسته‌شدن و ترک خوردگی پوشش بتن است.
مدا و همکاران [۵]	۲۰۱۴	یکنواخت/غیر یکنواخت	آزمایشگاهی	• میلگردهای تعبیه شده در بتن اغلب دچار خوردگی حفره‌ای می‌شوند. • میلگردهای خام که در بتن قرار نگرفته‌اند، اغلب دچار خوردگی یکنواخت می‌شوند. • کاهش مقاومت نهایی و تسلیم و همچنین کرنش نهایی میلگردها در خوردگی یکنواخت نسبت به خوردگی حفره‌ای کمتر است.
رائو و همکاران [۱۸]	۲۰۱۶	یکنواخت	عددی	• با افزایش فاصله سازه از ساحل، میانگین زمان شروع خوردگی افزایش پیدا می‌کند. • با افزایش ضخامت پوشش بتنی، میانگین زمان شروع خوردگی افزایش می‌یابد. • مقدار خوردگی ایجاد شده در پایه‌ها در ناحیه پاشش یون کلرید موجود در آب از ناحیه اتمسفر یون کلرید بیشتر است. • با افزایش خوردگی در پایه‌ها تقاضای لرزه‌ای (دریافت) افزایش پیدا می‌کند.
گاش و همکاران [۱]	۲۰۱۶	یکنواخت/غیر یکنواخت	عددی	• خوردگی، سبب کاهش ظرفیت باربری لرزه‌ای پایه‌های بتن مسلح می‌شود. • خوردگی حفره‌ای به دلیل کاهش بیشتر سطح مقطع نسبت به خوردگی یکنواخت، تأثیر بیشتری بر افزایش آسیب‌پذیر لرزه‌ای پل‌های بتن مسلح دارد. • اثر خوردگی در پاسخ لرزه‌ای اعضای مختلف پل‌ها متفاوت است. به عنوان مثال خوردگی باعث افزایش پاسخ لرزه‌ای انحنای ستون‌ها، کاهش پاسخ لرزه‌ای کوله‌های ثابت می‌شود.
یوان و همکاران [۷]	۲۰۱۷	یکنواخت	عددی	• با توجه به نحوه قرار گیری پایه‌ها در معرض حملات یون کلرید، خوردگی ایجاد شده در اثر پاشش یون کلرید موجود در آب و جزرومد آن نسبت به حالت قرارگیری در معرض اتمسفر یون کلرید بیشتر است. • تغییر شکل نهایی و تسلیم میلگردها در اثر خوردگی کاهش می‌یابد.
افسر دیزج و همکاران [۱۹]	۲۰۱۷	یکنواخت/غیر یکنواخت	عددی	• هرچه ضخامت پوشش بتنی بیشتر باشد، تاثیر خوردگی بر کاهش ظرفیت لرزه‌ای میلگردها کمتر است. • خوردگی باعث کماتش غیرارجاعی در میلگردهای طولی می‌شود. • تاثیر خوردگی بر کاهش شکل‌پذیری میلگردها نسبت به کاهش ظرفیت خمشی آنها بیشتر است.
یوان و همکاران [۸]	۲۰۱۸	غیر یکنواخت	آزمایشگاهی	• با افزایش مقدار خوردگی در پایه‌ها، رفتار لرزه‌ای سازه اعم از مقاومت لرزه‌ای، تغییر شکل و ظرفیت اتلاف انرژی کاهش می‌یابد.
دنگ و همکاران [۹]	۲۰۱۸	یکنواخت	عددی	• تاثیر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پل‌ها در زلزله‌ها با شدت لرزه‌ای کم، کوچک و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. • خوردگی باعث کاهش مقاومت تسلیم میلگردهای تقویت‌کننده می‌گردد که در نهایت موجب کاهش شکنندگی لرزه‌ای پل‌ها می‌شود.
کوی و همکاران [۱۰]	۲۰۱۸	غیر یکنواخت	عددی	• در محیط‌های ساحلی، شدت خوردگی در میلگردها پس از شروع ترک خوردگی پوشش بتنی افزایش می‌یابد. • شدت خوردگی در پایه‌ها پس از ۲۵ سال از شروع خوردگی، به سرعت بیشتری افزایش می‌یابد.

با افزایش عمر پل‌ها، شدت خوردگی در پایه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه در پایه‌ها کاهش جرم بیشتری مشاهده می‌شود. با افزایش شدت خوردگی و کاهش جرم میلگردها، کاهش ظرفیت لرزه‌ای و افزایش تقاضای لرزه‌ای در پایه‌ها مشاهده می‌شود.	عددی	یکنواخت	۲۰۱۸	یانویراساک و همکاران [۲۰]
با افزایش عمر پل، شدت خوردگی پایه‌ها و خطر آسیب پذیری سازه در برابر بارهای لرزه‌ای افزایش می‌یابد.	عددی	یکنواخت	۲۰۱۹	ویشوانات و همکاران [۲۱]
خوردگی باعث افزایش احتمال کمانش غیرارجاعی میلگردها تاثیر می‌شود. در سطوح پایین‌تر خوردگی، شکل پذیری ستون‌های دایره‌ای نسبت به ستون‌های مستطیلی بیشتر است، برای مثال درحالی که ستون‌های مستطیلی در یک تغییر شکل جانبی مشخص فرو می‌ریزند، ستون‌های دایره‌ای به تدریج گسیخته می‌شوند.	عددی	یکنواخت	۲۰۲۰	افسر دیزج و همکاران [۲۲]
با افزایش سطوح خوردگی، ظرفیت باربری پایه‌ها، شکل پذیری و اتلاف انرژی تجمعی آنان کاهش می‌یابد. در مواردی که خوردگی شدید در پایه‌ها رخ می‌دهد، محل تشکیل مفصل پلاستیک از پایین پایه‌ها به محل رخداد خوردگی انتقال می‌یابد.	آزمایشگاهی	غیر یکنواخت	۲۰۲۱	ژائو و همکاران [۲۳]
پس از ایجاد ترک‌های اولیه در پوشش بتنی، سرعت خوردگی در میلگردها به شدت افزایش می‌یابد. خوردگی ناشی از نفوذ یون کلرید به پایه‌ها، منجر به کاهش قابل توجه ظرفیت باربری پل‌ها می‌شود.	عددی	غیر یکنواخت	۲۰۲۱	دی و همکاران [۲۴]
با تقویت ستون‌های بتن مسلح خورده شده با پوشش FRC احتمال آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها نسبت به ستون‌های خورده شده با پوشش بتنی معمولی کاهش می‌یابد.	عددی	غیر یکنواخت	۲۰۲۱	وانگ و همکاران [۱۱]
خوردگی پایه‌ها، موجب افزایش احتمال خرابی لرزه‌ای آنها می‌شود. خوردگی ناشی از یون کلرید در پایه‌ها مقاومت تسلیم مقطع را کاهش داده و موجب افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها می‌شود.	عددی	یکنواخت/غیر یکنواخت	۲۰۲۱	هو و همکاران [۱۲]
در خوردگی‌های شدید کلریدی، شاخص قابلیت اطمینان لرزه‌ای پایه‌های بتن مسلح، به شدت کاهش می‌یابد.	عددی	غیر یکنواخت	۲۰۲۲	سیفی اصغشر [۲۵]
ظرفیت باربری پل‌ها به مرور زمان به دلیل خوردگی کاهش می‌یابد. از آنجایی که پوشش میلگردهای عرضی از میلگردهای طولی کمتر است، خوردگی در آنها سریع‌تر شروع می‌شود. برای نمونه: خوردگی در میلگردهای عرضی ۳/۸ برابر بیشتر از یک میلگردهای طولی است. شکل‌پذیری و اتلاف انرژی در میلگردهای خورده شده کاهش می‌یابد.	عددی	یکنواخت	۲۰۲۲	تنگتاکبی و همکاران [۱۳]
خوردگی منجر به کاهش استحکام پیوند بین فولاد و بتن می‌شود. خوردگی در پایه‌ها سبب کاهش سختی خمشی در میلگردها می‌شود. خوردگی باعث کاهش ظرفیت اتلاف انرژی و ظرفیت برشی ستون‌های پل‌ها می‌شود.	عددی	غیر یکنواخت	۲۰۲۳	کومار دووندیران و همکاران [۲۶]
پوشش بتنی ضخیم‌تر مقاومت بیشتری در برابر خوردگی ایجاد می‌کند. خوردگی در پایه‌ها منجر به کاهش ظرفیت باربری آنها می‌شود.	آزمایشگاهی	غیر یکنواخت	۲۰۲۳	حامد و همکاران [۱۵]
در حالت غوطه‌وری پایه‌ها در یون کلرید، احتمال خرابی لرزه‌ای وابسته به زمان پایه‌های پل‌های ساحلی نسبت به دیگر حالت‌های حملات یون کلرید بیشتر است.	عددی	غیر یکنواخت	۲۰۲۳	یوان و همکاران [۱۴]

جدول (۳): طبقه‌بندی مقالات منتشر شده از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ بر حسب نوع خوردگی و نوع پژوهش

در جدول ۳، دسته‌بندی مقالات نوشته شده بر حسب نوع تحقیق (عددی و یا آزمایشگاهی) و حالت خوردگی مورد بررسی در ۱۳ سال اخیر ارائه و نتایج مقالات به صورت خلاصه وار آورده شده است. با توجه به جدول شماره ۳ ملاحظه می‌شود که کاهش ظرفیت لرزه‌ای پل‌ها از جمله تاثیرات خوردگی بر پایه‌های بتن مسلح پل‌ها است ([۳]، [۱]، [۱۹] و [۲۰]). با افزایش شدت خوردگی مقاومت لرزه‌ای سازه‌های پل کاهش پیدا می‌کند ([۴]، [۸]، [۹] و [۱۲]). از دیگر نتایج مقالات گردآوری شده می‌توان بدین موضوع اشاره کرد که خوردگی باعث کاهش سختی پایه‌ها ([۴] و [۲۶]) و کاهش شکل‌پذیری سازه نیز می‌شود ([۴]، [۶]، [۷]، [۱۹] و [۱۳]). با توجه به نتایج مقاله افسر دیزج و همکاران [۲۲] در سطوح خوردگی پایین‌تر، ستون‌های دایره‌ای نسبت به ستون‌های مستطیلی رفتار شکل‌پذیرتری دارند. و مقاومت بیشتری در برابر فرو ریزش ناشی از بارهای جانبی دارند.



(ب)



(الف)

شکل (۴): (الف) نمودار دایره‌ای توزیع نوع تحقیقات انجام شده در حیطه خوردگی. (ب) نمودار دایره‌ای توزیع نوع خوردگی در نظر گرفته شده در مقالات.

از شکل ۴ (الف)، نتیجه می‌شود که مقالات چاپ شده عددی به نسبت مقالات آزمایشگاهی (۷۶ به ۲۴ درصد)، بیشتر است. همچنین ملاحظه می‌شود (شکل ۴ (ب)) ۳۳ درصد از مقالات به مطالعه خوردگی یکنواخت، ۴۲ درصد به خوردگی غیریکنواخت و ۲۵ درصد به مطالعه هر دو نوع خوردگی پرداخته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با توجه به افزایش توجه‌ها در مورد موضوع اثر خوردگی در رفتار لرزه‌ای پایه‌های بتن مسلح، ۲۵ مقاله در این زمینه در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۳ به بررسی قرار گرفته است که نتایج جمع‌آوری شده به صورت خلاصه ارائه می‌شود.

- ۱- پوشش بتنی در پایه‌های بتن مسلح به عنوان خط اولیه دفاع در برابر خوردگی آرماتورها عمل می‌کند و خوردگی در اثر یون کلرید در پوشش بتنی پایه‌ها باعث ترک خوردگی و یا پوسته‌پوسته شدن می‌شود و بعد از نفوذ یون کلرید در درون ترک‌های ایجاد شده، خوردگی در میلگردها رخ می‌دهد که باعث کاهش سطح مقطع و کاهش جرم میلگردهای تقویت کننده می‌شود لازم به ذکر است از آنجایی که پوشش میلگردهای عرضی از میلگردهای طولی کمتر است، خوردگی در میلگردهای عرضی سریع‌تر شروع می‌شود. در نهایت خوردگی منجر به کاهش استحکام پیوند بین فولاد و بتن، کاهش سختی خمشی میلگردها، کاهش مقاومت لرزه‌ای، کاهش ظرفیت اتلاف انرژی و کاهش شکل‌پذیری در میلگردها می‌گردد.
- ۲- تاثیر خوردگی بر رفتار لرزه‌ای پل‌های چنددهانه در زلزله‌ها با

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی در ساختمان هوشمند

سجاد مرشدی یوسف آباد

کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

sajjadmorshedi81@gmail.com



چکیده

هدف از این مقاله بررسی عملکرد هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم ژنتیک در ساختمان های هوشمند است که استفاده از آنها می تواند بر روی رفاه ساکنین و امنیت هر چه بیشتر آنها تاثیر بگذارد. در مقاله پیش رو از سایت ها، مقالات و کتب معتبر در این زمینه استفاده شده است. این مقاله تلاش دارد با شناساندن ابزارهای هوش مصنوعی و پارامترهایی که توسط الگوریتم ژنتیک به دست می آیند، قدمی مهم در راستای توسعه ساختمان های هوشمند و پایدار بردارد.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، هوشمندسازی، الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، مدیریت انرژی

۱- مقدمه

برای هوشمندسازی یک ساختمان، مجموعه ای از تجهیزات و سیستم های مختلف در سازه کار گذاشته می شود. با استفاده از این تجهیزات و سیستم ها، می توان ساختمان هایی را طراحی کرد و ساخت که مصرف انرژی را به طور قابل توجهی کاهش و امنیت و آسایش ساکنین را به طور چشمگیری افزایش می دهند، خدمات رفاهی متنوعی را به ساکنین ارائه می نمایند و با محیط زیست سازگار هستند. به طور کلی این تجهیزات ساختمانی را می توان در دسته های زیر طبقه بندی کرد:

۱-۲- سیستم های اتوماسیون

سیستم روشنایی هوشمند: شامل لامپ های LED هوشمند، سنسورهای حرکتی و دیمرها برای تنظیم نورپردازی بر اساس نیاز و حضور ساکنین

سیستم تهویه مطبوع هوشمند: شامل ترموستات های هوشمند، دریچه های تهویه هوشمند و سنسورهای دما و رطوبت برای تنظیم دمای مطبوع و تهویه مناسب

سیستم مدیریت انرژی: شامل کنترلرهای هوشمند، سنسورهای مصرف انرژی و الگوریتم های بهینه سازی برای مدیریت و کاهش مصرف انرژی

سیستم امنیتی هوشمند: شامل دوربین های مدار بسته، دزدگیرها، قفل های هوشمند و سیستم های تشخیص نفوذ برای ارتقای امنیت ساختمان

۲-۲- شبکه های ارتباطی

شبکه های بی سیم: برای اتصال تجهیزات و سیستم های مختلف به یکدیگر و به اینترنت

با رشد روزافزون جمعیت و نیاز به منابع انرژی، ضرورت توسعه ساختمان های هوشمند که بهینه تر، پایدارتر و سازگارتر با محیط زیست باشند، بیش از پیش احساس می شود. هوش مصنوعی و الگوریتم های مربوط به آن مانند الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزارهایی قدرتمند، پتانسیل های فراوانی برای ارتقای کارایی و هوشمندسازی ساختمان ها در زمینه های مختلف، از جمله مدیریت انرژی، تهویه مطبوع، روشنایی، امنیت و آسایش ساکنین ارائه می کنند.

با وجود پیشرفت های چشمگیر در زمینه هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، هنوز چالش های متعددی در مسیر استفاده بهینه از این فناوری در ساختمان های هوشمند وجود دارد. پیچیدگی و تنوع سیستم های موجود در ساختمان های هوشمند، نیاز به حجم عظیمی از داده ها برای آموزش الگوریتم های هوش مصنوعی، هزینه های بالای پیاده سازی و نگهداری سیستم های مبتنی بر هوش مصنوعی از جمله این چالش ها هستند.

این مقاله با بررسی و تحلیل کاربردهای هوش مصنوعی و الگوریتم های ژنتیک در ساختمان های هوشمند، به دنبال ارائه راهکارهایی برای حل چالش های موجود و تسريع روند همه گیری این فناوری ها در صنعت ساختمان است.

۲- ساختمان هوشمند چیست؟

ساختمان هوشمند ساختمانی است که با ترکیب چهار عنصر اصلی یعنی سیستم، ساختار، خدمات، مدیریت و ارتباط بین آنها، محیطی پویا و مقرون به صرفه داشته باشد. به عبارت دیگر، ساختمان هوشمند، ساختمانی است که در آن تمامی اجزای داخلی آن از طریق منطقی و سازگار با محیط، با یکدیگر تعامل دارند [۱].

۲-۳- سنسورها

سنسورهای حرکتی: برای تشخیص حضور و حرکت افراد در فضاهای مختلف

سنسورهای دما و رطوبت: برای تنظیم دمای مطبوع و تهویه مناسب
سنسورهای نور: برای تنظیم نورپردازی بر اساس میزان نور طبیعی
سنسورهای کیفیت هوا: برای پایش کیفیت هوای داخل ساختمان

۲-۴- سیستم‌های هوش مصنوعی

الگوریتم‌های یادگیری ماشین: برای تحلیل داده‌ها، پیش‌بینی رفتار ساکنین و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها
سیستم‌های تشخیص چهره: برای کنترل تردد و ارتقای امنیت
دستیاران مجازی: برای ارائه خدمات رفاهی و پاسخگویی به سؤالات ساکنین

۲-۵- تجهیزات جانبی

ترموستات‌های هوشمند: برای تنظیم دمای مطبوع
قفل‌های هوشمند: برای کنترل تردد و ارتقای امنیت
پرده‌های برقی: برای تنظیم نورپردازی و حفظ حریم خصوصی
صفحه‌های لمسی: برای کنترل و مدیریت سیستم‌های مختلف
علاوه بر تجهیزات و سیستم‌های ذکر شده، ابزارهای سازه‌ای نیز در ساختمان‌های هوشمند به کار می‌روند که به بهین‌سازی عملکرد و ارتقای کارایی ساختمان کمک می‌کنند. برخی از این ابزارها عبارت‌اند از:

۲-۶- سیستم‌های عایق بندی

عایق‌های حرارتی: برای جلوگیری از هدر رفتن گرما و سرما و بهینه‌سازی مصرف انرژی
عایق‌های صوتی: برای کاهش آلودگی صوتی و ایجاد فضایی آرام

۲-۷- سیستم‌های روشنایی طبیعی

پنجره‌های هوشمند: برای تنظیم میزان نور طبیعی ورودی به ساختمان
سقف‌های شیشه‌ای: برای استفاده حداکثری از نور طبیعی

۲-۸- سیستم‌های تهویه طبیعی

دریچه‌های تهویه هوشمند: برای تهویه مناسب و جلوگیری از اتلاف انرژی
سیستم‌های خنک‌کننده طبیعی: مانند برج‌های خنک‌کننده

۲-۹- سیستم‌های مدیریت آب

شیرهای هوشمند: برای کنترل و مدیریت مصرف آب
سیستم‌های جمع‌آوری آب باران: برای استفاده از آب باران در مصارف غیرآشامیدنی

۲-۱۰- سیستم‌های مدیریت پسماند

سیستم‌های تفکیک زباله: برای تفکیک زباله از مبدأ و بازیافت مواد
سیستم‌های کمپوست: برای تبدیل زباله‌های آلی به کود

۲-۱۱- مصالح هوشمند

مصالح خود ترمیم‌شونده: برای ترمیم خودکار ترک‌ها و آسیب‌های جزئی

مصالح تغییر فاز دهنده: برای ذخیره و آزادسازی انرژی گرمایی
تا به اینجا به توضیح و تشریح ساختمان هوشمند پرداخته شد. در ادامه روش استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک در راستای هوشمندسازی شرح داده خواهد شد.

۳- الگوریتم ژنتیک، تقلیدی از طبیعت برای حل مسائل پیچیده

الگوریتم ژنتیک^۱ یا به اختصار GA یک مدل از یادگیری ماشین می‌باشد که رفتار آن از مکانیسم تکامل در طبیعت الهام گرفته شده است [۲]. این الگوریتم‌ها برای یافتن راه حل‌های تقریبی بهینه برای مسائل پیچیده در حوزه‌های مختلف از جمله مهندسی، علوم کامپیوتر، اقتصاد و زیست‌شناسی به کار می‌روند.

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم جستجو و بهینه‌سازی، در زیرمجموعه علوم کامپیوتر قرار می‌گیرد؛ اما به دلیل ماهیت آن، در سایر علوم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **هوش مصنوعی:** الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای حل مسائل پیچیده استفاده می‌کند.

- **علوم زیستی:** الگوریتم ژنتیک از مفاهیم و فرایندهای بیولوژیکی مانند وراثت، جهش و انتخاب طبیعی الهام گرفته شده است.

- **مهندسی:** الگوریتم ژنتیک در مهندسی برای حل مسائل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف از جمله طراحی هواپیما، طراحی خودرو و طراحی ربات به کار می‌رود.

- **اقتصاد:** الگوریتم ژنتیک در اقتصاد برای حل مسائل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف از جمله برنامه ریزی مالی، پیش‌بینی بورس و مدیریت ریسک به کار می‌رود.

۳-۱- تاریخچه الگوریتم ژنتیک

در سال ۱۸۵۰ گریگور مندل تئوری ژنتیک را با ارائه مفاهیمی مانند ژن، وراثت و صفات غالب و مغلوب پایه‌گذاری کرد. در سال ۱۸۵۹ چارلز داروین نظریه تکامل را با تکیه بر انتخاب طبیعی ارائه کرد [۳]. در سال ۱۹۵۰ جان هندلند ایده استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک را برای حل مسائل بهینه‌سازی مطرح کرد و در ادامه در سال ۱۹۵۴ اولین مقاله خود را در مورد الگوریتم‌های ژنتیک منتشر نمود [۴]. در سال ۱۹۷۰ اولین الگوریتم‌های ژنتیک توسط هالند و همکارانش برای حل مسائل ساده به کار گرفته شدند و پنج سال بعد اولین کتاب را در مورد الگوریتم‌های ژنتیک با عنوان «الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی بهینه» منتشر نمود. در سال ۱۹۸۰ رشد و توسعه الگوریتم‌های ژنتیک با ظهور کامپیوترهای

به عملکرد حرارتی از راه های دیگر جبران گردد؛ که به نوبه خود باعث تحمیل بار بیشتری به محیط و سیستم تهویه می شود. مشکل این است که در واقع پنجره ها تأثیر مهمی بر عملکرد محیطی ساختمان دارند و عدم توجه به این تأثیر، منجر به مشکلات بعدی می شود. اندازه بهینه پنجره ها به شرایط آب و هوایی، شیشه های مورد استفاده، جهت پنجره ها و نوع کاربری ساختمان بستگی دارد [۷].

۳-۶- طراحی و بهینه سازی HVAC (گرمایش، تهویه، تهویه مطبوع) خانه های سبز با الگوریتم ژنتیک

در این مقاله ابتدا مقدار بار حرارتی ساختمان آموزشی با استفاده از شرایط آب و هوایی دزفول و با استفاده از نرم افزار کریر^۲ و با نقشه مشخص محاسبه شده و سپس از آنجایی که این بار حرارتی توسط چیلرهای تراکمی تأمین می شود، با استفاده از الگوریتم ژنتیک نحوه چیدمان چیلرها بهینه شده و سپس نتایج مورد مقایسه قرار می گیرند. به طور کلی نتیجه این پژوهش این است که می توان مقادیر موثر در عملکرد حرارتی بنا را مورد ارزیابی و بهینه سازی قرار داد و توابع هدف مختلف طرح بهینه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک، که در هر مرحله جمعیتی از پاسخ های قابل قبول را دارد، ارائه نمود [۸].

