



ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی منطقه لارستان با استفاده از شاخص های خشکسالی

سیامک پیش بین*

استادیار گروه کشاورزی و عضو هیات علمی واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران

علیرضا افسرده

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت کشاورزی واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: هدف از تحقیق حاضر، بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی با مقایسه شاخص های خشکسالی و ارائه راه کار به منظور به حداقل رساندن آسیب های ناشی از آن در شهرستان لارستان در استان فارس می باشد.

مواد و روش ها: روش تحقیق به صورت توصیفی - تحلیلی با اهداف کاربردی همراه با عملیات میدانی می باشد. جامعه این پژوهش منطقه جغرافیایی شهرستان لارستان می باشد. برای این منظور میزان بارندگی و میانگین دما برای یک دوره ۱۴ ساله گردآوری گردید. در این تحقیق با استفاده از شاخص های خشکسالی به ارتباط بین آنها و تشخیص میزان خشکسالی در منطقه پرداخته شده است. شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص عدد Z (ZSI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده اند.

نتایج و بحث: نتایج تحقیق، خشکسالی خفیف تا شدید را در طی این دوره تایید نمود. مقدار شاخص SPI برابر $1/32$ ، RDI برابر $1/62$ ، CZI برابر $1/21$ و ZSI برابر $1/1$ - بدست آمد. در بازه فوق ZSI از نظر انعکاس خشکسالی، کمترین حساسیت و مقدار RDI بیشترین حساسیت را نشان داد. روند تغییرات SPI و RDI تشابه بسیار زیادی داشت. فراوانی خشکسالی بر حسب شاخص های مختلف، بین $44/8$ تا 69 درصد از مجموع سال ها را شامل شد. میزان شاخص های CZI و SPI در هر دوره ۳، ۶ و ۱۱ ساله به هم نزدیک بوده و شاخص ZSI در همان دوره از هر دو بالاتر بود. از نظر شدت، خشکسالی های خفیف سهم بیشتری و خشکسالی های متوسط و شدید سهم کمتری داشتند. مقارن با سال های با وقوع حداقل بارش، مقدار عددی RDI کمتر از SPI شده و به عبارت دیگر، مقدار منفی و شدت خشکسالی بیشتری را نشان می دهد. با افزایش مقدار بارش در سال های مرطوب خفیف به بالا مقدار عددی RDI بیشتر از SPI گردید که بیانگر حساسیت بیشتر این شاخص نسبت به شرایط محیطی به خصوص دما است.

نتیجه گیری: باتوجه به ارزیابی شاخص های فوق، می توان نتیجه گرفت که وقوع خشکسالی در منطقه فوق رخ داده و امکان ادامه و افزایش شدت آن با توجه به کاهش بارندگی در انتهای سال های مورد مطالعه امکان پذیر است. بنابراین، توجه به اعمال مدیریت صحیح مصرف آب در کشاورزی و کاهش پیامدهای خشکسالی در توسعه این منطقه، لازم و نیازمند برنامه ریزی و اجرای اقدام های پیشگیرانه و تعیین الگوی مصرف صحیح آب در مقابله با پدیده خشکسالی و توسعه کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست است. این مهم مستلزم به کارگیری دانش فنی کافی در پیش بینی خشکسالی و توان مقابله با آن در سال های آتی با توجه به وقوع روند کاهش نزولات جوی و افزایش دما در منطقه می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

واژه های کلیدی: خشکسالی،

شاخص های خشکسالی، لارستان، هواشناسی

نویسنده مسئول: سیامک پیش بین

نشانی: گروه کشاورزی واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم | تلفن: ۰۹۱۷۷۰۹۵۶۸۹ | پست الکترونیکی: Pishbin_info@yahoo.com

استاد: پیش بین سیامک، افسرده علیرضا. ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی منطقه لارستان با استفاده از شاخص های خشکسالی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست.

۱۴۰۳؛ (۶): ۱۷-۱.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

و گسترده می‌شود. این نوع خشکسالی تأثیرات زیادی بر روی ابعاد مختلف اقتصادی و به