۳-۷- بهینه سازی چندمنظوره قاب های خمشی بتن آرمه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش جمع وزنی توابع هدف

در این مقاله توابع هدف هزینه و جابه جایی برای بهینه سازی قاب های خمشی بتن آرمه معرفی شده اند. با استفاده از روش جمع وزنی توابع هدف^۳ مسئله بهینه سازی از حالت دوهدفه به حالت یک هدفه تبدیل شده و مدل های طراحی به صورت مجزا بهینه شده اند. مقطع تیرها و ستون ها به عنوان متغیرهای طراحی فرض شده اند و محدودیت های آیین نامه بتن آمریکا^۴ به صورت قیود طراحی در نظر گرفته شده اند. قاب های خمشی بتن آرمه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه (نماینده سازه های کوتاه، متوسط و بلند) به عنوان مدل های مطالعه معرفی شده و نسبت تنش در تیرها و ستون های جواب های بهینه برای تیپ های مختلف نشان داده شده اند [۹].

۳-۸- طراحی و بهینه سازی سامانه های استحصال آب باران

هنگام وقوع بارندگی، سطوح نفوذناپذیر شهری به عنوان مانعی در برابر نفوذ آب داخل خاک عمل کرده و موجب رواناب سطحی می گردد. طراحی سامانه های استحصال آب باران، علاوه بر کاهش رواناب و خسارات مربوطه، می تواند با تأمین بخشی از آب غیرشرب مورد نیاز، فشار وارد بر منابع آب را کاهش دهد. در این مقاله با هدف طراحی سامانه های استحصال آب باران در یک ساختمان ۴ طبقه در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ابتدا داده های بارش روزانه ایستگاه هواشناسی چیتگر تهیه گردید. سپس شبیه سازی سامانه های مذکور در محیط نرم افزار متلب انجام شد. همچنین درصد قابلیت اطمینان و نسبت سرریز در ازای حجم های مختلف مخزن برآورد گردید و در نهایت، بهینه سازی حجم مخزن با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد. نتایج نشان داد که

قدرتمندتر سرعت گرفت و اولین کنفرانس بین المللی در مورد الگوریتم های ژنتیک برگزار شد. در سال ۱۹۹۰ کاربرد الگوریتم های ژنتیک در زمینه های مختلف علمی و صنعتی گسترش یافت و اولین نرم افزارهای تجاری برای الگوریتم های ژنتیک به بازار عرضه شدند و امروزه الگوریتم های ژنتیک به عنوان ابزاری قدرتمند برای حل مسائل پیچیده در دنیای واقعی شناخته می شوند [۵].

۳-۲- زیرشاخه های الگوریتم ژنتیک

برنامه نویسی ژنتیک: برای تکامل برنامه های کامپیوتری

الگوریتم های ژنتیک تکاملی: برای حل مسائل بهینه سازی

محاسبات تکاملی: برای شبیه سازی فرایندهای تکاملی در طبیعت

۳-۳- روش کلی کاربرد الگوریتم ژنتیک

ایجاد جمعیت اولیه: مجموعه ای از راه حل های تصادفی برای مسئله مورد نظر ایجاد می شود.

ارزیابی: هر راه حل با استفاده از یک تابع برازش که معیاری برای سنجش کیفیت راه حل است، ارزیابی می شود.

انتخاب: راه حل های با برازش بهتر با احتمال بیشتری برای تولیدمثل انتخاب می گردند.

تولیدمثل: راه حل های جدیدی از راه حل های منتخب، از طریق عملگرهای تلاقی و جهش ایجاد می شوند.

تکرار: مراحل بالا تا زمان رسیدن به یک راه حل بهینه یا تقریباً بهینه تکرار می گردند [۲].

در ادامه به مقالات معتبر در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک در ساختمان هوشمند می پردازیم.

۳-۴- کاربرد روش الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی ساختمان های فولادی

در این تحقیق یک ساختمان قاب فولادی ساده ۱۰ طبقه با مهاربندی همگرا برای مطالعه انتخاب شده است. جهت تحلیل، طراحی و بهینه سازی از مقاطع فولادی با ابعاد متعارف و سیستم سقف و دیوار سبک مطابق با آیین نامه طرح و اجرای ساختمان های فولادی (مبحث دهم) و جهت برآورده شدن پارامترهای لرزه ای از آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم استفاده شده است. تابع هدف وزن سازه انتخاب گردید. با توجه به اپراتورهای ژنتیکی در قوای هر نسل برازندگی متوسط افراد افزایش می یابد؛ بطوریکه سازه حداقل وزن را داشته باشد و به شرطی که محدودیت های لرزه ای و طراحی را تا رسیدن به جواب بهینه و یا ارضای شرط همگرایی برآورده سازد [۶].

۳-۵- استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها

مشکلی که در اینجا مورد بررسی قرار می گیرد، تعیین اندازه پنجره های یک ساختمان به منظور تأمین روشنایی و شرایط حرارتی بهینه (گرمایش و سرمایش) است. اندازه پنجره های ساختمان معمولاً در مراحل پایانی طراحی بر اساس عواملی غیر از عملکرد حرارتی (و حتی گاهی نور) و به شکلی تعیین می شود تا مشکلات ناشی از این عدم توجه

2 Carrier

3 Weight Sum Approach

4 ACI

با توجه به بالا بودن حجم روزانه تقاضای آب در این ساختمان، سامانه استحصال آب باران، قابلیت اطمینان کمتری داشته و درصد کمی از روزهای سال می تواند نیاز غیرشرب ساکنین را تأمین نماید. تقاضای زیاد داخلی همچنین موجب گردیده تا میزان سرریز از مخازن این ساختمان بسیار اندک گردد. همچنین حجم بهینه مخزن در این ساختمان برابر با ۱ مترمکعب می باشد که با کمک آن، می توان حدود ۱۷۰ مترمکعب آب باران را ذخیره و استفاده نمود [۱۰].

۴- هوش مصنوعی، تکنولوژی در حال رشد

ما در عصری زندگی می کنیم که هوش مصنوعی تمام جنبه ها و ابعاد زندگی انسان را به طور کامل تسخیر کرده، اما رشد چشمگیری داشته و توانسته است خود را در خانه های هوشمند جای دهد.

هوش مصنوعی^۵، شاخه ای از علوم کامپیوتر است که به ساخت ماشین های هوشمند می پردازد. این ماشین ها می توانند وظایفی را مانند تشخیص و پردازش زبان طبیعی، یادگیری و استدلال، حل مسئله، تصمیم گیری، کنترل و رباتیک که معمولاً نیاز به هوش انسانی دارند، انجام دهند [۱۱].

هوش مصنوعی ابزاری قدرتمند برای حل مسائل پیچیده در دنیای واقعی است. این فناوری به دلیل مزایای متعددی که دارد، حتی با وجود برخی محدودیت ها، به طور گسترده ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۱- تاریخچه هوش مصنوعی

در قرن ۱۷ رنه دکارت ایده «ماشین تفکر» را مطرح کرد. قرن ۱۹ چارلز بابیج ماشین تحلیلی را طراحی نمود که به عنوان اولین کامپیوتر شناخته می شود. در قرن ۲۰ تحول بزرگی با ارائه تست تورینگ برای سنجش هوش ماشینی توسط آلن تورینگ و ابداع اصطلاح هوش مصنوعی توسط جان مک کارتی، اتفاق افتاد و در نهایت برنامه های هوش مصنوعی برای حل مسائل مختلف مانند بازی شطرنج، تشخیص چهره و پردازش زبان طبیعی توسعه یافت. در دهه های اخیر نیز یادگیری عمیق شبکه های عصبی مصنوعی به طور قابل توجهی پیشرفت کرد و هوش مصنوعی در صنایع مختلف مانند پزشکی، امور مالی، حمل و نقل و تولید به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفت [۱۱].

۴-۲- ارتباط هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک از تکامل طبیعی الهام گرفته شده است. هوش مصنوعی از الگوریتم های ژنتیک برای حل مسائل پیچیده مانند بهینه سازی، یادگیری و تصمیم گیری استفاده می کند. پس می توان گفت الگوریتم های ژنتیک به هوش مصنوعی کمک می کنند تا از داده ها یاد بگیرد و عملکرد خود را به طور خودکار انطباقی و کارآمد ارائه دهد.

۴-۳- زیرشاخه های هوش مصنوعی

یادگیری ماشین: به ماشین ها اجازه می دهد تا از داده ها یاد بگیرند و بدون برنامه ریزی صریح، عملکرد خود را ارتقا دهند.

شبکه های عصبی مصنوعی: از ساختار مغز انسان الهام گرفته شده

اند و می توانند برای حل مسائل پیچیده مانند: تشخیص چهره و پردازش زبان طبیعی به کار روند.

پردازش زبان طبیعی: به ماشین ها اجازه می دهد تا زبان انسان را درک و پردازش کنند.

بینایی ماشین: به ماشین ها اجازه می دهد تا تصاویر و ویدئوها را درک و پردازش نمایند.

رباتیک: به طراحی، ساخت، راه اندازی و کاربرد ربات ها می پردازد.

۵-۴- روش کلی کارکرد هوش مصنوعی

جمع آوری داده ها: داده های مورد نیاز برای آموزش مدل هوش مصنوعی جمع آوری می شوند.

پیش پردازش داده ها: داده ها برای آموزش مدل آماده می گردند.

انتخاب و آموزش مدل: مدل هوش مصنوعی مناسب با توجه به نوع مسئله انتخاب و با داده های جمع آوری شده آموزش داده می شود.

ارزیابی مدل: عملکرد مدل هوش مصنوعی با استفاده از داده های جدید ارزیابی می گردد.

استقرار مدل: مدل هوش مصنوعی در دنیای واقعی برای حل مسائل مورد نظر به کار گرفته می شود.

۶-۴- مثال هایی از کاربرد هوش مصنوعی در دیگر علوم

تشخیص و درمان بیماری ها: هوش مصنوعی می تواند برای تشخیص زود هنگام بیماری ها، تجویز دارو و ارائه خدمات مراقبتی به بیماران به کار رود.

پیش بینی و مدیریت ریسک: هوش مصنوعی می تواند برای پیش بینی بلایای طبیعی، تقاضای بازار و ریسک های مالی کاربرد داشته باشد.

خودروهای خودران: هوش مصنوعی برای توسعه و ساخت خودروهای خودران که بدون دخالت انسان می توانند رانندگی کنند، مورد بهره برداری واقع شود.

بهبود خدمات مشتری: هوش مصنوعی مقدار است برای ارائه خدمات بهتر به مشتریان مانند: پاسخگویی به سؤالات و ارائه پیشنهادات شخصی سازی شده، به کار رود.

تکنولوژی و محصولات که بر پایه هوش مصنوعی طراحی می شوند روز به روز در حال پیشرفت هستند و از طرفی، از نظر هزینه، به گزینه مناسب تری تبدیل می شوند. این امر باعث شده است که امروزه همه افراد اعم از ثروتمند و متوسط از این فناوری در کار و زندگی خود استفاده کنند و اتوماسیون خانه خود را بر اساس استفاده از ابزارهایی با فناوری هوش مصنوعی طراحی نمایند. با استفاده از هوش مصنوعی و ادغام آن در خانه، می توان کنترل بهتر و مؤثرتری را روی ابزار و لوازم خانگی اعمال کرد. با ورود هوش مصنوعی به خانه ها، صرفه جویی در مصرف انرژی بیشتر می شود. خانه ها از نظر ایمنی با افزایش سطح کیفی مواجه هستند و صاحبان خانه کمتر آسیب می بینند.

۷-۴- خانه هوشمند با ابزار خانگی اینترنتی

امروزه افراد می توانند از هوش مصنوعی در منازل خود در ابعاد مختلف مانند: برنامه ریزی، پخش رادیو و تلویزیون در منزل و یا استفاده

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



از آن به عنوان راهنما و حلال مشکلات در مواقع اضطراری استفاده کنند. با استفاده از این قابلیت در ابعاد پیشرفته تر می توانند در مواقعی که در خانه نیستند تغییراتی در عملکرد لوازم خانگی ایجاد نمایند، و یا به عبارت بهتر، از هوش مصنوعی بخواهند تا بهترین تصمیم را بگیرد.

۱-۷-۴- امنیت بیشتر

به عنوان مثال دوربین های کنترل از راه دور هوشمند با قابلیت اتصال به اینترنت این اطمینان را به شما می دهند که حتی در صورت نبودن شما هیچ اتفاقی در خانه نمی افتد و در صورت بروز هر تغییری، بلافاصله به شما و پلیس اطلاع داده می شود.

۲-۷-۴- هزینه کمتر در خانه هوشمند

به عنوان مثال، زمانی که شما در خانه نیستید، اما سیستم خنک کننده روشن است، سیستم هوشمند با علم به اینکه کسی در خانه نیست، به طور خودکار دستگاه را خاموش می کند و از هدر رفتن انرژی جلوگیری می نماید.

۳-۷-۴- تجهیزات هوشمند

برخی از تجهیزات خانه نیز مانند تلویزیون های هوشمند، سیستم روشنایی هوشمند، قفل های هوشمند، سنسور هوشمند درب و پنجره، دوربین های امنیتی هوشمند، تغذیه کننده حیوانات، آبیاری گیاهان و همچنین برخی تجهیزات سازه ای مانند ترموستات ها، پرده ها، سنسور نشت آب و اهرم شیر گاز هوشمند که از هوش مصنوعی استفاده می کنند و در ساختمان هوشمند استفاده می شوند [۱۲].

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، به بررسی کاربرد الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی در ساختمان هوشمند پرداختیم. با توجه به مطالعات انجام شده، می توان نتیجه گرفت که:

۱. الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی ابزارهای قدرتمندی برای ارتقای هوشمندی، کارایی و پایداری ساختمان ها و سازه ها هستند. الگوریتم ژنتیک می تواند برای بهینه سازی طراحی و ساخت، انتخاب مصالح مناسب و مدیریت هوشمند ساختمان ها به کار رود. هوش مصنوعی می تواند برای کنترل و اتوماسیون سیستم های مختلف، پیش بینی تقاضای انرژی، تشخیص و حل مشکلات و ارائه خدمات بهتر به ساکنین مورد استفاده قرار گیرد.

۲. ساختمان هوشمند با استفاده از الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی معنا می یابد. الگوریتم ژنتیک می تواند به هوش مصنوعی کمک کند تا از داده ها یاد بگیرد و عملکرد خود را به طور خودکار انطباقی و کارآمد ارائه نماید. هوش مصنوعی قادر است پلتفرمی را برای اجرای الگوریتم های ژنتیک در دنیای واقعی فراهم کند.

۳. ساختمان هوشمند نیاز جامعه بشری است. رشد جمعیت و کاهش منابع، نیاز به ساخت وسازه های پایدار و کارآمد را افزایش داده است. ساختمان های هوشمند می توانند مصرف انرژی را کاهش، امنیت را افزایش و کیفیت زندگی را ارتقا دهند.

۴. استفاده از الگوریتم ژنتیک و هوش مصنوعی در ساختمان

اولویت بندی سناریوهای آزمون درک خطر رانندگان اتوبوس تندروی شهری به روش آراس

امیرحسین زارعی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۳۹۹

amir.zarei@sbu.ac.ir



چکیده

ایمنی ترافیک و مطالعات رفتاری همواره به عنوان یکی از موضوعات مهم در حمل و نقل شهری مدنظر قرار می گیرند. یکی از زیرمجموعه های مطالعات رفتاری، به عنوان یک عامل مهم، در کاهش تصادفات رانندگی و افزایش ایمنی ترافیک و درک خطر رانندگی است. در سال های اخیر با افزایش آمار تصادفات، مدل های درک خطر کاربردهای بیشتری پیدا کرده اند و در کشورهای مختلف در حال استفاده هستند. در این پژوهش به اولویت بندی خطرات با استفاده از روش آراس برای به کارگیری در سناریوهای آزمون درک خطر و همچنین متغیرهای مؤثر بر درک خطر رانندگان اتوبوس تندروی شهری پرداخته شده است. بدین منظور، رانندگان یکی از پرتعدادترین و پرحادثه ترین خطوط ویژه اتوبوس تندروی شهری در تهران، یعنی خط خاوران-آزادی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد عبور موتورسوار و عابر پیاده از عرض خطوط ویژه اتوبوس، دارای بالاترین اولویت برای بکارگیری در آزمون درک خطر رانندگان اتوبوس می باشند. از نتایج این پژوهش می توان در آزمون های درک و پیش بینی خطرات رانندگان اتوبوس شهری، ارزیابی و آموزش رانندگان و ایمن سازی خطوط ویژه اتوبوس تندروی شهری استفاده نمود.

کلمات کلیدی: درک خطر، رانندگان اتوبوس تندروی شهری، سناریوهای درک خطر.

۱- مقدمه

ایران با برآورد نرخ ۲۲/۱۵ مرگ در هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در حوادث جاده ای در رتبه ۶۵ از ۱۸۳ کشور قرار داشته است که رتبه نامناسبی محسوب می گردد و نیازمند برنامه ریزی و همکاری دستگاه های اجرایی متولی در جهت کاهش این رتبه می باشد. آسیب های ناشی از تصادفات جاده ای در ایران نیز، یکی از پنج علت مهم مرگ و میر به شمار می رود؛ بنابراین در برنامه های توسعه کشور اهمیت این موضوع مورد توجه قرار گرفته و از دستگاه های مربوطه خواسته شده تا در جهت کاهش تلفات و حوادث جاده ای اقدامات لازم صورت گیرد. بر این اساس دولت مکلف است تا سازوکارهای لازم برای کاهش تلفات حوادث رانندگی را در دستور کار خود قرار دهد. لازمه دستیابی به این هدف، داشتن آمارهای صحیح و به هنگام است تا بر اساس این آمارها وضعیت موجود بررسی و اقدامات لازم صورت گیرد [۱].

بر مبنای آمار سازمان بهداشت جهانی (WHO) در خصوص تصادفات جاده ای در سال ۲۰۲۲، تعداد سالانه تلفات رانندگی در جاده ها ۱/۳۵ میلیون نفر بوده است. به طوری که هر ۲۴ ثانیه یک نفر در جاده های جهان کشته می شد. مرگ و میر ناشی از تصادفات جاده ای به عنوان یکی از عوامل شایع مرگ در بسیاری از مناطق، به ویژه کشورهای در حال توسعه در رده های سنی ۵ تا ۲۴ سال، بیشترین آمار را دارد. کشورهای کم درآمد

و متوسط، کمتر از نیمی از وسایل نقلیه جهان را در اختیار دارند. با این وجود، آنها بیش از ۹۰ درصد از کل مرگ و میرهای رانندگی را شامل می شوند.

شینار و میلر با تجزیه و تحلیل تصادفات نشان دادند که اکثریت قاطع آنها ناشی از خطاهای انسانی است [۲ و ۳]. همچنین بروسکی و همکاران بر اساس مطالعه تصادفات رانندگی به این نتیجه رسیدند که در ۹۵ درصد تصادفات عامل انسانی بسیار مهم و رفتار راننده به عنوان مهم ترین عامل شناخته شده است [۴].

یکی از عوامل انسانی که در خصوص تصادفات می بایست مدنظر قرار گیرد مهارت درک خطر رانندگی است که به عنوان توانایی تشخیص به موقع خطرات می باشد. درک خطر در مطالعات ۲۰ ساله اخیر دنیا همواره به عنوان یک عامل مهم محسوب می شده و حتی در سال های اخیر، به عنوان بخشی از آزمون گواهینامه مدنظر قرار گرفته شده است [۵].

در این پژوهش به معیار رتبه بندی خطرات موجود در خطوط ویژه اتوبوس تندروی شهری برای به کارگیری در طراحی آزمون درک خطر پرداخته خواهد شد. موارد مهم و اصلی که در طراحی آزمون باید منظور شود شناسایی سناریوهای مهم و رتبه بندی خطرات اصلی خطوط ویژه اتوبوس تندروی شهری می باشد تا بتوان در مراحل بعد، طراحی آزمون را مدنظر قرارداد.

درک خطر در رانندگی به توانایی راننده در پیش‌بینی موقعیت‌های بالقوه خطرناک در معابر و جاده‌ها اشاره دارد و بیش از ۵۰ سال است که موضوع تحقیق می‌باشد و می‌تواند گروه‌های رانندگان پرخطر و کم‌خطر را متمایز کند. مشکل این است که این مهارت نیز مهارتی است که به نظر می‌رسد برای کسب آن به چندین دهه تجربه رانندگی نیاز باشد. حال این سوال مطرح می‌شود که آیا تسریع این فرآیند یادگیری، از طریق ارزیابی و آموزش، به منظور بهبود ایمنی ترافیک ممکن و عملی است؟ ما شواهدی داریم که بر خلاف اکثر مداخلات آموزش و ارزیابی راننده، به نظر می‌رسد که آزمایش و آموزش درک خطر، توانایی کاهش خطر تصادف را دارد. به‌عنوان مثال، با گنجاندن یک آزمایش درک خطر در فرآیند صدور گواهینامه رانندگی در بریتانیا، تخمین زده شده است که سرعت کم رانندگان، نرخ تصادفات جاده‌ای عمومی را تا ۱۱/۴ درصد در سال بعد از آزمایش کاهش می‌دهد [۶].

در مطالعه‌ای که با موضوع مقایسه فرهنگی استراتژی‌های جستجوی بصری و زمان پاسخ رانندگان در آزمایش درک خطر جاده، توسط لیندرو و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام گرفت، عنوان شده است که درک خطر جاده، برجسته‌ترین مهارت شناختی مرتبه بالاتر مربوط به درگیری تصادفات رانندگی در نظر گرفته می‌شود. فرهنگ‌های منطقه‌ای و قوانین اجتماعی حاکم بر رفتارهای قابل قبول ممکن است بر تفسیر رانندگان از وضعیت ترافیک و در نتیجه شناسایی صحیح موقعیت‌های خطرناک تأثیر بگذارد. در اینجا، هدف ما مقایسه مهارت‌های درک خطر در میان چهار کشور اروپایی اوکراین، ایتالیا، اسپانیا و سوئد است که در فرهنگ ترافیک، سیاست‌های کاهش خطرات ترافیک و سقوط‌های مرگبار متفاوت هستند. ما یک تست درک خطر استاتیک ایجاد کردیم که در آن صحنه‌های رانندگی با سطوح مختلف توانایی ترمزگیری ارائه می‌شوند؛ در حالی که نگاه رانندگان ضبط شده است. در این آزمون لازم شد رانندگان عملیاتی را که انجام می‌دهند نشان دهند: ترمز، برای ادامه رانندگی. ما ۲۱۸ راننده بزرگسال جوان را ارزیابی کردیم. مدل‌های چندسطحی نشان دادند که سطح توانایی ترمزگیری صحنه‌ها به‌عنوان مثال، خطر جاده، رفتار رانندگان را تعدیل می‌کند. با افزایش سطح توانایی ترمزگیری، پاسخ رانندگان سریع‌تر و آنتروپی نگاه آنها کاهش می‌یابد به‌عنوان مثال، استراتژی جستجوی تصویری نامنظم‌تر می‌شود. کشور مبدأ بر این تأثیرات، نقش داشت. رانندگان اوکراین بیشترین و رانندگان سوئدی کمترین پاسخ را داشتند. برای همه کشورها، کاهش در زمان پاسخ در مورد رانندگان باتجربه کمتر مشاهده شد. همچنین، رانندگان اسپانیایی ساختاریافته‌ترین استراتژی جستجوی بصری را نشان دادند، در حالی که ایتالیایی‌ها ثابت‌ترین را داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که درک خطر جاده را می‌توان بین فرهنگی تعریف کرد، عوامل فرهنگی به‌عنوان مثال، شرایط ترافیکی، قانون زمان پاسخ و استراتژی‌های جستجوی بصری را تنظیم می‌کنند. نتایج ما همچنین از این ایده که یک روش ارزیابی چندحالتی برای آزمایش انبوه درک خطر جاده امکان‌پذیر است و نتایج آن برای درک اینکه چگونه فرهنگ‌های مختلف ترافیکی رفتار رانندگی را شکل می‌دهند پشتیبانی می‌کند [۷].

در مطالعه‌ای که با عنوان ارزیابی رانندگان جوان شامل سوالات درک خطر، پیش‌بینی خطر و تئوری سوالات توسط کراندل و همکاران در سال

۲۰۲۱ انجام گرفت، یک آزمایش خطر جدید با استفاده از انیمیشن رایانه‌ای با کیفیت بالا و حاوی ده خطر ایجاد شد. شصت راننده یادگیرنده و شصت راننده باتجربه، یا یک نسخه درک خطر از این آزمون (نیاز به پاسخ به موقع در برابر خطرات مادی شده) یا یک نوع پیش‌بینی خطر از آزمون (جایی که صفحه نمایش با مسدود شدن بعد چه اتفاقی می‌افتد؟) دارند.

خطر شروع می‌شود و از رانندگان خواسته می‌شود پاسخ دهند. مطالعات اخیر نشان داده است، که قالب آزمون پیش‌بینی با استفاده از فیلم طبیعت‌گرایانه، بهتر از قالب درک خطر است اما هنوز مطالعه‌ای در مورد تکرار این اثر با مواد متحرک کامپیوتری مشابه کیفیت موارد استفاده شده در آزمون رسمی درک خطر انگلیس، انجام نشده است. همچنین، آزمون جدید یازده سوال نظریه داشت که برای بررسی دانش رانندگان از قوانین جاده طراحی شده بود. نتایج نشان داد که هر دو نوع آزمون بین گروه‌های رانندگان با اندازه اثر قابل توجه تفاوت دارند. نمرات تئوری-سوال در گروه‌های یادگیرنده و راننده باتجربه قابل مقایسه بود که نشان دهنده آمادگی فراگیران برای آزمون و مسائل احتمالی کندی حافظه و رونویسی در گروه باتجربه است. به عنوان یک نکته جالب، بازی ویدئویی مربوط به رانندگی، با عملکرد درک خطر ارتباط منفی دارد، اما با نمرات پیش‌بینی خطر رابطه ندارد. برخی از خطرات فردی با قالب آزمون پیش‌بینی یا درک بهتر مطابقت دارند و احتمال آزمایش ترکیبی آینده را، که دوروش با هم ترکیب می‌شوند، افزایش می‌دهد [۸].

در مطالعه‌ای که بروسکی و همکاران انجام دادند، به بررسی ارتباط سن، مهارت و درک خطر در رانندگی پرداخته شده است. مطالعات درک خطر نشان داده اند که رانندگان جوان کم‌تجربه، بیشتر از رانندگان باتجربه از کمبودهای درک خطر رنج می‌برند. با این حال، باید مشخص شود که آیا این مهارت با افزایش سن بدتر می‌شود یا خیر. ۲۱ راننده بی‌تجربه، ۱۹ راننده باتجربه و ۱۶ راننده مسن درحالی که به سیستم ردیابی چشم متصل بودند، شش فیلم درک خطر را مشاهده کردند و از آن‌ها درخواست شد تا موقعیت‌های خطرناک را شناسایی کنند. به‌طور کلی، رانندگان باتجربه و باتجربه مسن‌تر در تشخیص خطر به یک اندازه مهارت داشتند و رویدادهای بالقوه خطرناک (مانند نزدیک شدن به یک تقاطع، عابران پیاده در حاشیه) را به طور مداوم شناسایی می‌کردند، درحالی که رانندگان کم‌تجربه، توجه کمتری به این مسائل داشتند. علاوه بر این، در حین نزدیک شدن به تقاطع‌های T شکل، رانندگان مسن‌تر و باتجربه بیشتر به جاده سمت راست توجه بیشتری داشتند درحالی که رانندگان کم‌تجربه به مسیر مستقیم توجه بیشتری می‌کنند و توجه کمتری به وسایل نقلیه احتمالی در تقاطع دارند. این مطالعه نشان می‌دهد که تجربه رانندگی، آگاهی رانندگان را از خطرات احتمالی بهبود می‌بخشد و حرکات چشم رانندگان را به مکان‌هایی هدایت می‌کند که ممکن است خطرات بالقوه وجود داشته باشند [۹].

لیوا ابله و همکاران در سال ۲۰۱۸ به اندازه‌گیری مهارت‌های ذهنی و عینی درک خطر در بین رانندگان مرد جوان پرداختند. رانندگان مرد جوان نسبت به رانندگان مسن‌تر و باتجربه‌تر، مهارت‌های درک خطر کمتری دارند و تمایل دارند مهارت‌های خود را بیش از حد در موقعیت‌های خطرناک ارزیابی کنند. بر اساس نمونه‌ای متشکل از ۶۳ راننده ۱۸ تا ۲۴ ساله، این مطالعه سازگاری مهارت درک خطر را، که با

و ستون‌های آن را معیارهای پژوهش تشکیل می‌دهند و هر سلول این ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است. تعیین ماتریس تصمیم به صورت زیر می‌باشد که m تعداد گزینه‌ها و n تعداد معیارهایی که هر جایگزین را توصیف می‌کنند نشان می‌دهد.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (1)$$

x_{ij} نشان‌دهنده ارزش عملکرد جایگزین i بر حسب معیار j است. اگر مقدار بهینه معیار j ناشناخته باشد، آنگاه:

$$\begin{aligned} x_{0j} &= \max_i x_{ij}, \text{ if } \max_i x_{ij} \text{ is preferable;} \\ x_{0j} &= \min_i x_{ij}^*, \text{ if } \min_i x_{ij}^* \text{ is preferable.} \end{aligned} \quad (2)$$

معمولاً مقادیر عملکرد x_{ij} و وزن معیار w_j به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند. سیستم معیارها و همچنین مقادیر و وزن اولیه معیارها توسط متخصصان تعیین می‌شود. اطلاعات محققان می‌تواند با در نظر گرفتن اهداف و فرصت‌های آنها تصحیح شود. سپس تعیین اولویت‌های جایگزین در چند مرحله انجام می‌شود. معمولاً معیارها ابعاد مختلفی دارند.

مرحله دوم: هدف این مرحله، دریافت مقادیر وزنی بدون بعد از معیارهای مقایسه‌ای است. به منظور اجتناب از مشکلات ناشی از ابعاد مختلف معیارها، از نسبت به مقدار بهینه استفاده می‌شود. تئوری‌های مختلفی وجود دارد که نسبت به مقدار بهینه را توصیف می‌کند.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \cdots & \bar{x}_{0j} & \cdots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \cdots & \bar{x}_{mj} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (3)$$

معیارهایی که مقادیر ترجیحی آنها حداکثر هستند، به صورت زیر نرمال می‌شوند:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (4)$$

معیارهایی که مقادیر ترجیحی آنها حداقل است، با اعمال روش دو مرحله‌ای نرمال می‌شوند:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (5)$$

هنگامی که مقادیر بدون بعد معیارها مشخص باشد، می‌توان همه معیارها را، که در اصل دارای ابعاد متفاوتی هستند، مقایسه کرد.

معیارهای عینی و ذهنی اندازه‌گیری شده است، مقایسه می‌کند. ارتباط بین این معیارها سهم کلیدی این مطالعه است. خطرات قابل مشاهده و نیز خطرات پنهان، در این مطالعه گنجانده شده است. معیارهای عینی، مهارت درک خطر شامل پاسخگویی و حرکات چشم هنگام رانندگی در شبیه‌ساز رانندگی می‌باشد. منظور از معیارهای ذهنی، همان مهارت‌های ادراک خطر شامل گزارش‌های شخصی است که بر اساس پرسش‌نامه درک خطر، پرسش‌نامه مهارت رانندگی و مقیاس جستجوی احساسات مختصر به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که رانندگانی که به‌موقع به خطرات واکنش نشان می‌دهند، در مقایسه با رانندگانی که پاسخ نمی‌دهند، نمرات بالاتری در معیارهای ذهنی مهارت درک خطر کسب کرده اند و مهارت‌های رانندگی بالاتری در شرایط آشکار (و نه در حالت پنهان) دارند. تجزیه و تحلیل حرکت چشم این تفاوت را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که پاسخ به‌موقع به خطرات نشان‌دهنده مهارت‌های بالاتر درک خطر است و رانندگان جوان در تشخیص خطرات پنهان ضعیف هستند. رانندگانی که به‌موقع پاسخ می‌دهند، خطر را سریع‌تر شناسایی می‌کنند و تثبیت‌های بیشتری دارند، اما کمتر روی خطر تمرکز می‌کنند. درعین حال، کسانی که پاسخ نمی‌دهند، اولین تثبیت دیرتر است و تثبیت‌های کمتر اما طولانی‌تر روی خطر دارند. رانندگانی که به دنبال احساسات بالا هستند به خطرات قابل مشاهده به‌موقع پاسخ می‌دهند که نشان می‌دهد وقتی خطر قابل مشاهده است، جستجوی احساسات بر مهارت درک خطر تأثیر منفی نمی‌گذارد. برای تقویت مهارت درک خطر در بین رانندگان جوان، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آموزش درک خطر خاص، به‌ویژه برای خطراتی که به مهارت درک خطر پیشرفته‌تری نیاز دارد، مرتبط است [۱۰].

۳- روش تحقیق

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در بسیاری از زمینه‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری فعالیت‌های انسانی استفاده می‌شود. هر جایگزین در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان با مجموعه‌ای از معیارها توصیف کرد. معیارها می‌توانند کیفی و کمی باشند.

در پژوهشی که در سال ۲۰۱۰ توسط زاوادمکاس و همکاران با عنوان یک روش جدید ارزیابی نرخ افزایشی در تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شد، روش آراس به‌عنوان یکی از جدیدترین، موثرترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌ها در تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده قرار گرفت. روش مذکور برای حل مسائل تصمیم‌گیری مختلف به کار برده می‌شود [۱۱]. این تکنیک روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه می‌باشد که از سهولت کاربرد نسبی نیز در مدیریت ریسک نیز برخوردار است [۱۲]. در مطالعات سال‌های اخیر نیز تکنیک آراس مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳] و [۱۴]. در این مقاله نیز تکنیک آراس برای اولین بار برای اولویت‌بندی سناریوهای خطر برای بکارگیری در آزمون درک خطر رانندگی مدنظر قرار گرفته شده است. مراحل این پژوهش عبارتند از:

مرحله اول: در اولین گام این روش باید ماتریس تصمیم را تشکیل داد. ماتریس تصمیم این روش جهت ارزیابی گزینه‌های مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین ماتریسی است که سطرهای آن را گزینه‌ها

محدوده دسترسی ها، عبور طولی خودروها، عبور حیوانات، کاهش عرض، اتوبوس بی آر تی از روبرو، شیء ثابت در مسیر، جلو آمدگی ایستگاه های اتوبوس، عدم پیوستگی جدا کننده های مسیر، روسازی راه، تقاطع های چراغ دار، دروازه های فلزی قابل کنترل توسط پلیس و دوچرخه سواران به عنوان گزینه ها و تعداد خطرات، تعداد تصادفات و تعداد تخلفات مرتبط به عنوان معیارها جمع آوری و داخل ماتریس تصمیم قرار گرفته است.

تعداد تخلفات مرتبط	تعداد تصادفات مرتبط	تعداد خطر مشاهده شده	خطرات/معیارها
۱۲۰۱	۶	۱۱۲۳	عبور موتور سوار
۳۵۵	۵۵	۷۱۲	عبور عابر پیاده
۲	۲	۴	علایم عمودی و تابلوها در محل نامناسب
۱۰	۴	۱۲۷	عبور عرضی خودرو در محدوده دسترسی ها
۲۵	۴	۳۳	عبور طولی خودروها
۴	۱	۲	عبور حیوانات
۳	۵	۳	کاهش عرض
۱۱	۸	۷۲	اتوبوس بی آر تی از روبرو
۱	۷	۱۳	شیء ثابت در مسیر
۲	۳	۶	جلو آمدگی ایستگاه های اتوبوس
۱۰	۲	۱۱	عدم پیوستگی جدا کننده های مسیر
۶	۹	۵	روسازی راه
۱۹	۵	۷	تقاطع های چراغدار
۵	۴	۱۵	دروازه های فلزی قابل کنترل توسط پلیس
۲	۶	۱۲	دوچرخه سواران
۴	۵	۳	معلولین
۱۶۶۰	۱۲۶	۲۱۴۸	جمع کل

جدول (۲): ماتریس تصمیم بین خطرات مسیرهای BRT و معیارهای مرتبط

گام سوم: تعیین مقدار ایده آل فرضی می باشد. مقدار ایده آل برای معیارهای مثبت برابر بیشترین مقدار و برای معیارهای منفی برابر کمترین مقدار است.

مقدار ایده آل	تعداد خطر مشاهده شده	تعداد تصادفات مرتبط	تعداد تخلفات مرتبط
بالاترین مقدار	۱۱۲۳	۵۵	۱۲۰۱
پایین ترین مقدار	۲	۲	۱

جدول (۳): تعیین مقدار ایده آل برای معیارهای مثبت و منفی

گام چهارم: ماتریس نرمال تشکیل داده شده به صورت ماتریس نرمال وزن دار تبدیل می شود و وزن هر یک از معیارها در ماتریس نرمال ضرب می گردد.

گام پنجم: در گام ۵ مطلوبیت هر یک از گزینه تعیین شد. در جدول ۵ مطلوبیت هر گزینه مشخص شده است.

مرحله سوم: در این مرحله ماتریس نرمال موزون تعریف می شود.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; i = \overline{0, m}, \quad (6)$$

که در آن وزن معیار w_j و x_{ij} رتبه نرمال شده معیار j است. **مرحله چهارم:** تعیین مقادیر تابع بهینه است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = \overline{0, m}, \quad (7)$$

که در آن S_i مقدار تابع بهینگی جایگزین i است. بزرگترین مقدار، بهترین است و کمترین آن، بدترین است. با در نظر گرفتن فرایند محاسبه، تابع بهینه S_i رابطه مستقیم و متناسبی با مقادیر x_{ij} و وزن w_j معیارهای مورد بررسی و تأثیر نسبی آنها بر نتیجه نهایی دارد؛ بنابراین، هر چه مقدار تابع بهینه S_i بیشتر باشد، جایگزین مؤثرتر است. اولویت های جایگزین را می توان با توجه به مقدار S_i تعیین کرد. در نتیجه، ارزیابی و رتبه بندی گزینه های تصمیم گیری هنگام استفاده از این روش راحت است.

درجه مطلوبیت هر گزینه به ترتیب زیر و طبق رابطه ۸ محاسبه می شود.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0, m}, \quad (8)$$

۴- نتایج تحقیق

پس از ارائه الگوی نحوه رتبه بندی با استفاده از روش آراس، در گام بعد خطرات موجود در خطویژه اتوبوس تندروی شهری با استفاده از این روش مدنظر قرار گرفت. در گام ابتدایی مسیرهای اتوبوس تندروی شهر تهران مورد بررسی واقع شدند و بر اساس آمار شرکت اتوبوس رانی خط پایانه خاوران به پایانه آزادی به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد.

گام اول: ابتدا به روش آنتروپی شانون معیارها شناسایی و وزن دهی شده اند. معیارهای انتخاب شده عبارتند از: تعداد تصادفات، تعداد تخلفات و تعداد خطرات مشاهده شده. همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است تعداد خطرات مشاهده شده دارای مقادیر بالاتر و در نتیجه وزن بیشتری شدند.

تعداد خطرات مشاهده شده	تعداد تصادفات	تعداد تخلفات	معیارها
۰/۳۸۰	۰/۳۳۲	۰/۲۷۸	w_j

جدول (۱): وزن دهی معیارها به روش آنتروپی شانون

پس از آن تعداد تصادفات و تعداد تخلفات مرتبط مشاهده شده در رتبه های بعدی قرار دارند. نتایج گزارش شده شامل بازدیدهای میدانی و آمار برداشته شده توسط دوربین های کنترل ترافیک، از خطویژه مورد نظر در طول مدت یک ماه می باشد.

گام دوم: در گام دوم این روش باید ماتریس تصمیم را تشکیل داد. ماتریس تصمیم این روش جهت ارزیابی گزینه های مسئله مورد استفاده قرار می گیرد؛ بنابراین ماتریسی است که سطرها آن را گزینه ها و ستون های آن را معیارهای پژوهش تشکیل می دهند و هر سلول این ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است. همان طور که در جدول ۲ مشخص است اطلاعاتی همچون عبور موتورسوار، عبور عابر پیاده، علایم عمودی و تابلوها در محل نامناسب، عبور عرضی خودرو در

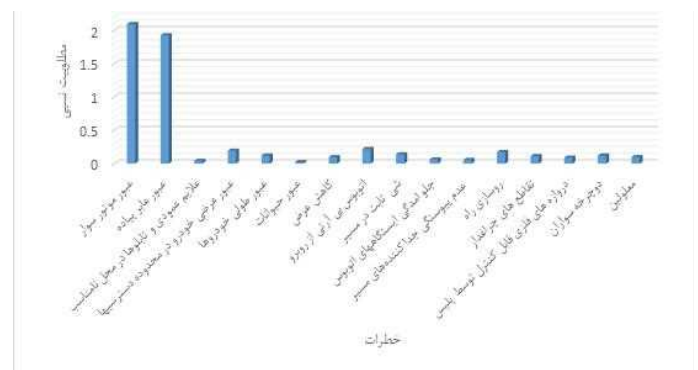
S_i	تعداد تخلفات مرتبط	تعداد تصادفات مرتبط	تعداد خطر مشاهده شده	خطرات/معیارها
۰/۴۴۰۸	۰/۲۷۴۹	۰/۰۱۵۸	۰/۱۵۰۰	عبور موتورسوار
۰/۳۲۱۳	۰/۰۸۱۳	۰/۱۴۴۹	۰/۰۹۵۱	عبور عابر پیاده
۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۰۵	علایم عمودی و تابلوها در محل نامناسب
۰/۰۲۹۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱۰۵	۰/۰۱۷۰	عبور عرضی خودرو در محدوده دسترسی‌ها
۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۴۴	عبور طولی خودروها
۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۳	عبور حیوانات
۰/۰۱۴۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۴	کاهش عرض
۰/۰۳۳۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۹۶	اتوبوس بی‌آرتی از رویرو
۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۸۹۴	۰/۰۰۱۷	شیء ثابت در مسیر
۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۰۸	جلو آمدگی ایستگاه‌های اتوبوس
۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۱۵	عدم پیوستگی جداکننده‌های مسیر
۰/۰۲۵۸	۰/۰۰۱۴	۰/۰۲۳۷	۰/۰۰۰۷	روسازی راه
۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۹	تقاطع‌های چراغ‌دار
۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۲۰	دروازه‌های فلزی قابل کنترل توسط پلیس
۰/۰۱۷۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۱۶	دوچرخه‌سواران
۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۴	معلولین

جدول (۵): محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه

بالقوة ترافیکی را کسب کند. همان‌طور که پیش‌ازین نیز اشاره شد یکی از مقوله‌هایی که در بحث ایمنی مؤثر می‌باشد، سهم خطای انسانی است، در نتیجه اگر رانندگان رفتار صحیحی را حین رانندگی داشته باشند، حتی در صورتی که طرح هندسی راه دارای اشکال باشد و یا حتی اگر خودرو دارای نقص فنی باشد رفتار راننده می‌تواند از شدت یا حتی وقوع حادثه بکاهد.

در این پژوهش به منظور طراحی آزمون درک خطر مخصوص رانندگان اتوبوس تندروری شهری سناریوهای خطر با توجه به ۳ معیار تعداد تصادفات، تعداد تخلفات و تعداد خطرات مشاهده شده با استفاده از تکنیک آراس رتبه‌بندی شد. بر این اساس عبور موتورسوار، عبور عابر پیاده و عبور اتوبوس از روبه‌رو رتبه‌های اول تا سوم خطرات را کسب کردند و عدم پیوستگی جداکننده‌های مسیر و عبور حیوانات دارای رتبه‌های پایین خطرات موجود در خطوط ویژه را شامل شدند. بر اساس این رتبه‌بندی، خطرات آزمون درک خطر برای رانندگان اتوبوس تندروری شهری طراحی شدند. از نتایج این مقاله می‌توان در آموزش‌ها و آزمون‌های درک خطر رانندگان اتوبوس شهری استفاده نمود؛ ضمن اینکه شهرداری‌ها می‌توانند در ایمن‌سازی و آشکارسازی خطرات مسیرهای اتوبوس تندروری شهری از آن استفاده نمایند.

گام ششم: پس از محاسبه مطلوبیت کل به منظور تعیین رتبه هر خطر باید مطلوبیت نسبی نیز محاسبه می‌شد که این موضوع در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): رتبه‌بندی سناریوهای خطر برای بکارگیری در آزمون درک خطر رانندگان اتوبوس BRT

گام ششم: پس از محاسبه مطلوبیت کل به منظور تعیین رتبه هر خطر باید مطلوبیت نسبی نیز محاسبه می‌شد که این موضوع در شکل ۱ نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

تعامل انسان و رایانه در واقع نقطه تقاطع علوم رایانه و علوم رفتارشناسی است. ارتباط و تمایل انسان و رایانه از طریق واسطه اتفاق می‌افتد؛ که شامل نرم‌افزار و سخت‌افزار است. در یک تعریف دقیق‌تر این علم مرتبط با طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی سیستم‌های محاسباتی متقابل برای استفاده انسان در مطالعه پدیده‌های مهم پیرامون او می‌باشد. ابزار آزمون درک و پیش‌بینی خطر نیز با چنین رویکردی ساخته شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، آزمون‌های مذکور به منظور آموزش عمومی، ابزاری را در اختیار متقاضیان رانندگی اتوبوس تندروری شهری قرار می‌دهند که اگر آموزش‌های تئوری توجه کافی را منتقل نکرده باشند خود فرد از طریق این آزمون شناخت کافی از موقعیت‌های دارای خطرات

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:





بررسی تاثیر عوامل زیرساختی حمل و نقل ریلی بر میزان جذب مسافر؛ مطالعه شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران



حدیث رمضان نژاد کوننائی

کارشناسی ارشد حمل و نقل دانشگاه صنعتی امیرکبیر / ورودی ۱۴۰۲

hadis.ramezannezhad@aut.ac.ir



مهران مرادی

کارشناسی ارشد حمل و نقل دانشگاه صنعتی امیرکبیر / ورودی ۱۴۰۲

Mehran1379Moradi@aut.ac.ir

چکیده

حمل و نقل ریلی به عنوان یکی از مهم ترین بخش های این صنعت از جایگاه ویژه ای در اقتصاد و امور کشوری برخوردار است. برای حفظ شرایط موجود و بهبود آن نیاز است تا به طور مداوم مطالعاتی بر روند جذب مسافر قطارها انجام شود. مطالعات نشان می دهند که متغیرهای قیمت، دسترسی، رضایت مسافر، زمان سفر و کاربری زمین، به طور غیرمستقیم بر روی میزان جذب مسافر تأثیرگذار هستند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات منتشرشده توسط شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، بررسی هایی برای درک روند جذب مسافر و پیش بینی آن در آینده انجام گرفته است. داده های مربوط به جابجایی های باری و مسافری، شرایط زیرساخت ها، مصرف سوخت و تعداد کارکنان در اختیار قرار گرفت. در مجموع اطلاعات مربوط به ۳۷ متغیر در سال های ۱۳۱۷ تا ۱۳۹۹ بایگانی شده است که از این میان ۱۴ متغیر مربوط به مسافری، زیرساخت ها و کارکنان مورد استفاده قرار گرفته است. از داده های مربوط به سال ۱۳۹۹ به علت تأثیرپذیری از همه گیری ویروس کرونا صرف نظر شد. نفرکیلومتر به عنوان متغیر وابسته انتخاب شد. مدل رگرسیون خطی چندگانه بر پایه داده های مذکور توسعه داده شد. تمام آماره ها و فرض های تأثیرگذار بررسی شدند. تنها مسئله، خودهمبستگی داده ها بود که با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم یافته درمان شد. مدل ایجادشده علاوه بر مورد قبول واقع شدن در آزمون های صحت، آزمون دقت را نیز به خوبی پاس کرد و برازش بسیار بالایی را ثبت نمود. همچنین از نظر سادگی با توجه به خطی بودن مدل و تعداد متغیرهای مورد استفاده در آن، به میزان قابل قبولی شرط ساده بودن را رعایت کرده است. مشخص شد که ۷ متغیر سال، تعداد مسافر، متوسط سیر سفر، طول خطوط اصلی، تعداد واگن مسافری فعال، تعداد لوکوموتیوهای فعال و تعداد کارکنان در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار می شوند. همچنین تلاش شد تا مدلی برای درک و پیش بینی مصرف سوخت توسعه داده شود؛ اما متغیرهای موجود همبستگی کمی با متغیر وابسته نشان دادند. در نتیجه مشخص شد که اختصاص بودجه کافی و برنامه ریزی درست برای صرف آن در راستای نگهداری و توسعه خدمات حمل و نقل ریلی مهم ترین عامل تأثیرگذار بر بهبود شرایط جذب سفر آن است؛ بنابراین به عنوان جامع ترین گزینه پیشنهاد شد که در کنار تلاش برای بهبود خدمات و رضایت مسافران، پروژه های مناسبی برای توسعه زیرساخت ها تعریف و انجام شوند تا میزان تأثیر فعالیت ها را چند برابر کنند.

۱- مقدمه

صنعت حمل و نقل یکی از صنایع زیرساختی و مهم در امور کشوری است که تأثیرات آن بر اقتصاد و سایر صنایع غیرقابل انکار است. صناعی مانند عمران و حمل و نقل که نقش زیربنایی دارند، برای شروع هر پروژه ای مورد نیاز هستند [۱]. در ایران نیز با توجه به شرایط جغرافیایی و تاریخی سیاسی، حمل و نقل ریلی نقش بسزایی در صنعت حمل و نقل ایفا می کند [۲]. حمل و نقل شبکه ای ایجاب می کند تا صنایع مختلف به یکدیگر متصل شوند و شرایط توسعه فراهم شود. قطارها یکی از اولین وسایل نقلیه موتوری هستند که باعث افزایش سرعت و دسترسی در جابجایی شدند. حمل و نقل ریلی با گذشت زمان، همچنان جایگاه ویژه ای در

جابه جایی ها به ویژه سفرهای بین شهری دارد. در مطالعه ای با استفاده از مدل رگرسیون پویا^۱ مشخص شد که توسعه حمل و نقل ریلی و افزایش ارتباط آن با مراکز هواپیمایی، می تواند بر افزایش جذب مسافران خارجی تأثیرگذار باشد [۳].

مطالعاتی زیادی در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر حمل و نقل، به ویژه ریلی صورت گرفته است. در پژوهشی مشخص شد که قیمت، تراکم جمعیت، زیرساخت و دسترسی، تأثیر بسزایی دارند [۴]. طی یک آماربرداری سطح خدمت، دسترسی، قیمت و کاربری زمین مؤثر شناخته شدند [۵]. پژوهشگری، مهم ترین عامل تأثیرگذار را کاربری زمین و

جاذبه‌های شهرهای مختلف دانسته است [۶]. در نتایج مطالعه‌ای قیمت، کیفیت خدمت، قیمت سوخت وسایل نقلیه جاده‌ای و زمان سفر عوامل تأثیرگذار اعلام شدند [۷]. علاوه بر این موارد، رضایت مسافران نیز مؤثر است که از مهم‌ترین آنها به کیفیت خدمت، ایمنی و امنیت اشاره شده است [۸].

قیمت بلیت یکی از پرتکرارترین عوامل مؤثر بر تقاضای مسافران برای یک شیوه سفر در مطالعات است. این مورد با میزان جذب مسافر، ارتباط معکوس دارد [۹]. در نتایج پرسش‌نامه‌ای که به اولویت‌بندی عوامل مؤثر پرداخته است، راحتی، کیفیت خدمت و زمان سفر از اهمیت بیشتری برخوردار بودند [۱۰]. برخی پژوهشگران معتقدند که در حال حاضر اهمیت رضایت مسافر و تجربه آنها در سفرهای قبلی بسیار بیشتر از مسائل زیرساختی و جنبه‌های فیزیکی دارند [۱۱]. در مطالعه‌ای با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه^۲ بیان شده است که خدمات حمل‌ونقلی، مدیریت و برنامه‌ریزی به طور غیرمستقیمی بر تعداد مسافران تأثیرگذار است [۱۲]. با توسعه درخت تصمیم^۳ بر داده‌های ۴۹ ایستگاه حمل‌ونقل ریلی در چین مشخص شد که کاربری زمین اطراف ایستگاه‌ها بیشترین تأثیر را بر میزان تقاضا دارد [۱۳].

بسیاری از عوامل مؤثر ذکر شده در مطالعات پیشین برای جذب مسافران حمل‌ونقل ریلی، متغیرهای غیرفیزیکی هستند که جنبه‌های روانی، آسایش خاطر و قابلیت اطمینان دارند. برخی از این موارد نیز مانند زمان سفر، دسترسی و کیفیت خدمت به عوامل فیزیکی بستگی دارند. زیرساخت‌ها بر تمامی این عوامل تأثیرگذار هستند و بسیاری از تجربه‌هایی که موجب رضایت مسافر می‌شوند از همین موارد سرچشمه می‌گیرند. برای مثال هر چه طول خطوط ریلی، تعداد ایستگاه‌ها، تعداد واگن‌ها و تعداد کارکنان افزایش یابند به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود سایر عوامل نیز می‌شوند. زیرا افزایش طول خطوط و تعداد ایستگاه‌ها باعث افزایش دسترسی می‌شود. همچنین افزایش تعداد کارکنان باعث بهبود اجرای برنامه‌ها شده و قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد. افزایش تعداد واگن‌ها و لوکوموتیوها باعث کاهش تراکم، افزایش راحتی و در نتیجه بهبود تجربه سفر برای مسافران می‌شود. در همین راستا، طی مطالعه‌ای مشخص شد که طول خطوط ریلی تأثیر و همبستگی مثبت بر میزان جذب مسافر دارد [۱۴]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر بیان شد کیفیت خدمت به طور مستقیم و مؤلفه‌های زیرساختی به طور غیرمستقیم بر جذب مسافر تأثیرگذار است [۱۵].

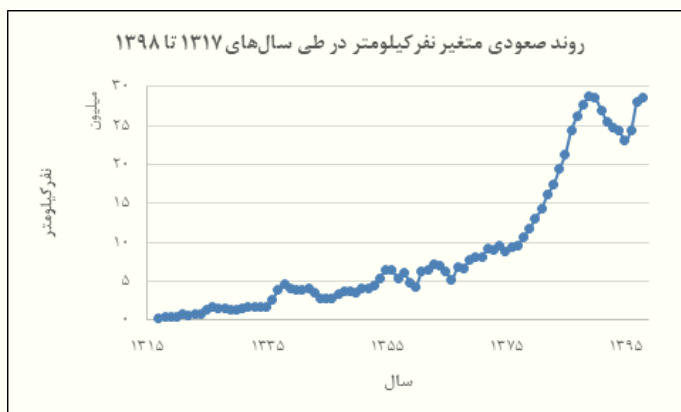
معیار سنجش عملکرد یک وسیله نقلیه، استقبال مخاطبان از آن است؛ بنابراین با بررسی تقاضای حمل‌ونقل ریلی می‌توان عملکرد آن را مورد تحلیل قرار داده و برای بهبود آن تلاش کرد. در جدول ۱ خلاصه مطالعات پیشین و متغیرهای مؤثر بر حمل‌ونقل ریلی ارائه شده است.

نویسنده	سال	متغیر مؤثر
چتمن و نولاند	۲۰۱۱	کیفیت خدمت، دسترسی، قیمت، کاربری زمین
ویشنوارتانی	۲۰۱۲	راحتی، کیفیت خدمت و زمان سفر
ابولی و ماتزولا	۲۰۱۵	رضایت مسافر شامل کیفیت خدمت، ایمنی، امنیت
چائو	۲۰۱۶	کاربری زمین و جاذبه‌های مقصد
لی و همکاران	۲۰۱۶	کاربری زمین اطراف ایستگاه‌ها
آندروتر و کیشون	۲۰۱۷	قیمت، کیفیت خدمت، قیمت سوخت وسایل نقلیه جاده‌ای و زمان سفر
دی اوینا و همکاران	۲۰۱۸	رضایت مسافر
افتخاری	۲۰۲۰	قیمت
دپلومو و همکاران	۲۰۲۱	خدمات، مدیریت و برنامه‌ریزی
آلیمو و همکاران	۲۰۲۲	قیمت، تراکم جمعیت، زیرساخت و دسترسی
ماهپور	۲۰۲۲	کیفیت خدمت، مولفه‌های زیرساختی
شیخی و همکاران	۲۰۲۳	طول خطوط ریلی

جدول (۱): خلاصه مرور ادبیات.

۲- بیان مسئله

برنامه‌ریزی برای شرایط آینده در تمام زمینه‌ها موجب آمادگی تصمیم‌گیران می‌شود. برای ایجاد این آمادگی باید با روش‌های مناسب به پیش‌بینی آینده پرداخت. بهره‌گیری از اطلاعات گذشته و پیش‌بینی آینده با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌ها، روش‌هایی هستند که در پژوهش‌ها به کار گرفته می‌شوند. طبق اطلاعات ارائه شده توسط شرکت راه‌آهن که در شکل ۱ قابل مشاهده است، تقاضا برای حمل‌ونقل ریلی هر ساله در حال افزایش بوده است؛ اما با این حال حجم ترافیک بین شهری نیز افزایش بسیاری داشته است. حمل‌ونقل ریلی برخلاف پیشرفت‌های خود نتوانسته است نیاز سفرهای بین شهری را برآورده کند.



شکل (۱): رند صعودی متغیر نفرکیلومتر در طی سال‌های ۱۳۱۷ تا ۱۳۹۸.

2 Multiple linear regression

3 Decision tree

هستند و نمی‌توان از نظر ارزشمندی تفاوتی در برخورد مدل با متغیرها ایجاد کرد [۱۶].

۴- نتایج

در فرایند مدل‌سازی، سعی و خطا کاربرد بسیاری دارد. با تکرار آزمایش بر ترکیب متغیرهای مختلف و سنجیدن مدل‌های متفاوت باید به بهترین و ساده‌ترین مدل ممکن دست پیدا کرد. در این پژوهش برای دستیابی به بهترین مدل از روش بازگشتی^{۱۴} استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات موجود، رفتار دو متغیر به عنوان وابسته بررسی شده است. متغیر نفرکیلومتر برای پیش‌بینی عوامل مؤثر بر افزایش تقاضا و متغیر مصرف سوخت برای تأمین نیازهای سوختی و بهینه‌کردن آن، به عنوان متغیر وابسته انتخاب شدند و دو مدل توسعه داده شد.

۴-۱- نفر کیلومتر

متغیر نفرکیلومتر دیدگاه جامعی نسبت به عوامل مؤثر بر تقاضا ایجاد می‌کند. در مدل ارائه شده، متغیرهای سال، تعداد مسافر، متوسط سیر سفر، طول خطوط اصلی، تعداد واگن مسافربری فعال، تعداد لوکوموتیوهای فعال و تعداد کارمندان در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار شدند. سایر متغیرها با توجه به آماره‌های مختلف و مقایسه علامت ضرایب و علامت همبستگی با متغیر مستقل از مدل حذف شدند. نتایج مربوط به مدل، در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

متغیر	ضریب	t	p
مقدار ثابت	۰/۰۰۰۴	۰/۰۳۹	۰/۹۶۹
سال	-۰/۱۷۲۸	-۲/۱۰۶	۰/۰۰۳
تعداد مسافر	۰/۹۷۲۵	۱۴/۹۹۸	۰
متوسط سیر سفر	۰/۲۲۴۱	۶/۸۴۵	۰
طول خطوط اصلی	-۰/۲۷۷۱	-۲/۳۰۲	۰/۰۰۲
تعداد واگن مسافربری	۰/۱۸۴۳	۲/۵۹۸	۰/۰۰۱
فعال			
تعداد لوکوموتیوهای	۰/۰۶۹۰	۲/۱۲۲	۰/۰۳۸
فعال			
تعداد کارمندان	-۰/۱۲۷۱	-۴/۳۱۵	۰

جدول (۲): نتایج مدل رگرسیون خطی چندگانه به تفکیک متغیرها.

شاخص	مقدار
R ^۲	۰/۹۹۵
R ^۲ -Adjusted	۰/۹۹۴
R ^۲ -test	۰/۹۹۰

جدول (۳): نتایج کلی مدل رگرسیون خطی چندگانه.

با توجه به نتایج به دست آمده، مدل توسعه داده شده از میزان دقت خوبی برخوردار است. همچنین با مشکل کم‌برازش یا بیش‌برازش مواجه نشده است. تمام آماره‌های بررسی شده در سطح ۹۵ درصد معناداری متغیرها را تأیید کردند.

طبق تعریف، نفرکیلومتر ارتباط تنگاتنگی با متوسط سیر سفر و تعداد مسافران دارد. ضرایب در خصوص تعداد مسافران، این ادعا را تأیید می‌کنند. دلیل این ارتباط را می‌توان استفاده شدن تعداد مسافران در تعریف متغیر نفرکیلومتر دانست و به عبارتی در شرایط ایده‌آل، این دو

بررسی عوامل مؤثر بر کشش و ایجاد انگیزه در مسافران، از جمله راهکارهایی هستند که در سیاست‌گذاری‌ها باعث ایجاد مزیت رقابتی می‌شوند. با ادامه این روند و استفاده از نتایج پژوهش‌های معتبر، انتظار می‌رود تا حد امکان شرایط ترافیکی تحت کنترل قرار گرفته و بهبود یابند.

۳- روش تحقیق

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از وبگاه شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به دست آمده است. این شرکت از سال ۱۳۱۷ شروع به جمع‌آوری و بایگانی اطلاعات ۳۷ متغیر کرده است. در حال حاضر داده‌ها تا سال ۱۳۹۹ در دسترس هستند. متغیرهای موجود در این پایگاه داده شامل تعداد و طول سفر مسافران و بارها، وضعیت خطوط ریلی، تعداد کارمندان، مصرف سوخت، تعداد لوکوموتیوها و واگن‌ها می‌باشند. از این میان، ۱۴ متغیر سال، تعداد مسافران، نفرکیلومتر، مسافت پیموده شده، تعداد رفت‌و برگشت‌ها، متوسط سیر سفر، مصرف گازوئیل، مصرف روغن، طول خطوط اصلی، تعداد واگن‌های مسافربری فعال و غیرفعال، تعداد لوکوموتیوهای فعال و غیرفعال و تعداد کارمندان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این پایگاه داده با گذشت زمان کامل‌تر شده است و نقص داده‌های آن کاهش یافته است. داده‌های ناقص با استفاده از درون‌یابی به گونه‌ای استفاده شده است که تأثیر کمی بر ویژگی متغیرها داشته باشد و روند آنها دچار تغییر نشود. اطلاعات سال ۱۳۹۹ بسیار تحت تأثیر همه‌گیری ویروس کرونا^۴ قرار دارد و برای ارائه مدل‌های معمولی قابل استفاده نیست. این ردیف داده می‌تواند در کنار اطلاعات سال‌های بعد از خود در تحلیل‌های مرتبط با انتشار کووید ۱۹ استفاده شود. برای از بین بردن اختلاف محدوده اعداد، داده‌ها نرمال‌سازی شدند. با توجه به عدم وجود داده پرت مؤثر، این روش کاربردی است.

در این پژوهش از مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده شده است. میزان خوبی برازش^۵ و فرض‌های رگرسیون^۶ مورد بررسی قرار گرفتند. فرض‌های یکنواختی خطاها^۷، عدم همبستگی چندگانه^۸ و یکنواختی واریانس‌ها^۹ رعایت شده است؛ اما فرض عدم خودهمبستگی خطاها^{۱۰} با مشکل مواجه است. از مهم‌ترین دلایل بروز این مشکل می‌توان به روش از بین بردن سلول‌های ناقص اشاره کرد. در این فرایند از ویژگی‌های سایر ردیف‌ها استفاده شده است که احتمال خودهمبستگی را افزایش می‌دهد. برای رفع این اشکال از روش حداقل مربعات تعمیم یافته^{۱۱} در ساخت مدل استفاده شده است. مقادیر به دست آمده از مدل در بخش نتایج ارائه شده است.

در این مطالعه از نرم‌افزار اکسل^{۱۲}، زبان برنامه‌نویسی پایتون^{۱۳} و کتابخانه‌های آن برای مدل‌سازی استفاده شده است. در رگرسیون خطی، تمام متغیرها در زمان ورود به مدل دارای میزان اهمیت برابر

- 4 Coronavirus
- 5 Goodness of fit
- 6 Regression assumption
- 7 Residual diagnostics
- 8 No multicollinearity
- 9 Homoscedasticity
- 10 No autocorrelation
- 11 Generalized Least Square (GLS)
- 12 Excel
- 13 Python 3

متغیر تعریف نزدیکی با هم دارند. در سوی مخالف با اینکه متوسط سیر سفر نیز دارای این شرایط است؛ اما تأیید می‌کند که تفاوت‌های این سه متغیر نیز معنادار است و تعبیر هر یک می‌تواند متفاوت باشد. پس بدون ارائه دلایل محکم نمی‌توان نفرکیلومتر را یک متغیر مرکب در نظر گرفت. متغیرهای زیرساختی مانند متغیرهای مربوط به ریل‌ها، قطارها، واگن‌ها و کارمندان در مدل باقی ماندند. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش عرضه حمل و نقل ریلی، جذب مسافر آن نیز افزایش یافته است؛ بنابراین می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل جذب مسافر به حمل و نقل ریلی را اختصاص بودجه و گسترش آن در مناطق جذب سفر دانست.

۴-۲- مصرف سوخت

دو مدل برای مصرف گازوئیل و روغن توسعه داده شدند. در هیچکدام از مدل‌های ایجاد شده متغیری معنادار نشد. نتیجه به دست آمده نشان می‌دهد عوامل مؤثر بر متغیرهای مربوط به مسافری، تأثیر چندانی بر تغییرات میزان مصرف سوخت قطارها ندارند.

۵- نتیجه‌گیری

مدل توسعه‌یافته توانست با دقت قابل قبولی داده‌ها را پیش‌بینی کند. با توجه به ساده بودن مدل و استفاده از روش‌های رایج، مشخص می‌شود که تغییرات تقاضای حمل و نقل ریلی از شرایط بسیار پیچیده‌ای پیروی نمی‌کنند. این حقیقت باعث می‌شود که زمینه‌های پیشرفت این صنعت فراهم شود. همچنین متغیرهای به کار گرفته شده همیشه در دسترس هستند؛ زیرا تمام داده‌ها به طور خودکار در پایگاه اطلاعاتی شرکت راه‌آهن ذخیره می‌شود؛ بنابراین در صورت ادامه شرایط موجود از نظر ساختاری و پیشرفت تکنولوژی، می‌توان از نتایج به دست آمده در آینده نیز بهره گرفت.

یکی از مهم‌ترین دلایل ویژه بودن این مطالعه، داده‌های به کار گرفته شده در آن است. اطلاعات مورد استفاده، بیان‌کننده ویژگی‌های کل جامعه حمل و نقل ریلی هستند؛ زیرا تمام داده‌های مربوط به این حوزه از مرکز کنترل این صنعت استخراج شده‌اند و از نمونه‌برداری‌های به دست نیامده‌اند. همچنین بایگانی در دسترس، شامل نقص‌های کمی است که دقت و اعتبار پایگاه داده را افزایش می‌دهد.

نتایج نشان دادند عوامل وابسته به هزینه، تأثیر بسیاری بر جذب مسافر دارند؛ بنابراین تعمیر و نگهداری زیرساخت‌های موجود در کنار گسترش آنها می‌تواند در زمینه حل مسائل حمل و نقل و ترافیک بین‌شهری مؤثر واقع شود.

مشخص شد مصرف سوخت، تأثیرپذیری کمی از متغیرهای مربوط به مسافری دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل این موضوع، سهم بیشتر حمل و نقل باری در مصرف سوخت است؛ بنابراین با مطالعه اطلاعات مربوط به باربری، می‌توان روند تغییرات مصرف سوخت قطارها را بررسی کرد. همچنین دیده‌نشدن تغییرات کیفیت سوخت، تغییرات میزان مصرف سوخت لوکوموتیوها و تأثیر بهسازی خطوط ریلی در از بین رفتن هدر رفت انرژی نیز از عواملی هستند که در عدم معناداری متغیرها در مدل مصرف سوخت مؤثر هستند.

با اینکه استفاده از قطارها قدمت زیادی دارد و با پیشرفت تکنولوژی، ابزارها و وسایل نقلیه به‌روزتری مانند وسایل نقلیه شخصی و هواپیماها به

صنعت حمل و نقل اضافه شده‌اند؛ اما همچنان حمل و نقل ریلی مخاطبان خود را در اختیار داشته و یکی از انتخاب‌های رایج برای سفرهای بین‌شهری است؛ بنابراین باید با برنامه‌ریزی، مدیریت، اختصاص بودجه و انجام پروژه‌های مختلف از این ابزار بااهمیت محافظت کرده و از آن در تصمیمات کلان کشور به‌عنوان یک گزینه مناسب استفاده کرد.

هر مطالعه‌ای در روند پیشرفت خود با چالش‌ها و محدودیت‌های مختلفی مواجه می‌شود. با توجه به این مسائل، تمام وجوه و عوامل تأثیرگذار در نظر گرفته نمی‌شوند. در ادامه پیشنهاداتی با توجه به کمبودهای این پژوهش برای مطالعات آینده ارائه شده است:

۱- در مدل توسعه داده شده برای مصرف سوخت هیچ متغیری معنادار نشد. با توجه به در دسترس بودن اطلاعات باری، پیشنهاد می‌شود فرایند این پژوهش برای متغیرهای باری نیز بررسی شود.

۲- در این مطالعه اطلاعات مربوط به قیمت، سطح خدمات، مباحث مربوط به ایمنی و امنیت، شرکت ارائه‌کننده و میزان رضایت مسافران مورد بررسی قرار نگرفته است. به همین منظور پیشنهاد می‌شود در کنار اطلاعات این پژوهش به طور تکمیلی استفاده شوند.

۳- در این پژوهش فقط ۸۲ ردیف داده مورد استفاده قرار گرفته است که به میزان قابل توجهی تعمیم‌پذیری آن را کاهش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های مربوط به سایر کشورهای مشابه، مدل مورد نظر مقایسه شود و میزان تعمیم‌پذیری آن مورد بررسی قرار گیرد.

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



معرفی رشته هیدروگرافی

محمد پیرایش

کارشناسی ارشد کارشناسی ارشد هیدروگرافی دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۲

M.Pirayesh@mail.sbu.ac.ir



چکیده

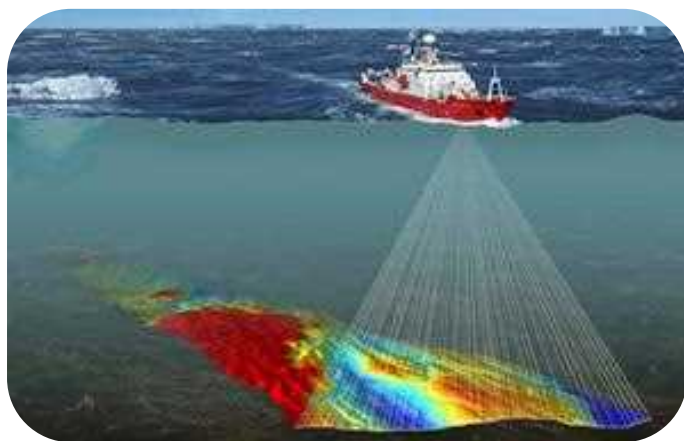
هیدروگرافی شاخه‌ای از ژئودزی است که با مشاهدات و توصیف خصوصیات اقیانوسها، دریاها، نواحی ساحلی، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و همچنین پیش‌بینی تغییرات آنها سروکار دارد. هدف از اندازه‌گیری و ترسیم، توصیف دقیق پارامترهای طبیعت و شکل بستر دریا نسبت به موقعیت جغرافیایی عوارض زمین، ویژگی‌های حرکت دریا و همچنین ایجاد امنیت جهت ناوبری دریایی می‌باشد.

کلمات کلیدی: هیدروگرافی، چارت دیتوم، سطح متوسط آب‌های آزاد، سازمان جهانی هیدروگرافی، سطح متوسط جزرومد

۱- مقدمه

هیدروگرافی^۱ به کلیه عملیاتی که به بدست آوردن عمق آب و توپوگرافی بستر آب‌ها اعم از دریاها، اقیانوس‌ها، سدها و رودخانه‌ها می‌پردازند، اطلاق می‌شود. در گذشته، هیدروگرافی توسط یک قایق و دستگاه عمق‌یاب انجام می‌شد، ولی در حال حاضر با پیشرفت علوم مختلف، تجهیزات این کار به‌روز شده است. هیدروگرافی در فارسی، آبنگاری ترجمه شده و هدف اصلی و مهم آن، تولید نقشه‌های دقیق دریایی به منظور ناوبری ایمن است. اما در هیدروگرافی نه تنها به موضوع تهیه نقشه از بستر آب‌ها می‌پردازیم بلکه جریان‌های آبی، جزرومد، تغییرات سطح آب‌ها، محیط‌زیست دریا، زمین‌شناسی بستر دریا، اکتشاف معادن زیر آب، خواص فیزیکی آب مانند دما، شوری و... نیز بررسی می‌شوند. به این ترتیب ارتباط نزدیکی بین مهندسان هیدروگراف و علوم دیگر، نظیر اقیانوس‌شناسی و آب‌شناسی (هیدرولوژی) وجود دارد. تجهیزات متنوع مانند اکوساندر^۲، سایداسکن‌سونار^۳ و سیستم‌های تعیین موقعیت در سطح و زیر آب، از ابزارهای هیدروگرافی محسوب می‌شوند. اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای متنوع، مانند ارتفاع‌سنجی راداری هم در جهت مطالعه آب‌های سطحی زمین به کمک پژوهشگران این حیطه می‌آیند. از این رو، هیدروگرافی از گرایش‌های بسیار جذاب و در عین حال کاربردی و ضروری مهندسی نقشه‌برداری است. سازمان‌های مختلف مانند سازمان نقشه‌برداری، بنادر و کشتیرانی، صنایع و معادن، شیلات و شرکت‌های ملی نفت‌وگاز از مهم‌ترین متولیان و متقاضیان خدمات هیدروگرافی محسوب می‌شوند. سازمانی به نام IHO^۴ که

اطلاعات هیدروگرافی را در اختیار دارد، سازمان بین‌المللی آبنگاری نیز نامیده می‌شود. در ایران، سازمان نقشه‌برداری بزرگ‌ترین مرجع برای تهیه نقشه‌های آبنگاری و نظارت بر داده‌های آن است [۱].



۲- تاریخچه هیدروگرافی

پس از کشف قطب‌نما، اولین نقشه هیدروگرافی در قرن چهاردهم میلادی و توسط ایتالیایی‌ها تهیه شد. این نقشه با توجه به اطلاعات زمان خود، ارتباط بین سواحل جزایر و نقاط کم‌عمق و خطرناک موجود در بستر دریا را که برای کشتیرانی و دریانوردی خطرناک بودند، نمایش می‌داد. در سال ۱۷۲۰ جمع‌آوری و چاپ اطلاعات مربوط به حوزه دریا و دریانوردی توسط مقامات دولتی کشور فرانسه صورت گرفت و در نهایت به تهیه نقشه‌هایی تحت عنوان چارت دریایی منجر گردید.

۳- وظایف و اهداف هیدروگرافی

- ایجاد نقاط کنترل ساحلی از شبکه ژئودتیک

- 1 Hydrography
- 2 Echo sounder
- 3 Side scan sonar
- 4 International Hydrography Organization

- تعیین موقعیت
- تعیین عمق
- مشاهدات نوسانات آب
- عمل جاروب نمودن، تعیین و آشکارسازی عارضه‌های خطرناک زیر آب
- بررسی جریان‌های آبی و جزرومد
- نمونه‌برداری از بستر دریا
- بررسی توپوگرافی و ژئومورفولوژی بستر

۴- کاربردهای هیدروگرافی

- ناوبری تجاری و نظامی
- مدیریت سواحل و بندرها
- کنترل عملیات لایروبی^۵
- صنعت نفت و گاز
- نصب سکوها
- نصب لوله‌های نفت و گاز در بستر و زیر بستر دریا
- اکتشاف و استخراج
- نصب لوله آب
- ناوبری

۵- مفاهیم اولیه هیدروگرافی

۱-۵- چارت دیتوم^۶

سطحی که عمق‌های اندازه‌گیری شده بر روی نقشه ناوبری به آن ارجاع داده می‌شود را چارت دیتوم گویند؛ این سطح، همان سطح مبنای مورد استفاده در هیدروگرافی است که اعماق نسبت به آن ثبت می‌گردند. چارت دیتوم به لحاظ تأمین ایمنی دریانوردی، نزدیک به پایین‌ترین سطح جزر آب در نظر گرفته می‌شود.

۲-۵- خطوط عمق‌یابی^۷

مجموعه‌ای از خطوط از پیش طراحی شده که عملیات عمق‌یابی بر روی آن انجام می‌گیرد را خطوط عمق‌یابی می‌نامند. توسط دستگاه اکوساندر کار برداشت پروفیل‌های بستر بر روی این خطوط طراحی شده صورت می‌گیرد. فاصله این خطوط باید بین ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر در مقیاس نقشه باشد.

۳-۵- خط مبنا^۸

خط مبنا، خطی است که مرزهای دریایی نسبت به آن سنجیده می‌شوند و پایین‌ترین خط وقوع جزرومد در نقشه‌های دریانوردی است.

۴-۵- سطح متوسط دریا (MSL)^۹

سطح متوسط دریا یا همان سطح متوسط آب‌های آزاد، عبارت است از میانگین طولانی مدت مشاهدات نوسانات دریاهای آزاد و اقیانوس‌ها به

- 5 dredging
- 6 Datum Chart
- 7 Sounding Line
- 8 Base Line
- 9 Mean Sea Level

مدت حداقل ۱۸/۶ سال.

۵-۵- سطح متوسط جزرومد (MTL)^{۱۰}

عبارت است از میانگین نوسانات سطح آب در یک بازه زمانی، مانند یک هفته و یا یک ماه.

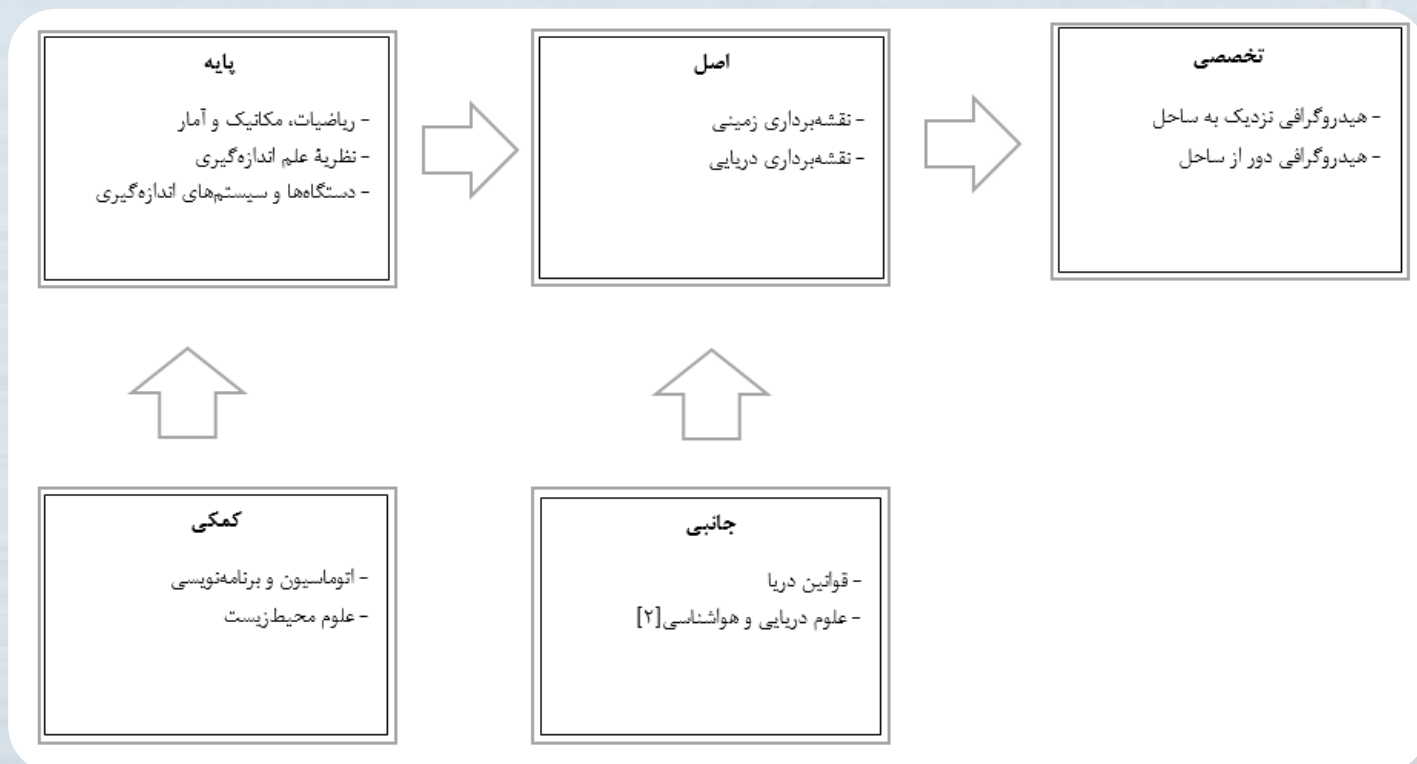
۶- آینده شغلی هیدروگرافی

از آنجایی که کشور ما دارای مرزهای آبی بسیاری است، بنابراین نیاز به متخصصان هیدروگرافی در کشور روزبه‌روز بیشتر می‌شود؛ به دلیل اینکه، این مرزها نه تنها از لحاظ سیاسی و دفاعی بلکه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌های حمل‌ونقل و همچنین یکی از راه‌های تجاری بین کشورها حائز اهمیت هستند. پس در نتیجه نیاز به نقشه‌های به‌روز و دقیق بیشتر می‌شود. علاوه‌براین، بررسی‌های هیدروگرافی می‌توانند نقشی حیاتی در تحقیقات تغییرات آب‌وهوا داشته باشد. دانشمندان با نظارت بر تغییرات سطح دریاها، الگوهای جزرومدی و سایر پدیده‌های دریایی قادرند بینشی در مورد تأثیرات گسترده‌تر گرمایش جهانی بر اقیانوس‌ها به‌دست آورند. سپس این داده‌ها می‌توانند سیاست‌ها و استراتژی‌هایی را با هدف مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آن بیان کنند. به یاد داشته باشید که خط‌مشی‌ها همان داده‌هایی هستند که هر روز جمع‌آوری می‌کنیم. درحالی‌که موارد فوق یک نمای کلی از نقشه‌برداری هیدروگرافی ارائه می‌دهند، درک این نکته ضروری است که این، فقط بخش کوچکی از دنیای نقشه‌برداری دریایی است. دنیای هیدروگرافی وسیع، پیچیده و همیشه در حال تکامل است. با افزایش اتکای ما به منابع دریایی و با ادامه اکتشاف اقیانوس‌ها، تقاضا برای نقشه‌برداران ماهر هیدروگرافی افزایش می‌یابد.

۷- مشکلات هیدروگرافی

۱. تعیین موقعیت در دریا نسبت به خشکی با دقت پایین‌تری انجام می‌شود، زیرا کشتی یا شناور تعادل کافی ندارد.
۲. خطراتی نظیر طوفان و برخورد با صخره‌ها یا سایر شناورها در دریا، از جمله چالش‌های عملیات هیدروگرافی است.
۳. وسایل نقشه‌برداری دریایی بسیار گران‌قیمت‌تر از دستگاه‌های نقشه‌برداری زمینی هستند.
۴. برای عملیات هیدروگرافی با محدودیت زمانی مواجه هستیم، چراکه امکان نقشه‌برداری دریایی در شب و همچنین شرایط آب‌وهوایی نامساعد وجود ندارد.

۸- برنامه پیشنهادی FIG/IHO برای نائل شدن به مهارت‌های بنیادی هیدروگرافی



۹- نتیجه‌گیری

دریاها مهم‌ترین راه‌های حمل‌ونقل و تجارت بین کشورها محسوب می‌شوند. تخمین زده می‌شود که حدود ۷۵ درصد از کل حمل‌ونقل کالا در تجارت جهانی از طریق دریا انجام می‌گیرد. همچنین دریاها از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدیدپذیر برای تامین غذا، نمک‌زدایی آب و تولید برق برای برآورده کردن نیازها هستند. از این رو لازم است توجه جهانیان، به ویژه کشورهای توسعه‌یافته، را به اهمیت بررسی هیدروگرافی و مطالعه توده‌های آبی جلب کنیم تا در زمینه برنامه‌های پیمایش دریایی، پیشرفت چشمگیری داشته باشیم و چه از نظر اقتصادی و چه از نظر تغذیه، بیشترین بهره را از دریاها به دست آوریم. هیدروگرافی مهم‌ترین عامل امنیتی تضمین‌کننده ایمنی دریانوردی و ایمنی شناورهای در حال مانور بر روی دریا است. کاپیتان کشتی همیشه به نقشه‌های ناوبری نیاز دارد تا کشتی خود را در مسیری ایمن هدایت نماید؛ بنابراین داشتن نقشه‌های دقیق و به‌روز هیدروگرافی برای کشورهای توسعه یافته ضروری است و کار هیدروگرافی جزء کارهای مهم دریایی محسوب می‌شود [۳].



جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:

هوش مصنوعی در هیدروگرافی



محمد پیرایش

کارشناسی ارشد هیدروگرافی دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۲

M.Pirayesh@mail.sbu.ac.ir



سید امیرعباس موسوی

کارشناسی ارشد هیدروگرافی دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۲

Seyyedam.Mousavi@mail.sbu.ac.ir

چکیده

هوش مصنوعی (AI)، همراه با حجم زیادی از داده‌های هیدرولوژیکی موجود، شرایط ایده‌آلی را برای ایجاد ابزارهایی با هدف مدیریت منابع تامین آب، ارزیابی خطر سیل و خشکسالی، پایش کیفیت آب، مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی، پیش‌بینی بار رسوب معلق و مدیریت سدها فراهم می‌کند. به همین دلیل، تکنیک‌های هوش مصنوعی، از ساده‌ترین تا پیچیده‌ترین، به ما اجازه می‌دهند تا دانش خود را در زمینه هیدرولوژی گسترش دهیم. با توجه به توان محاسباتی بالای هوش مصنوعی در پردازش و ذخیره داده‌ها، ظهور آن در ژئوماتیک دریایی، علوم اقیانوسی و هیدروگرافی جهت پیشرفت شناخت دنیای آبی بسیار موثر است.

کلمات کلیدی: هیدروگرافی، هوش مصنوعی، عکس‌برداری دریایی، ناوبری مستقل، الگوریتم

۱- مقدمه

اما چگونه هوش مصنوعی انقلابی در زمینه هیدروگرافی ایجاد می‌کند؟ هوش مصنوعی با ایجاد تحولی شگرف در روش‌ها، از نقشه‌برداری اقیانوس گرفته تا بررسی داده‌ها را کارآمدتر کرده است. اکنون، با هوش مصنوعی می‌توانیم حجم وسیعی از داده‌ها را جمع‌آوری و پردازش کنیم تا به نقشه‌های دقیق‌تری از کف اقیانوس دست‌یابیم؛ این نه تنها در ناوبری و ایمنی دریایی، بلکه در نظارت بر محیط‌زیست و مدیریت منابع نیز کمک‌کننده است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند داده‌های جمع‌آوری شده را برای شناسایی ویژگی‌های زیر آب، مانند توپوگرافی کف دریا، زیستگاه‌های حیات دریایی و خطرات احتمالی تجزیه و تحلیل کنند. این اطلاعات برای صنایع مختلف از جمله کشتیرانی، انرژی فراساحلی و تحقیقات دریایی بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، هوش مصنوعی پردازش داده‌ها را سرعت می‌بخشد و امکان تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی را فراهم می‌کند. همچنین، قادر به شناسایی تغییرات اقیانوس، پیش‌بینی الگوهای آب‌وهوا و حتی تشخیص خطرات احتمالی، مانند نشت نفت یا موانع زیر آب، نیز می‌باشد. اما باید توجه داشت در عین حال که هوش مصنوعی فرصت‌های بسیار زیادی را به ارمغان می‌آورد، چالش‌هایی را نیز به همراه دارد. اطمینان از دقت و قابل اطمینان بودن مدل‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی بسیار مهم است، زیرا خطاها می‌توانند پیامدهای جبران‌ناپذیری داشته باشند. علاوه بر این، باید نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها نیز هنگام برخورد با داده‌های حساس هیدروگرافی مورد توجه قرار گیرند. لیکن علیرغم وجود این چالش‌ها، چشم‌انداز آینده هوش مصنوعی در

هیدروگرافی بسیار امیدوارکننده است. هوش مصنوعی با پیشرفت فناوری و در دسترس قرار گرفتن داده‌های بیشتر، نقشی حیاتی در بهبود درک و مدیریت ما از آبراهه‌های جهان ایفا خواهد کرد [۱].

۲- هوش مصنوعی در هیدروگرافی

هوش مصنوعی (AI)، یک حوزه به سرعت در حال رشد از علوم کامپیوتر است که بر توسعه الگوریتم‌ها و سیستم‌هایی تمرکز دارد که به کمک داده‌ها قادر به انجام کارهایی مانند تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های پیچیده، تشخیص الگوها، و تصمیم‌گیری مستقل هستند که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند. هوش مصنوعی در هیدروگرافی این پتانسیل را دارد که دقت جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. الگوریتم‌های هوش مصنوعی، با تجزیه و تحلیل مقادیر بسیار داده‌ها از منابع مختلف، از جمله سنجش از راه دور، پهپادها و... می‌توانند الگوها، روندها و ناهنجاری‌هایی را که ممکن است برای تحلیل گران انسانی آشکار نباشد، شناسایی کنند. یکی از کاربردهای قابل توجه هوش مصنوعی در هیدروگرافی در زمینه پردازش داده‌ها می‌باشد. روش‌های سنتی پردازش داده‌ها اغلب شامل ورودی دستی و روش‌های کنترل کیفیت کار فشرده است. هوش مصنوعی می‌تواند بسیاری از این فرایندها را خودکار کند، زمان و هزینه مورد نیاز برای پردازش حجم زیادی از داده‌ها را کاهش دهد و در عین حال دقت و ثبات نتایج را نیز بهبود بخشد. تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور، حوزه دیگری از هیدروگرافی است که هوش مصنوعی تأثیر قابل توجهی در آن دارد. الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادرند داده‌های ماهواره‌ها،

در آزمایشگاه ویدئویی MBARI، که در زمینه طبقه‌بندی بصری متخصص هستند، به تفصیل شرح داده شده است. آرشیو ویدئویی MBARI تقریباً شامل ۸/۲ میلیون حاشیه‌نویسی است که مشاهدات حیوانات، زیستگاه‌ها و اشیاء را ثبت می‌کند. این مجموعه داده، منبع ارزشمندی برای محققان این موسسه و سایر همکاران در سراسر جهان می‌باشد.

با وجود داده‌های MBARI و سایر همکاران که شالوده و اساس این پایگاه داده را تشکیل می‌دهند، تیم FathomNet امیدوار است که بتواند تحقیقات اقیانوس‌ها را، به‌ویژه در زمانی که درک اقیانوس مهم‌تر از همیشه است، سرعت ببخشد. MBARI یک برنامه آزمایشی را برای استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی آموزش‌دیده توسط FathomNet (ROV) جهت ضبط ویدئوها توسط وسایل نقلیه زیر آب از راه دور راه‌اندازی کرد. استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، نیاز به مشارکت انسان در این امور را تا ۸۱ درصد کاهش و نرخ برچسب‌گذاری را ده برابر افزایش داد. سایر موسسات به عنوان یک منبع مبتنی بر وب، می‌توانند به جای استفاده از تلاش‌های سنتی و منابع فشرده برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های بصری، به FathomNet کمک کرده و از آن بهره ببرند. FathomNet به باز کردن قدرت هوش مصنوعی برای سرعت بخشیدن به پردازش تصاویر اقیانوس کمک می‌کند (شکل ۲) [۳].



شکل (۲): MBARI ۲۰۲۰

پروژه Ocean Vision AI و FathomNet از قدرت هوش مصنوعی برای سرعت بخشیدن به پردازش تصاویر اقیانوس و در نهایت امکان مدیریت موثر منابع اقیانوس استفاده می‌کند (شکل ۳).



شکل (۳): MBARI ۲۰۲۱

۳-۲- روش‌های ناوبری مستقل

NaviPac در حال حاضر از طریق ابزار Coverage Assist، ناوبری خودکار را تسهیل می‌کند. این ابزار به طور خودکار خطوط ناوبری را بر اساس عمق شناسایی شده در زمان واقعی برنامه‌ریزی می‌نماید تا هنگام اسکن یک منطقه، از پوشش مطلوب اطمینان حاصل کند. اپراتور

حسگرهای هوابرد و سیستم‌های بدون سرنشین را تجزیه و تحلیل کنند و بینش‌های ارزشمندی را در مورد ویژگی‌های فیزیکی محیط دریایی، مانند عمق آب، دما و شوری ارائه نمایند. همچنین، هوش مصنوعی برای بهبود کارایی و ایمنی بررسی‌های هیدروگرافی استفاده می‌شود. سیستم‌های خودگردان مانند کشتی‌ها و زیردریایی‌های بدون سرنشین مجهز به فناوری‌های هوش مصنوعی، می‌توانند به طور مستقل حرکت کنند و داده‌ها را برای منتقل کردن به ساحل جمع‌آوری نمایند. این امر، با کاهش نیاز به حضور اپراتورهای انسانی در کشتی‌های بررسی و همچنین خطر تصادفات، کارایی عملیات را بهبود می‌بخشد. به طور کلی، هوش مصنوعی با فراهم کردن بستر کارآمدتر و دقیق‌تر در جمع‌آوری، پردازش و واکاوی داده‌ها، حوزه هیدروگرافی را متحول می‌سازد [۲].

۳- کاربرد هوش مصنوعی در هیدروگرافی

۳-۱- قدرت هوش مصنوعی برای اکتشاف اقیانوس

محققان باید به منظور مدیریت اثرات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و سایر تهدیدات، در مورد ساکنان اقیانوس‌ها، اکوسیستم‌ها و فرایندها بیشتر بدانند. جمع‌آوری تصاویر و ویدئوها یا به طور کلی، داده‌های بصری که حجم بسیار زیادی جهت تجزیه و تحلیل دارند، در یک تلاش مشترک، با همکاری MBARI و سایر موسسات تحقیقاتی توانستند از قدرت هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای سرعت بخشیدن به مطالعه اقیانوس استفاده کنند. FathomNet که توسط MBARI، Ocean Vision AI و Discovery League تأسیس شده است، یک پایگاه داده تصویر منبع باز می‌باشد که از الگوریتم‌های پردازش داده‌های پیشرفته برای کمک به پردازش داده‌های بصری استفاده می‌کند (شکل ۱). بهره‌برداری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، تنگناها را جهت بررسی تصاویر زیر آب کاهش می‌دهد و تحقیقات مهم در مورد سلامت اقیانوس را سرعت می‌بخشد.



شکل (۱): برگرفته از FathomNet

پیشرفت‌های اخیر در یادگیری ماشین، امکان واکاوی سریع و پیچیده داده‌های بصری را فراهم می‌کند، اما استفاده از هوش مصنوعی در تحقیقات اقیانوس، به دلیل عدم وجود مجموعه‌ای استاندارد از تصاویر که بتواند برای آموزش الگوریتم‌های تشخیص و فهرست بندی اشیاء زیر آب استفاده شود ناکارآمد بود؛ FathomNet با جمع‌آوری تصاویر از منابع مختلف و ایجاد یک پایگاه داده تصاویر زیر آب این چالش را حل کرده است.

در طول ۳۵ سال گذشته، MBARI نزدیک به ۲۸۰۰۰ ساعت فیلم در اعماق دریا ضبط کرده و بیش از ۱ میلیون تصویر از اعماق دریا گردآوری کرده است. این مجموعه داده‌های بصری توسط تکنسین‌های تحقیقاتی

می‌تواند به سادگی منطقه‌ای را که باید اسکن شود و همچنین اولین خط اجرا را تعریف کند. سپس، Coverage Assist کارآمدترین مسیر را در یک زمان به وجود می‌آورد. این امر با طراحی کوتاه‌ترین مسیر برای گردش، و با پیروی از حد بیرونی داده‌های عمق‌سنجی جمع‌آوری شده در خط قبلی انجام می‌شود. Coverage Assist در محاسبات خود قابلیت‌های چرخش کشتی و همچنین پوشش و الزامات تراکم را در نظر می‌گیرد. به عبارت دیگر، مسیر بهینه را برای آن کشتی خاص، با در نظر گرفتن الزامات خاص آن، طراحی می‌کند و از این طریق برای اطمینان از پوشش کامل منطقه، سازگار می‌شود.

در حال حاضر، دانشمندان در حال توسعه چندین روش برای ناوبری خودکار زیر آب هستند که برای کاربردهای مختلف مژمر ثمر می‌باشند. وجه مشترک همه این روش‌ها این است که موقعیت‌یابی خودکار را با ردیابی اشیاء یا سازه‌ها فراهم می‌کنند. بر روی Visual SLAM (محلی سازی و نقشه‌برداری همزمان) نیز تحقیقاتی جهت ارائه اطلاعات بلادرنگ به عنوان ورودی برای ناوبری مستقل در آینده صورت می‌گیرد [۴].

۴- چالش‌ها و محدودیت‌های هوش مصنوعی در هیدروگرافی

درحالی‌که هوش مصنوعی قابلیت‌های بسیار زیادی دارد، اما با چالش‌ها و محدودیت‌های متعددی نیز مواجه است که باید برای تحقق کامل در هیدروگرافی به آن توجه کرد.

۴-۱- داده‌های با کیفیت بالا

یکی از چالش‌های اصلی استفاده از هوش مصنوعی در هیدروگرافی، نیاز به داده‌هایی با کیفیت بالا است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی با دقت بالا، به مقادیر زیادی از داده‌های دقیق و ثابت نیاز دارد؛ با این حال، داده‌های هیدروگرافی می‌توانند از نظر کیفیت، متغیر باشند و استانداردسازی آنها دشوار است.

۴-۲- توسعه الگوریتم

توسعه الگوریتم‌های دقیق و قابل اطمینان هوش مصنوعی برای هیدروگرافی یک کار پیچیده و تخصصی می‌باشد. الگوریتم‌ها باید بتوانند حجم زیادی از داده‌ها را مدیریت و شناسایی کنند و پیش‌بینی‌های دقیق را در زمان واقعی انجام دهند. این کار نیاز به درک عمیق اصول هیدروگرافی، بررسی داده‌ها و تکنیک‌های یادگیری ماشین دارد. همکاری بین متخصصان هیدروگرافی، دانشمندان و کارشناسان هوش مصنوعی برای توسعه الگوریتم‌هایی که نیازهای خاص جامعه هیدروگرافی را برآورده می‌سازند، امری ضروری است.

۴-۳- طرح و شیوه‌های تحقیق

استفاده از سیستم‌های خودگردان در محیط‌های حساس دریایی، اصولی را مطرح می‌نماید که باید به دقت مورد توجه قرار گیرند. متخصصان هیدروگرافی باید یقین پیدا کنند که برنامه‌های هوش مصنوعی با در نظر گرفتن تأثیرات بالقوه بر اکوسیستم‌های دریایی، جوامع محلی و سایر ذینفعان، به شیوه‌ای مسئولانه و اخلاقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این امر مستلزم درک کامل چارچوب‌های قانونی و اخلاقی حاکم بر

فعالیت‌های هیدروگرافی، و همچنین تعامل مداوم با ذینفعان مربوطه است تا اطمینان حاصل شود که برنامه‌های هوش مصنوعی با نیازها و ارزش‌های آنها همسو می‌باشند.

۵- چشم‌اندازهای آینده هوش مصنوعی در هیدروگرافی

آینده هوش مصنوعی در هیدروگرافی امیدوارکننده است. پیشرفت در یادگیری مکانیک و فناوری‌های رباتیک به افزایش قابلیت‌های سیستم‌های هوش مصنوعی کمک می‌کند. ما می‌توانیم انتظار جمع‌آوری داده‌های کارآمدتر، دقیق‌تر و با صحت بالاتری را داشته باشیم که منجر به بهبود اکتشافات دریایی، حفاظت از محیط‌زیست و عملیات دریایی می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی هیدروگرافی را متحول می‌کند و ما را قادر می‌سازد تا راه‌های آبی جهان را به روش‌هایی که قبلاً هرگز ممکن نبوده، کشف و درک نماییم. هوش مصنوعی با توانایی پردازش حجم وسیعی از داده‌ها و تصمیم‌گیری آگاهانه، این حوزه را متحول می‌کند و کارایی، دقت و ایمنی را بهبود می‌بخشد. ادغام هوش مصنوعی در هیدروگرافی یک فرآیند مداوم است که نیاز به همکاری بین متخصصان هیدروگرافی، دانشمندان و کارشناسان هوش مصنوعی دارد. با استفاده از قدرت هوش مصنوعی، می‌توانیم فرصت‌های جدیدی را برای اکتشاف، حفاظت و استفاده پایدار از آبراهه‌های خود به ارمغان بیاوریم.

جهت مشاهده منابع این مقاله،
اسکن کنید:



هیدروگرافی، کلید ورود به دریا

گفت‌وگویی با جناب آقای دکتر محمود پیروزی

نیلوفر دربندسری

کارشناسی مهندسی نقشه برداری دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۳۹۹

n.darbandsari@mail.sbu.ac.ir

عباس کریمی

کارشناسی مهندسی نقشه برداری دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

mr.abbaskarimi82@gmail.com


جناب آقای دکتر محمود پیروزی

تحصیلات: دکتری و پسادکتری ژئودزی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

علت انتخاب برای مصاحبه: علاقه مندی و فعالیت‌های حائز اهمیت در زمینه هیدروگرافی و ژئودزی

شغل: مشاور سازمان نقشه برداری کشور و سازمان جغرافیایی کشور و در حال حاضر تدریس در

دانشگاه شهید بهشتی



مقدمه

روش‌های کارآمدتر و بومی استفاده شود. در این زمینه همه دانش‌پژوهان، متخصصان، دانشمندان و صاحبان ایده می‌توانند نقشی مثمر ثمر داشته باشند.

قابل توجه علاقه‌مندان، در حال حاضر گرایش هیدروگرافی در مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران و شهید بهشتی دانشجوی می‌پذیرد. آنچه در ادامه می‌آید، مشروح گفت‌وگو و مصاحبه ما با جناب آقای دکتر محمود پیروزی درباره فعالیت شغلی ایشان در این زمینه است.

شما تجارب زیادی در زمینه بازار کار حرفه‌ای هیدروگرافی در ارگان‌های متفاوت کسب کرده‌اید. مایلیم از زبان خودتان راجع به این مسئله بیشتر بشنویم.

بنده پس از اتمام دوره کارشناسی در شرکت‌های بزرگ، از قبیل شرکت‌های نقشه‌برداری، راهسازی و مشاور نقشه‌برداری مشغول به کار شدم؛ پس از اتمام دوره کارشناسی ارشد قراردادی را با سازمان نقشه‌برداری کشور بستم و چند سالی را در آنجا فعالیت کردم. پس از آن پروژه‌ای را به عنوان پروژه جایگزین خدمت، برای وزارت دفاع انجام دادم؛ پس از اتمام پروژه، در سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح مشغول به کار شدم، و در حال حاضر مشاور سازمان نقشه‌برداری کشور و سازمان جغرافیایی کشور هستم.

هیدروگرافی شاخه‌ای از علوم کاربردی در ارتباط با توصیف پدیده‌های دریایی و فیزیکی دریا است و از بعد عملیاتی به معنای عمق‌سنجی یا آب‌نگاری دریا می‌باشد. تا زمانی که شناخت کافی نسبت به وضعیت بستر و عمق دریا نباشد، هیچ‌گونه فعالیت دریایی اعم از حمل‌ونقل، ناوبری، شیلات و... امکان‌پذیر نخواهد بود؛ به عبارت بهتر می‌توان گفت که کلید ورود به دریا هیدروگرافی است. لایروبی بنادر و اسکله‌های صادراتی، ایجاد سازه‌های دریایی و مهندسی سواحل، ناوبری و حمل‌ونقل دریایی، ارائه عمق‌نگاشت مناطق، احداث سکوه‌های نفتی و خطوط لوله و مخابرات در زیر دریا، گردشگری و حفاظت دریایی برای ایمن‌سازی و همچنین اهداف نظامی، از جمله کاربردهای هیدروگرافی محسوب می‌شوند.

در راس امور هیدروگرافی، سازمان بنادر و دریانوردی است که از هیدروگرافی برای بهینه‌سازی بنادر و تصمیم‌گیری‌های کلان کشور در حوزه حمل‌ونقل دریایی استفاده می‌کنند. گفتنی است از سال ۲۰۰۵ نیز، ۳۱ خرداد مطابق با ۲۱ ژوئن به عنوان روز جهانی هیدروگرافی نام گرفته و هر سال سازمان بین‌المللی هیدروگرافی، شعاری را برای این روز از بین پیشنهادات کشورهای مختلف انتخاب می‌کنند.

اکنون که کشورمان به یکی از کشورهای توانمند جهان در زمینه هیدروگرافی و چارت‌های دریایی تبدیل شده، وقت آن رسیده که از

طبق سوابقی که داشتید، نظر شما راجع به این رشته چیست؟

خوشبختانه در کشور ایران متخصصین بسیار خوبی در این زمینه فعال اند و همه‌ی آنها سعی در آبادی این کشور دارند. به دانشجویان عزیز نیز این نوید را می‌دهم که آینده خوبی در این رشته در انتظارشان است. این رشته پر از چالش‌های علمی و کاری است که می‌توانند از آنها بهره کاملی ببرند.

درباره شرایط هیدروگرافی، استانداردها و برخی اصطلاحات آن توضیحاتی را می‌فرمایید؟

در زمینه هیدروگرافی، به دلیل شرایط خاص دریا و تغییرات لحظه‌ای آب‌وهوایی، چالش‌های بسیار زیادی در این زمینه به وجود می‌آید. تمامی برداشت‌های هیدروگرافی که برای سازمان نقشه‌برداری انجام می‌شوند، باید مطابق استانداردهای تعریف شده IHO^۱ باشند. طبق این استاندارد، نقشه‌ای که از منطقه برای یک عمق خاص برداشت می‌شود، باید نسبت به یک سطح مبنا، که به آن چارت دیتوم گفته می‌شود، باشد. در واقع چارت دیتوم^۲، یک سطح مبنای امن برای شناورها است، تا در نزدیکی سواحل با خطرات روبه‌رو نشوند؛ البته بعضی از شرکت‌های خصوصی سطح متوسط دریا^۳ را جایگزین این سطح می‌کنند اما استاندارد سازمان‌هایی از جمله، سازمان نقشه‌برداری کشور و سازمان جغرافیایی، همان استاندارد IHO می‌باشد. مشاهداتی که در هیدروگرافی انجام می‌شوند، مشاهدات اکوساندر^۴ است. این وسیله امواج صوتی را ارسال می‌نماید، سپس این امواج به بستر دریا برخورد کرده و باز می‌گردند، و براساس زمان رفت و برگشت امواج، عمق بستر دریا محاسبه می‌شود.

در مورد پروژه‌هایی که در حوزه هیدروگرافی انجام داده‌اید، توضیحاتی می‌فرمایید؟

یکی از پروژه‌هایی که تحت نظارت وزرات دفاع به عنوان جایگزین برای خدمت سربازی به بنده داده شد، پروژه ردیابی زیردریایی‌ها در تنگه‌ی هرمز بود. همانطور که می‌دانید زیردریایی‌ها می‌توانند به صورت ناشناس از منطقه‌ای عبور کنند و آن منطقه را از لحاظ ساختار زمین‌شناسی، ساحلی و ... رصد نمایند و حتی از این مناطق نقشه‌های توپوگرافی تهیه کنند. این پروژه دارای فازهای مختلفی بود، یکی از فازهای اولیه آن، فاز مدلسازی تغییراتی بود که بر اثر حرکت زیردریایی‌ها با توجه به تغییرات دانسیته آب به وجود می‌آمد. زیردریایی‌ها همانند شناورهایی که روی سطح دریا حرکت می‌کنند، در زمان حرکت، امواجی به شکل عدد ۷ ایجاد می‌نمایند که به آنها امواج Wake گفته می‌شود. برای شناسایی این امواج نیاز است تا حرکت شناور در سرعت‌های مختلف، نوع شناور و پارامترهای دیگر در نظر گرفته شود و عملیات مدلسازی برای این موارد صورت گیرد. منظور از مدلسازی، بررسی و پیش بینی تغییرات میزان طول و شکل موج با توجه به پارامترهایی از جمله طول شناور، وزن شناور، سرعت حرکت شناور و دانسیته آب است. تمامی این موارد توسط تیم ما انجام شد و پس از آن معادلات توربولانسی آب حل شد و با توجه به سرعت، وزن و استراکچری که شناور دارد، میزان موج Wake شناسایی

- 1 International Hydrography Organization
- 2 Datum Chart
- 3 Sea Mean Level
- 4 Eco Sounder

گردید.

در فاز دوم وارد مسائل آزمایشگاهی شدیم و به بررسی تطابق محاسبات انجام شده با واقعیت پرداختیم. در تست اول متوجه شدیم که میزان محاسبه شده با واقعیت تطابق ندارد و مجبور به محاسبه و مدلسازی مجدد داده‌ها شدیم و این بار بعضی از ورودی‌های معادله دیفرانسیل، از جمله ضریب اصطکاک بستر، ضریب دانسیته میان سطح آب و بستر دریا و ... را تغییر دادیم. با تغییر مقادیر ورودی میزان تطابق محاسبات با آزمایشگاه افزایش یافت، و تصمیم گرفتیم تا یک کالیبراسیون محلی^۵ روی مدل انجام دهیم و ضرایب را به صورت بهینه به دست بیاوریم. خوشبختانه بعد از این کار، محاسبات انجام شده و نتایج آزمایشگاهی تطابق لازم را دارا بودند.

فاز بعدی پروژه وارد زمینه‌های برق و سیگنال و الکترونیک شد که به شناسایی زیردریایی‌ها می‌پرداخت. این امر توسط سنسورهای نصب شده در تنگه و مدلسازی‌های صورت گرفته توسط هیدروگراف‌ها انجام پذیرفت. بدین ترتیب، شناسایی زیردریایی‌ها در این تنگه ممکن شد.

آیا در حین انجام پروژه‌ها با چالش‌هایی نیز مواجه شده‌اید؟

بله، به طور مثال ما در منطقه‌ای که قبلاً در آن هیدروگرافی انجام شده بود، مجدد هیدروگرافی انجام دادیم و هدف از این کار مشخص کردن میزان لایروبی آن منطقه بود. این منطقه در نزدیکی گناوه قرار داشت و به همین دلیل تاثیر جزرومد بر روی آن به شدت بالا بود. این اثر باید به عنوان تصحیحات برای مشاهدات دستگاه اکوساندر تعریف شود. با انجام محاسبات متوجه شدیم که مقادیر به دست آمده با مقادیر اصلی اختلاف قابل توجهی دارند و مجبور به محاسبه مجدد مقادیر شدیم. پس از اینکار متوجه شدیم که مهندسین قبلی که آخرین بار این منطقه را برداشت کرده بودند، این تصحیحات جزرومد را برای مشاهدات دستگاه اکوساندر اعمال نکرده بوده‌اند. که همین امر باعث بروز خطاهایی به اندازه ۱ الی ۲ متر در منطقه شده بود که میزان قابل توجهی در هیدروگرافی است.

یکی از مهم‌ترین پروژه‌هایی که توسط شما انجام گرفته چه بوده است؟

بنده در سال ۱۴۰۲ برای سازمان جغرافیایی نیروی مسلح انجام دادم، پروژه مدلسازی دقیق سطح لحظه‌ای آب با استفاده از مشاهدات ژئودتیکی در منطقه‌ی خلیج فارس و دریای عمان بود که برای نیروهای مسلح مسئله‌ای بسیار حیاتی و حائز اهمیت است چراکه لازم است اطلاعات سطح لحظه‌ای آب در زمان‌های مختلف را در اختیار داشته باشند. این مسئله کمک می‌کند تا نیروهای مسلح در زمان مناقشه با کشورهای دیگر، بدانند که در چه زمانی باید حمله و فعالیت‌های نظامی انجام شود، همچنین محل استقرار نیروها نیز با این اطلاعات مشخص می‌شود. هدف از انجام این پروژه پیش‌بینی سطح نقطه‌ای آب در هر نقطه از خلیج فارس و دریای عمان بود. یکی از پدیده‌هایی که در دریای عمان وجود دارد، پدیده‌ی جزرومد است. جزرومد یک موج پریودیک و دائماً در حال نوسان است. با تکرار این نوسانات، مدلسازی این پدیده ممکن می‌شود. مدلسازی‌های مختلفی از جمله مدلسازی تجربی، فیزیکی و

مسئولیت شما در این پروژه چه بود؟

در این پروژه مسئولیت مدیریت پروژه به عهده بنده بود و وظایفی مثل برنامه‌نویسی و... را باید انجام می‌دادم، که خوشبختانه به نحو احسن پیش رفت.

انگیزه شما از قبول این پروژه چه بود؟

انگیزه بنده برای انجام این پروژه، خدمت به کشور و اهتزاز پرچم کشورم بود.

به یاد ماندنی‌ترین لحظه در حین انجام این پروژه چه زمانی بود؟

در این پروژه مسائل ریاضی به شدت اهمیت داشت و یکی از به یادماندنی‌ترین مسائلی که در این پروژه با آن روبه‌رو شدم، زمان‌پیداده‌سازی روابط با استفاده از زبان برنامه‌نویسی متلب و پایتون بود. و زمانی که کار به ثمر رسید و نتیجه نهایی را مشاهده کردم بسیار شگفت‌زده شدم.

یکی از چالش‌های به خصوص در این پروژه چه بود و چطور موفق به برطرف کردن آن شدید؟

یکی از چالش‌هایی که در این پروژه با آن رو به رو شدم، شیفت زمانی بود که در پیش‌بینی بنده وجود داشت و این شیفت به دلیل عدم محاسبه دقیق فاز بود. مجدد همه فازها با استفاده از مدل‌های مختلف محاسبه شدند. در واقع نیاز بود که از زمان محلی^۶ برای این پروژه استفاده شود.

در پایان، توصیه شما به دانشجویان رشته مهندسی نقشه‌برداری برای موفقیت در آینده چیست؟

توصیه‌ای که می‌توان برای دانشجویان رشته نقشه‌برداری داشت این است که باید سعی کنند تا مباحث بروز هیدروگرافی و نقشه‌برداری را هم از نظر تجهیزات و هم از نظر روش‌های محاسباتی در دنیا را پیش ببرند. به کتب و مقالاتی که در این حوزه منتشر می‌شود توجه کنند و روش‌های مختلف ریاضی را فرا بگیرند. و همچنین از سعی و خطا در این رشته هراسی نداشته باشند. بدانند که انسان همواره با خطا رو به روست و لازمه برطرف کردن این خطا استمرار و بررسی مجدد مسائل با روش‌های جدید است.

توصیه‌ی دیگر بنده به دانشجویان این است که در سخت‌ترین لحظات زندگی امیدشان به خدا باشد. رشته نقشه‌برداری دارای چالش‌های مختلف و شرایط محیط کاری سخت است و تنها کسی که در این شرایط می‌تواند به شما کمک کند، خداوند متعال است.

مدلسازی ریاضی که امروزه با استفاده از هوش مصنوعی انجام می‌شود، برای این پدیده وجود دارد. مدلسازی دیگری نیز به نام مدلسازی تلفیقی نیز وجود دارد که در آن پاسخ معادلات دیفرانسیلی که در مدلسازی فیزیکی انجام می‌شود را با مدلسازی تجربی تلفیق می‌شود. در این پروژه از مدل‌هایی همچون Mike و MITGCM که بر پایه‌ی معادلات فیزیکی هستند و همچنین مدل‌های تجربی استفاده گردید. برای این کار از مشاهدات تایدگیج که از کشور خودمان و کشورهای همسایه مثل پاکستان، هندوستان، کویت، امارات، قطر، عربستان و عمان در دسترس بود و همچنین اطلاعات ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی که نوسانات سطح لحظه‌ای آب را اندازه‌گیری می‌کنند، استفاده شد. هدف از پرتاب این ماهواره‌ها، ثبت تغییرات سطح لحظه‌ای آب است. پس از این کار دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی به طور دقیق حساب شد و در رابطه تجربی جزر و مدی قرار گرفت. همچنین تصحیحاتی رو دامنه و فاز ایجاد گردید که به آن‌ها تاثیرات نودال گفته می‌شود. این تصحیحات با توجه به تغییرات مکانی و زمانی اعمال می‌شوند. پس از ایجاد مدل در منطقه، به بررسی آن پرداختیم که بسیار کار مهمی است. این بررسی یک بار با داده‌های تایدگیج و بار دیگر با قرائت ایستگاه‌هایی که تایدگیج وجود نداشت توسط تایدل انجام شد که خوشبختانه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر قرائت شده مطابقت کامل داشت. با استفاده از معیار RMSE یا Root Mean Square Error متوجه شدیم که مدل ایجاد شده، مدل خوبی است و دقت‌های مورد نیاز را دارا است. در آخر سامانه‌ای تحت وب در سازمان جغرافیایی نیروی مسلح ایجاد شد و در حال حاضر نیروهای مسلح این امکان را دارند تا در هر نقطه‌ای از دریای عمان و خلیج فارس، سطح لحظه‌ای آب را پیش‌بینی نمایند و در موقعیت‌های خطرناک بهترین تصمیم را بگیرند. بحث پیش‌بینی در موقعیت‌های خطرناک به خصوص در دریاها بخصوص خلیج فارس و دریای عمان، همواره حائز اهمیت بوده چراکه رتبه اول انرژی‌های نفت‌وگاز را در دنیا دارند.

موقعیت مکانی پروژه چه بود؟

در این پروژه با توجه به تردد کشتی‌های کشورمان به حوزه دریای سرخ، علاوه بر خلیج فارس و دریای عمان بخشی از اقیانوس هند شمالی نیز مورد بررسی قرار گرفت. منطقه پوشش داده شده در این پروژه تقریباً از عرض جغرافیایی ۳ تا ۳۳ درجه و طول جغرافیایی ۴۰ تا ۷۵ درجه بود.

هدف پروژه و علت اهمیت آن را می‌فرمایید؟

یکی از علت‌های انجام این پروژه این بود که نیروهای مسلح یک آگاهی کامل نسبت به سطح لحظه‌ای سطح آب داشته باشند تا در زمانی که شناوری در حال حرکت است، بدانند که جزرومد چه زمانی اتفاق می‌افتد و بتواند به صورت دقیق پیش‌بینی‌های دقیق را انجام دهد.

این پروژه با پروژه‌های مشابه قبلی چه تفاوتی داشت؟

این کار در سال‌های گذشته توسط کشور آمریکا توسط سامانه‌هایی که در اختیار داشتند، انجام شده بود اما در این پروژه این کار به صورت تلفیقی از اطلاعات زمینی، ماهواره‌ای و مدل‌های مختلف انجام گردید و سعی شد تا دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی با دقت بسیار بالایی استخراج شوند.



بررسی و ارزیابی روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی در استخراج راه‌های شهری با استفاده از تصاویر سنجش از دوری با قدرت تفکیک متوسط

(مطالعه موردی: شهر تهران)

نیلوفر دربندسری

کارشناسی مهندسی نقشه برداری دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۳۹۹

n.darbandsari@mail.sbu.ac.ir



چکیده

امروزه راه‌های شهری، بخش مهم زیرساختی و مهم‌ترین بخش حمل‌ونقل می‌باشند. اطلاعات شبکه راه‌های شهری در کاربردهای مهمی، از جمله برنامه‌ریزی شهری، ناوبری وسایل نقلیه و کنترل ترافیک نقش مهمی دارند. نظارت و به‌روزرسانی اطلاعات شبکه راه‌ها می‌تواند راحتی عابران و امنیت وسایل نقلیه را تامین نماید. یکی از مهم‌ترین منابع کسب این اطلاعات، تصاویر سنجش از دوری می‌باشد. تصاویر سنجش از دور، اخیراً به طور گسترده در استخراج راه‌های شهری استفاده می‌شوند و می‌توانند اطلاعات مکانی دقیق این عوارض را در اختیار کاربران قرار دهند. در این مطالعه، شبکه راه‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای Landsat 9 شهر تهران با استفاده از دو روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی استخراج گردیدند. برای ارزیابی دقت راه‌های استخراج شده توسط این دو روش، دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شدند. این دو شاخص برای روش شبکه عصبی برابر ۹۱/۴۴ درصد و ۰/۸ بودند. این نتایج نشان می‌دهند روش بهینه برای استخراج راه‌های شهر تهران روش شبکه عصبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: راه‌های شهری، سنجش از دور، قدرت تفکیک، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی

۱- مقدمه

راه‌ها از بخش‌های مهم زیرساخت شهری محسوب می‌شوند. اطلاعات شبکه راه‌ها در حوزه‌های کاربردی، از جمله کنترل و مدیریت ترافیک [۱]، ناوبری وسیله نقلیه [۲]، برنامه‌ریزی شهری [۳]، مدیریت بحران [۴]، حمل‌ونقل هوشمند [۵]، و بهینه‌سازی مسیرها [۶]، استفاده می‌شوند. امروزه یکی از منابع اصلی استخراج این اطلاعات، تصاویر و داده‌های سنجش از دوری می‌باشد [۷].

پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های سنجش از دور و زیرساخت‌های اطلاعاتی [۸]، پتانسیل زیادی را برای دستیابی به اطلاعات مکانی دقیق فراهم ساخته است [۹].

امروزه تصاویر با وضوح متوسط و رایگان برای بسیاری از کاربردهای سنجش از دور، مانند تشخیص راه، مناسب هستند [۱۰]. از روش‌های استخراج اطلاعات راه‌ها از تصاویر سنجش از دوری می‌توان به روش ماشین بردار پشتیبان اشاره نمود. این روش یادگیری ماشینی در تشخیص الگو در تصاویر سنجش از دوری عملکرد بسیار خوبی داشته است و به طور موثر در تشخیص راه‌ها استفاده شده است [۱۱]. در این روش با استفاده از داده‌های آموزشی می‌توان تصویر سنجش از دوری را به دو کلاس راه و غیر راه طبقه‌بندی نمود و با استفاده از همین دو کلاس راه‌های شهری را از تصویر استخراج کرد [۱۲].

یکی دیگر از روش‌های موثر استخراج راه از تصاویر سنجش از دوری، استفاده از روش شبکه عصبی است. این روش در تقسیم‌بندی معنایی تصاویر و استخراج عوارض از تصاویر سنجش از دوری عملکرد بسیار خوبی

از نظر دقت داشته اند [۱۳]. این روش با استفاده از داده‌های آموزشی می‌تواند الگوهای درون داده را یاد بگیرند، مسائل غیرخطی را به سادگی حل کند و در حل طیف زیادی از مسائل، از جمله تشخیص راه‌ها از تصاویر سنجش از دوری، استفاده شود [۱۴].

هدف این مطالعه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 9 که یک تصویر با قدرت تفکیک متوسط است، برای استخراج راه‌های شهر تهران می‌باشد. برای این منظور از روش ماشین بردار پشتیبان که یک روش یادگیری ماشینی است و روش شبکه عصبی استفاده شد. پس از انجام مرحله استخراج راه‌های شهری، دقت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت روش‌های استفاده شده محاسبه گردیدند. در بخش بعدی به داده‌های مورد استفاده، روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی و نحوه محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا اشاره خواهد شد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

اولین ماهواره Landsat در سال ۱۹۷۲ میلادی پرتاب شد و تصاویر رقومی را در اختیار کاربران سنجش از دور قرار داد [۱۵]. با توسعه فناوری‌های حسگر و ماهواره‌ای، Landsat 9 در سال ۲۰۲۱ راه‌اندازی شد [۱۶]. ماهواره Landsat 9 دارای ۹ باند طیفی برای کاربردهای مختلف سنجش از دور است [۱۷]. اطلاعات مربوط به طول موج و قدرت تفکیک این باندها در جدول ۱ ذکر شده است.

باند	طول موج	قدرت تفکیک
Coastal Aerosol	$0.43-0.45 \mu m$	30 m
Blue	$0.45-0.51 \mu m$	30 m
Green	$0.53-0.59 \mu m$	30 m
Red	$0.64-0.67 \mu m$	30 m
NIR	$0.85-0.88 \mu m$	30 m
SWIR 1	$1.57-1.65 \mu m$	30 m
SWIR 2	$2.11-2.29 \mu m$	30 m
Panchromatic	$0.50-0.68 \mu m$	15 m
Cirrus	$1.36-1.38 \mu m$	30 m

جدول (۱): باندهای طیفی ماهواره Landsat 9

با استفاده از این دو روش استخراج شدند. در مرحله آخر، دقت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت، تعیین گردیدند.

۲-۳- روش‌های استخراج راه‌های شهری

همانطور که گفته شد دو روش بردار ماشین پشتیبان و شبکه عصبی از روش‌های مناسب برای استخراج راه‌های شهری می‌باشند. در این مطالعه نیز از همین دو روش برای استخراج راه‌های شهری تهران استفاده شد. در ادامه، به طور مختصر این دو روش توضیح داده خواهند شد.

۲-۳-۱- روش بردار ماشین پشتیبان

روش بردار ماشین پشتیبان، داده‌های ورودی را به یک فضای n بعدی نگاشت می‌کند تا یک ابر صفحه با حداکثر حاشیه یا لبه ایجاد نماید. این ابر صفحه، مرزی بین دو کلاس ایجاد می‌کند. هرچقدر حاشیه یا لبه‌ها بیشتر باشند، داده‌ها به طور دقیق‌تری طبقه‌بندی می‌شوند. نزدیک‌ترین داده به ابر صفحه به عنوان بردارهای پشتیبانی شناخته می‌شوند [۱۸]. ابر صفحه H_0 با استفاده از رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$H_0: w^T x + b = 0 \quad \text{رابطه ۱:}$$

دو ابر صفحه H_1 و H_2 به موازات ابر صفحه H_0 طبق رابطه ۲ و ۳ ایجاد می‌شوند:

$$H_1: w^T x + b = -1 \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$H_2: w^T x + b = 1 \quad \text{رابطه ۳:}$$

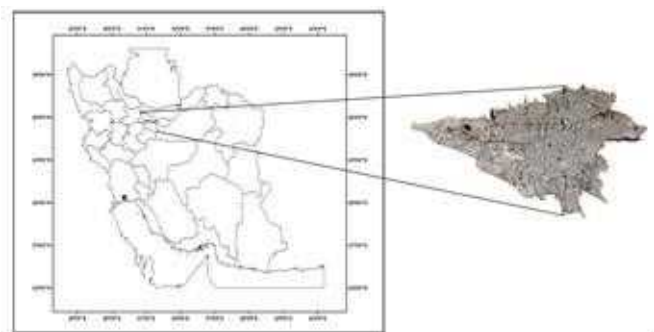
هر بردار ورودی X_i باید توسط ابر صفحه با یک قید در معادلات ۴ و ۵ اعمال شود:

$$wX_i + b \geq 1 \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$wX_i + b \leq -1 \quad \text{رابطه ۵:}$$

ابر صفحه جداکننده دو کلاس در روش بردار ماشین پشتیبان در شکل ۳ نشان داده شده است.

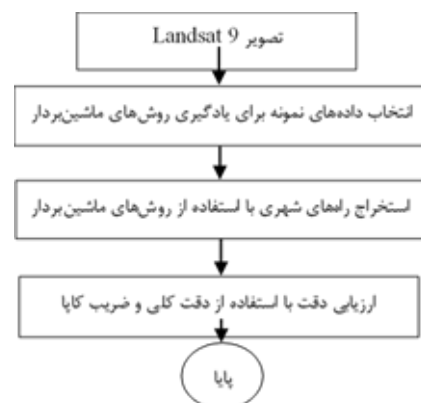
در این پژوهش از باندهای قرمز، سبز و آبی برای استخراج راه‌های شهر تهران استفاده شد. عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه از ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی از ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی بود. سیستم مختصات تصویر UTM، بیضوی WGS84 و منطقه در زون ۳۹ قرار داشت. منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): تصویر ماهواره‌ای Landsat 9 تهران

۲-۲- روش‌های مورد استفاده

مراحل انجام کار در این مطالعه مطابق شکل ۲ می‌باشد.



شکل (۲): شکل کلی مراحل انجام این مطالعه

مطابق شکل ۲ در مرحله اول، داده‌های نمونه برای یادگیری روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی انتخاب شدند. این داده‌ها ۲ کلاس راه و کلاس‌های دیگر بودند. پس این مرحله، استخراج راه‌های شهری

محاسبه کرد و تکنیک بهینه را برای انجام این فرآیند انتخاب نمود. برای انجام این مرحله از شاخص‌های دقت کل و ضریب کاپا استفاده شد. این دو شاخص به صورت مختصر توضیح داده خواهند شد.

۴-۲-۱- دقت کلی

دقت کلی، یکی از ساده‌ترین و محبوب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی دقت در تصاویر سنجش از دور است [۲۳]. این شاخص با تقسیم پیکسل‌های طبقه‌بندی شده درست، بر تعداد کل پیکسل‌ها محاسبه می‌شود [۲۴]. این شاخص با رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه ۶: Overall Accuracy} = \frac{\text{number of correct pixels}}{\text{number of all pixels}} \times 100$$

۴-۲-۲- ضریب کاپا

یکی از رایج‌ترین شاخص‌هایی که برای ارزیابی دقت داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شود، ضریب کاپا است. ضریب کاپا به طور قابل توجهی در کاربردهای سنجش از دور، از جمله ارزیابی دقت طبقه‌بندی استفاده شده است [۲۵]. این ضریب با استفاده از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$\text{رابطه ۷: } \kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$$

در رابطه ۷، p_o نسبت پیکسل‌هایی است که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند (یعنی دقت کلی) و p_e نسبت پیکسل‌های پیش‌بینی شده‌ای می‌باشد که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. مقدار کاپا از صفر تا ۱ است که صفر نشان‌دهنده کمترین دقت و ۱ بالاترین دقت می‌باشد [۲۶].

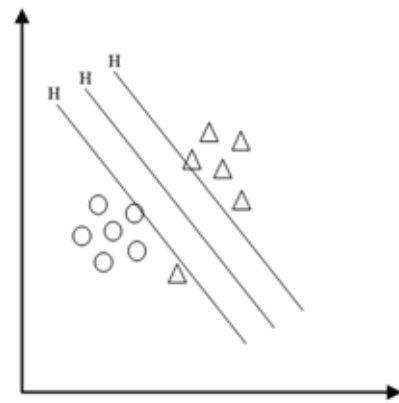
۳- ارائه نتایج

با استفاده از دو روش بردار ماشین پشتیبان و شبکه عصبی، راه‌های شهر تهران استخراج شدند. در شکل ۵ خروجی‌های این دو روش مشخص شده است.



شکل (۵): استخراج راه‌های شهر تهران با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (شکل چپ) و شبکه عصبی (شکل راست)

همانطور که مشاهده می‌شود از نظر دقت کیفی و تفسیر بصری می‌توان گفت که روش شبکه عصبی نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری داشته است. برای ارزیابی دقت کمی این موضوع از دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. نتایج کمی نیز دقت بصری را تایید می‌کنند. در ادامه این به نتایج کمی دو شاخص نیز اشاره می‌شود. در شکل ۶، نمودار مجذور میانگین مربعات مرحله آموزش (میزان خطا) به تعداد تکرار در استخراج شبکه راه‌ها توسط روش شبکه عصبی مشخص شده است.



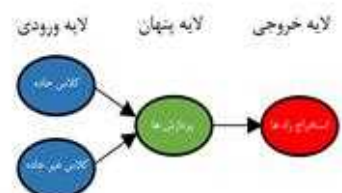
شکل (۳): جدا کردن دو کلاس به روش بردار ماشین پشتیبان

۲-۳-۲- روش شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی نیز سال‌ها است که برای مدل‌سازی سیستم‌های پردازش اطلاعات الهام گرفته شده از ساختارهای عصبی بیولوژیکی، مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته‌اند. آنها نه تنها می‌توانند راه‌حلی با عملکرد بهبود یافته در مقایسه با روش‌های حل مسئله سنتی ارائه دهند، بلکه درک عمیق‌تری از توانایی‌های شناختی انسان نیز به دست می‌آورند [۱۹]. همچنین شبکه‌های عصبی می‌توانند برای حل طیف وسیعی از مسائل استفاده شوند [۲۰].

شبکه‌های عصبی قادر هستند بدون اینکه از قبل برنامه‌ریزی شوند، الگوهای درون داده‌ها را مانند مغز انسان یاد بگیرند. به عنوان ابزاری کاربردی برای استخراج الگوها از داده‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های آماری سنتی مزایای زیادی دارند. یکی از این مزایا توانایی حل مسائل پیچیده غیرخطی می‌باشد. از دیگر مزایای آنها می‌توان به مدیریت بهتر داده‌های نویزدار و داده‌هایی که بخشی از آن از دست رفته، نسبت به روش‌های قدیمی اشاره نمود [۲۱]. در بیشتر کاربردهای مهندسی، شبکه‌های عصبی، بین موقعیت‌های دنیای واقعی و ماشین‌ها ارتباط برقرار می‌کنند [۲۲].

شبکه عصبی استفاده شده برای انجام این مطالعه، یک مدل پیش‌خور لایه‌ای غیرخطی برای یادگیری نظارت شده می‌باشد. روش فعال‌سازی برای این کار، روش Logistic بود و یک لایه پنهان برای انجام این کار انتخاب شد. حد آستانه‌گذاری آموزش شبکه و تعداد تکرارهای آموزشی به ترتیب برابر ۰/۹ و ۱۰۰۰ بودند. شکل کلی شبکه عصبی استفاده شده، در شکل ۴ مشخص شده است.

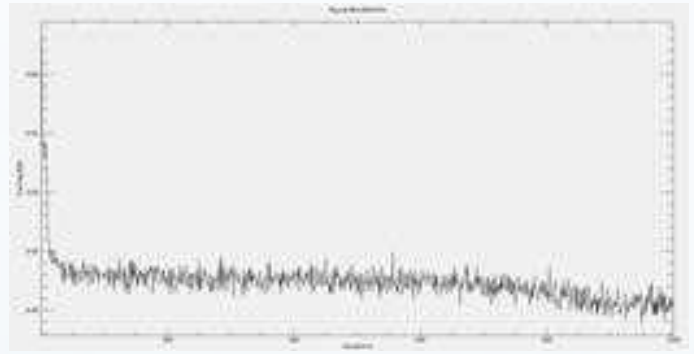


شکل (۴): شکل کلی شبکه عصبی استفاده شده

۴-۲- ارزیابی دقت استخراج راه‌های شهری

پس از استخراج راه‌های شهری با استفاده از دو روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی، مرحله ارزیابی دقت نتایج بدست آمده انجام می‌شود. این مرحله یکی از مهم‌ترین مراحل انجام فرآیند استخراج راه است، زیرا با انجام این مرحله می‌توان دقت روش‌های مورد استفاده را

جهت مشاهده منابع این مقاله،
اسکن کنید:



شکل (۶): نمودار خطا به تعداد تکرار در روش شبکه عصبی

برای ارزیابی دقت کمی روش‌های شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد و نتایج دقت کمی این دو روش در جدول ۱ نشان داده شده اند.

روش استخراج راه	شاخص دقت	
	ضریب کاپا	دقت کلی
ماشین بردار پشتیبان	۰/۷۴	۸۸/۷۷
شبکه عصبی	۰/۸۰	۹۱/۴۴

جدول (۱): دقت کلی و ضریب کاپا برای دو روش شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان در استخراج راه‌های شهری

در روش ماشین‌بردار پشتیبان، دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر ۸۸/۷۷ درصد و ۰/۷۴ می باشد. این شاخص‌ها برای روش شبکه عصبی برابر ۹۱/۴۴ درصد و ۰/۸۰ باشد. این نتایج نشان می‌دهند که روش شبکه عصبی برای استخراج راه‌ها از روش ماشین‌بردار پشتیبان بهتر عمل می‌کند. بنابراین، روش بهینه برای استخراج راه‌های شهر تهران، روش شبکه عصبی می باشد.

۴- نتیجه‌گیری

استخراج اطلاعات شبکه راه‌های شهری با استفاده از تصاویر سنجش از دور امکان‌پذیر است. فراوانی تصاویر سنجش از دور پتانسیل بالایی برای کسب اطلاعات مکانی دقیق، از جمله تشخیص راه‌های شهری فراهم نموده است. یکی از منابع رایگان و در دسترس داده‌های سنجش از دور، تصاویر با قدرت تفکیک متوسط است که می‌تواند در کاربردهای مختلف از جمله تشخیص شبکه راه‌های شهری استفاده شود. استخراج اطلاعات راه‌ها با استفاده از این تصاویر می‌تواند با دو روش موثر و کاربردی ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی انجام شود. در این مطالعه از تصویر ماهواره‌ای Landsat 9 شهر تهران با استفاده از این دو روش، شبکه راه‌ها استخراج شدند و برای ارزیابی دقت این دو روش از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. دقت کلی و ضریب کاپا در روش ماشین‌بردار پشتیبان برابر ۸۸/۷۷ درصد و ۰/۷۴ بودند. همچنین این شاخص‌ها برای روش شبکه عصبی برابر ۹۱/۴۴ درصد و ۰/۸۰ بود. این نتایج نشان می‌دهند روش بهینه برای استخراج راه‌های شهر تهران روش شبکه عصبی می باشد.

U-Net ابزاری قدرتمند در پردازش تصاویر سنجش از دور



سایان شجاع

کارشناسی مهندسی نقشه برداری دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

sayanshojae2002@gmail.com



محمد مهدی اسفندیاری

کارشناسی مهندسی نقشه برداری دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۰

m.mahdi.esfandiary@gmail.com

چکیده

چکیده

U-Net، یک ابزار قدرتمند در پردازش تصاویر سنجش از دور است که کیفیت تصاویر را افزایش می‌دهد و برای زمینه‌های مختلف مانند کشاورزی، نظارت بر محیط‌زیست و برنامه‌ریزی شهری مفید است. این ابزار با توانایی تفسیر اطلاعات مکانی و طیفی پیچیده، اشیاء و مناطق مختلف را در تصاویر جدا می‌کند. در این مقاله، قابلیت‌ها، مزایا و چالش‌های U-Net بررسی شده و نمونه‌هایی از استفاده موفقیت‌آمیز آن، برای ارتقاء تصاویر سنجش از دور نشان داده شده است. همچنین، کاربردهای مختلفی مانند طبقه‌بندی و تشخیص ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، این مقاله به شما درک بهتری از چگونگی استفاده از U-Net، برای بهبود کیفیت و دقت تصاویر سنجش از دور می‌دهد.

کلمات کلیدی: شبکه U-Net، پردازش تصویر، سنجش از دور، شبکه‌های عصبی، یادگیری عمیق

۱- مقدمه

یکی از چالش‌های کلیدی در سنجش از دور، استخراج اطلاعات معنی‌دار از مقدار زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده است. اینجاست که معماری U-Net، به عنوان ابزار قدرتمندی برای تحلیل و ارتقاء تصاویر سنجش از دور به کار می‌آید.

U-Net، یک مدل یادگیری عمیق است، که از قدرت شبکه عصبی پیچشی^۱ برای شناسایی دقیق و طبقه‌بندی اشیاء یا ویژگی‌های مختلف در یک تصویر استفاده می‌نماید.

استفاده از U-Net در پردازش تصویر سنجش از دور، به ما این امکان را می‌دهد که وظایفی مانند طبقه‌بندی پوشش زمین، تشخیص اشیاء، تشخیص تغییر و ادغام تصاویر را با دقت قابل توجهی انجام دهیم [۱].

۲- درک چالش‌ها در پردازش تصاویر سنجش از دور

یکی از چالش‌های اصلی، وجود اختلال^۲ و درست‌نمایی^۳ است که توسط محدودیت‌های سنجنده و شرایط جوی ایجاد می‌شوند. این نقص‌ها می‌توانند مانع تحلیل دقیق گردند.

چالش دیگر، ماهیت بزرگ‌مقیاس تصاویر سنجش از دور است. این تصاویر می‌توانند مناطق گسترده‌ای را پوشش دهند؛ مانند شهرهای کامل یا حتی کشورها، که منجر به مجموعه داده‌های عظیمی می‌شود که نیاز به منابع محاسباتی قابل توجه دارد.

علاوه بر این، تصاویر سنجش از دور، اغلب خصوصیات مکانی و طیفی پیچیده‌ای را نشان می‌دهند. مدیریت و پردازش حجم بزرگی از این داده‌ها می‌تواند وقت‌گیر باشد و موضوع استخراج ویژگی‌ها و الگوهای معنی‌دار را دشوار می‌کند.

برای غلبه بر این چالش‌ها، نیاز به تکنیک‌های پیشرفته پردازش تصویر می‌باشد. یکی از این تکنیک‌ها به‌کاربردن U-Net است، که به طور موثر می‌تواند با مسائل اختلال، درست‌نما و پیچیدگی مکانی در تصاویر سنجش از دور مقابله کند [۲].

۳- معرفی U-Net یک تکنولوژی پیشرفته برای تقسیم بندی تصویر

در زمینه پردازش تصویر، یکی از قدرتمندترین و پرکاربردترین معماری‌های یادگیری عمیق، U-Net است. این شبکه توسط Ronneberger، Olaf، Philipp Fischer و Thomas Brox توسعه یافته است [۳].

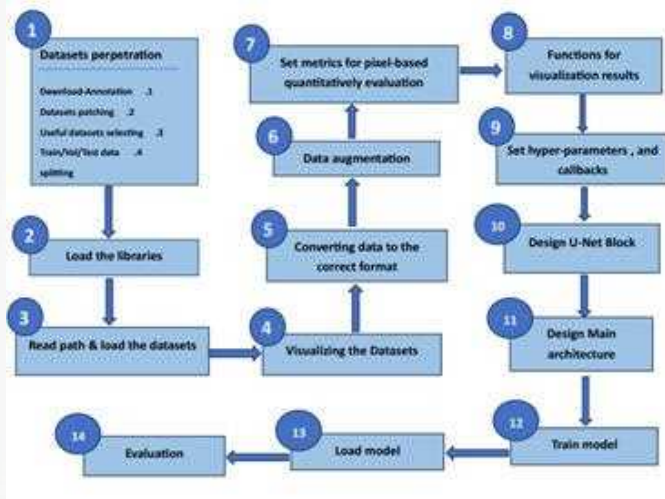
تقسیم‌بندی تصویر، نقش حیاتی در برنامه‌های مختلفی مانند تصویربرداری پزشکی، رانندگی خودکار و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ایفا می‌کند که شامل تقسیم یک تصویر به مناطق یا بخش‌های متمایز است و به ما این امکان را می‌دهد که اطلاعات ارزشمندی از داده‌ها استخراج نماییم [۴].

U-Net، در میان سایر معماری‌های یادگیری عمیق، به دلیل طراحی منحصر به فرد و عملکرد استثنایی خود، برجسته است و نام آن از ساختار U شکل آن گرفته شده است (شکل ۱).

1 Convolutional Neural Network (CNN)

2 Noise

3 Artifact



شکل (۲): مراحل پیاده سازی شبکه U-Net در تشخیص ساختمان

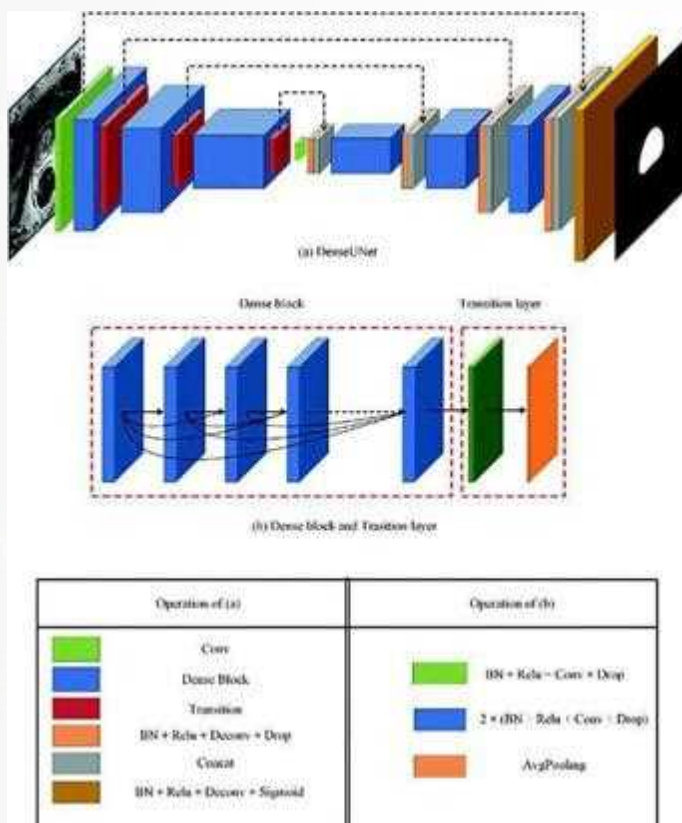
۷- شرح مختصر تعدادی از مراحل پیاده سازی

مرحله ۱: آماده سازی مجموعه داده ها (جمع آوری تصاویر مناسب، پیش پردازش آنها و تقسیم بندی مجموعه داده به قسمت های کوچکتر)، انتخاب داده های مفید (انتخاب تصاویر مناسب برای آموزش مدل) و تقسیم بندی مجموعه داده (تقسیم مجموعه داده به مجموعه های آموزش، اعتبارسنجی و آزمون)

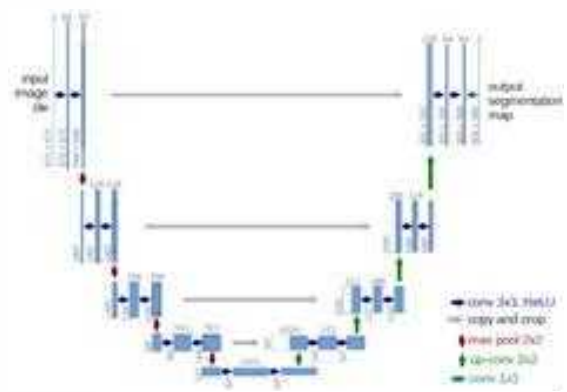
مرحله ۶: افزایش داده (افزایش مجموعه داده با اعمال تبدیل های مختلف بر روی تصاویر)

مرحله ۱۱: طراحی بخش های پیشینی

مرحله ۱۲: معماری اصلی شبکه (در این مرحله، معماری U-Net برای ارتقای دقیق و کارآمد تصویر، طراحی می شود که از ساختار انقباض-انبساط با اتصالات پرشی تشکیل شده است. تعداد لایه ها و فیلترها بر اساس پیچیدگی مسئله تنظیم می شوند (شکل ۳)).



شکل (۳): طراحی و معماری اصلی شبکه U-Net [۶].



شکل (۱): ساختار شبکه U-Net [۳].

۴- بررسی مبانی U-Net و چگونگی کار آن

معماری U-Net، که بر اساس یک ساختار انقباض-انبساط^۴ کار می کند، توانایی ثبت اطلاعات مکانی دقیق و ویژگی های انتزاعی تصویر ورودی را دارد. سپس، با استفاده از این اطلاعات، نقشه ای را می سازد که هر سلول تصویر را به یک منطقه یا بخش اختصاص می دهد. این معماری، با استفاده از اتصالات پرشی^۵، که لایه های متناظر انقباض و انبساط را به هم متصل می کنند، اطلاعات مکانی را حفظ می نماید و به شبکه، امکان بازیابی جزئیات ریز را می دهد و با ترکیب ویژگی های چند سطحی می تواند نتایج قابل توجهی در تقسیم بندی تصویر کسب کند. U-Net با استفاده از مسیر قراردادی در مرحله انقباض و مسیر گسترش در مرحله انبساط، توانایی تقسیم بندی دقیق و قوی تصویر را دارد [۳].

۵- مزایای استفاده از U-Net برای ارتقای تصاویر سنجش از دور

یکی از مزایای کلیدی این شبکه، توانایی کار با داده های آموزشی محدود است. همچنین با استفاده از تکنیک هایی مانند افزایش داده و یادگیری انتقالی، می تواند از یک مجموعه کوچک از تصاویر برچسب گذاری شده یاد بگیرد و به داده های-دیده نشده تعمیم دهد. این روش همچنین انعطاف پذیری در تطبیق با برنامه های مختلف سنجش از دور را ارائه می دهد و با تغییرات جزئی در معماری شبکه یا روند آموزش، می تواند برای وظایف خاصی مانند طبقه بندی پوشش زمین، تشخیص تغییر و تحلیل تصاویر سنجش از دور، سفارشی شود. همچنین با توانایی های پردازش موازی خود، زمان و منابع محاسباتی مورد نیاز برای پردازش تصویر را کاهش می دهد. از مزایای دیگر آن، می توان به توانایی تقسیم بندی معنایی دقیق، پردازش کارآمد مجموعه داده های بزرگ مقیاس، رسیدگی به داده های چندطیفی و فراطیفی اشاره کرد [۳].

۶- راهنمای گام به گام برای پیاده سازی U-Net

خلاصه ای از مراحل پیاده سازی U-Net در شکل ۲ نمایش داده شده است که بسته به مسئله، این مراحل می توانند جابه جا شوند یا حتی تغییر کنند [۵].

۴ Encoder-Decoder

۵ Skip Connection

بینش‌های ارزشمند از داده‌های خود فراهم کنند. در نهایت با پیشرفت فناوری، می‌توان انتظار داشت، نوآوری‌های بیشتری در استفاده از U-Net و تکنیک‌های مشابه یادگیری عمیق، برای افزایش دقت و کارایی کاربردهای سنجش از دور ایجاد شود. همچنین در آینده، نقش مهمی در پیشرفت علوم سنجش از دور ایفا کند.

جهت مشاهده منابع این مقاله، اسکن کنید:



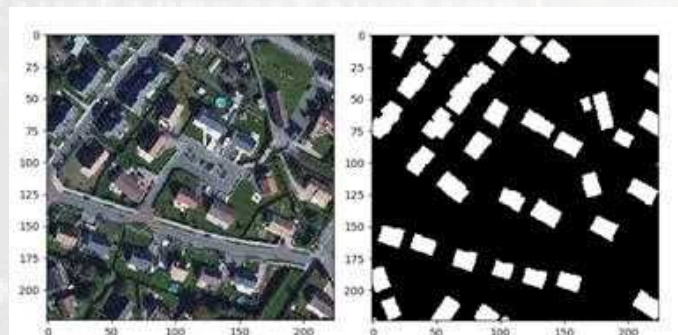
مرحله ۱۳: آموزش شبکه (آموزش مدل می‌تواند با استفاده از توابع خطا مناسب، مانند خطای میانگین مربعات^۶ یا مقایسه تفاوت بین دو تصویر^۷ انجام شود. و همچنین مدل با استفاده از الگوریتم‌های محبوبی، مانند SGD یا Adam بهینه‌سازی می‌شود).

مرحله ۱۵: ارزیابی (با معیارهای مربوطه مانند، IOU، f-score، precision، Recall، kappa coefficient، overall accuracy ارزیابی می‌شوند).

در نهایت، هنگامی که از عملکرد مدل U-Net راضی هستید، وقت آن رسیده است که آن را برای برنامه‌های کاربردی واقعی استقرار دهید. تصاویر جدید دیده‌نشده سنجش از دور را بگیرید و آنها را از طریق مدل آموزش دیده عبور دهید تا کیفیت آنها را ارتقا دهید و اطلاعات ارزشمند را استخراج کنید. آموزش شبکه (آموزش مدل می‌تواند با استفاده از توابع خطا مناسب، مانند خطای میانگین مربعات یا مقایسه تفاوت بین دو تصویر انجام شود. و همچنین مدل با استفاده از الگوریتم‌های محبوبی، مانند SGD یا Adam بهینه‌سازی می‌شود).

مرحله ۱۵: ارزیابی (با معیارهای مربوطه مانند، IOU، f-score، precision، Recall، kappa coefficient، overall accuracy ارزیابی می‌شوند).

در نهایت، هنگامی که از عملکرد مدل U-Net راضی هستید، وقت آن رسیده است که آن را برای برنامه‌های کاربردی واقعی استقرار دهید. تصاویر جدید دیده‌نشده سنجش از دور را بگیرید و آنها را از طریق مدل آموزش دیده عبور دهید تا کیفیت آنها را ارتقا دهید و اطلاعات ارزشمند را استخراج نمایید.



شکل (۴): خروجی و دقت نهایی شبکه U-Net [۷].

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مابه بررسی U-Net، یک ابزار قدرتمند در پردازش تصاویر سنجش از دور، پرداختیم. این شبکه عصبی، با بهره‌گیری از ساختار انقباض-انبساط، قابلیت پردازش تصویر را دارد که می‌تواند به بهبود کیفیت تصاویر سنجش از دور کمک کند. این ابزار قدرتمند در زمینه‌های مختلف، از جمله تشخیص اشیاء، تقسیم بندی و طبقه‌بندی تصویر، موثر است. این معماری می‌تواند ویژگی‌های پیچیده و درهم‌تنیده در تصاویر سنجش از دور را دستکاری کند و با استفاده از معماری یادگیری عمیق خود، جزئیات ریز را ضبط کند. این ابزار با انعطاف‌پذیری بالا، قابلیت تطبیق با انواع مختلف تصاویر سنجش از دور را دارد. با پذیرش U-Net، پژوهشگران می‌توانند امکانات جدیدی را برای تجزیه و تحلیل و استخراج

6 Structural Similarity Index Measure (MSE)

7 Mean Squared Error (SSIM)

از انجمن علمی چه خبر؟

امیرمهدی ایزدپناهی

کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه شهید بهشتی / ورودی ۱۴۰۱

panahi.amir.83.mahdi@gmail.com



بازدید انجمن علمی عمران شهید بهشتی از تصفیه خانه
های سوم و چهارم تهران به همراه جناب آقای دکتر بیژن
یگانه در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲



فراخوان عکاسی و فیلمبرداری ششمین دوره مسابقات
ملی دیوار خاک مسلح و نمایشگاه مهندسی خاک‌پوی

تماشای مسابقه ملی دیوار خاک مسلح و بازدید از
نمایشگاه مهندسی خاک‌پوی ایران در ۴ خرداد ۱۴۰۲



ششمین دوره مسابقات ملی دیوار خاک مسلح (Geowall)
در ۴ خرداد ۱۴۰۲ به میزبانی دانشگاه شهید بهشتی در پردیس
شهید عباسپور



برگزاری کارگاه جمع بندی درس مبانی نقشه برداری توسط
سرکار خانم سایان شجاع در تاریخ ۲۴ خرداد ۱۴۰۲

بازدید از شرکت میراب در تاریخ ۱۸ آذر ۱۴۰۲ به همراه جناب
آقای دکتر جلیلی و جناب آقای بختیاری



انتشار پنجمین شماره از ویژه نامه علمی-آموزشی
ساروجک در تاریخ ۲۰ آذر ۱۴۰۲

برگزاری کارگاه آموزشی ویراستاری در نشریات دانشجویی در ۲۳
آذر ۱۴۰۲ توسط جناب آقای مهندس امیرعلی شیخ الاسلامزاده



برگزاری مسابقه دانشجویی «عکاسی ترافیک و ساختمان»
مهلت ارسال آثار: ۲۴ آذر ماه ۱۴۰۲



موفقیت «نشریه ساروج» در پانزدهمین جشنواره
بین‌المللی حرکت



انتشار چهل و یکمین شماره از دو فصلنامه علمی-
تخصصی ساروج در تاریخ ۲۸ آذر ماه



موفقیت طرح «سامانه و اپلیکیشن میدانی ایمنی
ترافیک» در نخستین رویداد تخصصی- فناوریانه راه
هوشمند توسط جناب آقای دکتر سینا صاحبی

بازدید از تصفیه خانه های سوم و چهارم تهران به
همراه جناب آقای دکتر عباسی و جناب آقای دکتر
شویدی در تاریخ ۲ دی ۱۴۰۲



بازدید از سازمان نقشه برداری کشور به همراه جناب آقای دکتر هانی محبوبی در تاریخ ۶ دی ۱۴۰۲



برگزاری سمینار تخصصی مهندسی ژئوتکنیک توسط جناب آقای دکتر تورچی در ۱۳ دی

برگزاری کارگاه جمع بندی درس ژئودزی فیزیکی توسط سرکار خانم نیلوفر دربندسری در تاریخ ۱۷ الی ۱۹ دی ۱۴۰۲



برگزاری سیویل تاکس با حمایت ۲۲ انجمن علمی عمران دانشگاه های معتبر در تاریخ ۲۸ دی ماه ۱۴۰۲ با حضور جناب آقای دکتر حمید صفاری

برگزاری کارگاه جمع بندی درس طراحی سازه بتن آرمه توسط جناب آقای علیرضا امیری توسلی در تاریخ ۲۹ دی ۱۴۰۲



برگزاری کارگاه جمع‌بندی درس دینامیک توسط جناب
آقای علیرضا امیری توستلی در تاریخ ۲۹ دی ۱۴۰۲



برگزاری کارگاه جمع‌بندی درس فیزیک توسط جناب آقای
علیرضا امیری توستلی در تاریخ ۲۹ دی ۱۴۰۲



برگزاری سیویل تاکس با حمایت ۲۳ انجمن علمی
عمران دانشگاه‌های معتبر در تاریخ ۹ بهمن ماه ۱۴۰۲ با
حضور جناب آقای دکتر حمیدیا و جناب آقای مهندس
کاوه حسنی



برگزاری وبینار نبرد من (راهنمای انتخاب واحد) توسط
جناب آقای تارخ افتخار در ۱۰ بهمن ۱۴۰۲



فراخوان دریافت آثار علمی و مقالات در نشریه علمی-
تخصصی ساروج همراه با ارائه گواهی معتبر همکاری با
نشریه مهلت ارسال آثار: ۲۰ بهمن ۱۴۰۲



برگزاری دوره آموزشی نرم افزار AUTOCAD در تاریخ ۲۳ بهمن ۱۴۰۲



دومین همایش ملی الزامات ترافیکی ساختمان در پایان این همایش از برگزیدگان جشنواره عکاسی الزامات ترافیکی ساختمان نیز تجلیل شد.

همایش الزامات ترافیکی ساختمان در تاریخ ۲ اسفند ۱۴۰۲ در سالن همایش‌های پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور



وبینار تحقیقات میدانی همراه با آنالیز سه بعدی داده‌ها روی پل‌های خرابی فلزی در صنعت راه آهن کشورهای آمریکا و کانادا با حضور سرکار خانم دکتر فائزه خادمی

کارگاه آموزش بارگذاری سازه توسط جناب آقای مهندس کاوه حسنی



فراخوان دریافت آثار علمی و مقالات

600

دوفصلنامه علمی تخصصی ساروج دانشگاه شهید بهشتی

با سپاس از همکاری پرشور و فعال دانشجویان عزیز، در شماره اخیر از نشریه علمی - تخصصی «ساروج»، فصلنامه انجمن علمی عمران دانشگاه شهید بهشتی و «برترین نشریه فنی و مهندسی کشور در جشنواره تیترا ۱۳» و «برترین نشریه فنی و مهندسی دانشگاه شهید بهشتی»، بدینوسیله از دانشجویان، علاقه‌مندان و فارغ‌التحصیلان مهندسی عمران و نقشه برداری در مقطع کارشناسی، تمامی گرایش‌ها در مقاطع ارشد و دکتری و نیز رشته‌های مرتبط، دعوت می‌شود تا برای چاپ و انتشار ۲ شماره بعدی این نشریه، مقالات و تجربیات کاربردی خود را، در قالب شرایط بیان شده، تدوین و مطابق زمان‌بندی اعلام شده، برای ما ارسال نمایند.



مطالب ارسالی دانشجویان از نظر تأیید یا عدم تأیید و همچنین کنترل کیفی، زیر نظر اساتید و اعضای هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست و دانشجویان دکتری خواهد بود.

700

مهندسی سازه - مهندسی زلزله - مدیریت ساخت و حوزه مسکن - مهندسی ژئوتکنیک - راهسازی، ترافیک، ترابری - برنامه‌ریزی حمل‌ونقل - مدیریت منابع آب - محیط‌زیست - سازه‌های هیدرولیکی - مهندسی آب و فاضلاب - مهندسی نقشه‌برداری و گرایش‌های آن (هیدروگرافی، سیستم‌های اداره زمین، فتوگرامتری، سنجش از دور، ژئودزی و سیستم‌های اطلاعات مکانی) و همچنین، مباحث بین رشته‌ای (معماری و...) و همچنین مطالب متنوع علمی در حوزه تکنولوژی، مباحث مشترک با علوم نوین نظیر نانو و... پاسخ به دغدغه‌های عمومی دانشجویان و پیشرفت‌های مهندسی عمران و نقشه‌برداری در دهه های آینده

آثار ارسالی می‌توانند در قالب:



- یادداشت علمی یا گزارش با موضوعات علمی، فنی و پژوهشی (حداکثر تا ۶۰۰ کلمه)
- مقاله
- و مقاله ترجمه شده از منابع معتبر

باشند؛ که ضوابط مربوط به هر یک، در فایل کامل فراخوان، مندرج در کانال تلگرام و وبسایت انجمن علمی، ارائه گردیده است. از شما دعوت می‌کنیم تا به فراخوان کامل و ضوابط آن مراجعه نموده، و با رعایت مفاد آن، آثار ارزشمند خود را برای ما ارسال کنید. (به مقالات پذیرفته شده در نشریه، گواهی معتبر انتشار مقالات از سوی دانشگاه شهید بهشتی اعطا خواهد شد.)

اطلاعات تکمیلی (شرایط مقالات، قالب ارسال مقالات، اعضای هیئت تحریریه، شماره‌های تماس و...) نیز در کانال تلگرامی انجمن علمی عمران دانشگاه شهید بهشتی، به نشانی @CivilSBU و همچنین وبسایت به نشانی www.civilsbu.ir قابل مشاهده می‌باشد.

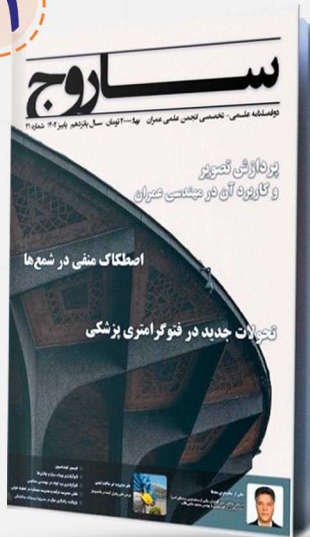
پست الکترونیکی انجمن علمی عمران و ارسال مقالات به نشانی: SBU.SSCE@gmail.com

ارتباط با نشریه ساروج و ارسال مقالات در تلگرام از طریق: @Civil_Mag



ساروج، پانزده سال همراهی | ایستگاه چهل و دوم

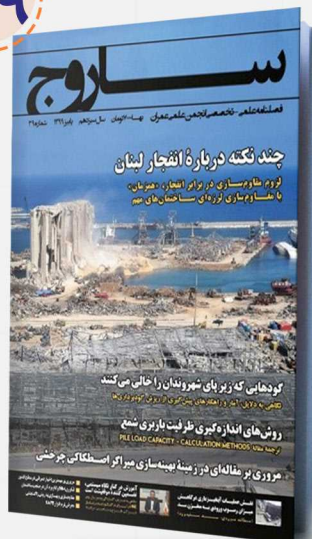
۴۱



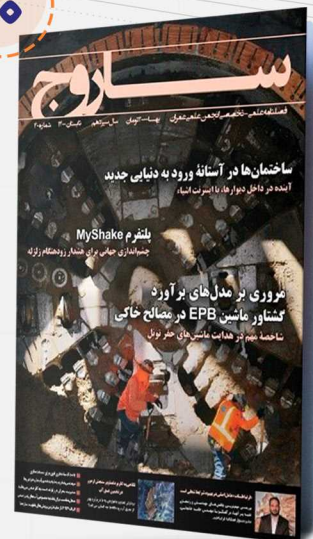
۴۲



۳۹



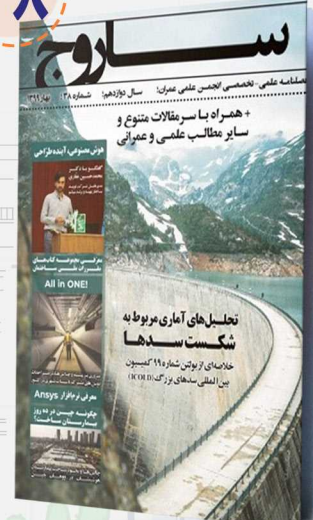
۴۰



۳۷



۳۸



سازج

دوفصلنامه علمی - تخصصی انجمن علمی مهندسی عمران بهاء ۴۰۰۰ تومان سال پانزدهم بهار ۱۴۰۳ شماره ۴۲



از تمامی دانشجویان صمیمانه دعوت می‌گردد تا با ارائه مطالب علمی در حوزه عمران و نقشه‌برداری و همچنین همکاری در بخش‌های فنی و گرافیکی تولید و تدوین نشریه، ما را در ارتقاء هرچه بهتر محتوا و ظاهر آن یاری رسانند. از اساتید محترم نیز تقاضا می‌شود تا با حضور ارزشمند خود، مشارکت و بازبینی در مطالب و محتوای نشریه، بر غنای آن بیافزایند و دانشجویان را از تجارب و دانش خود بهره‌مند ساخته و پرتو روشنی در مسیر پیشرفت و تعالی این دانشجویان باشند.

 @CivilSBU

 @SBU.SSCE@gmail.com

 @Civil_SBU



جهت کسب اطلاعات بیشتر راجع به طرح پشت جلد این شماره از نشریه، اسکن کنید: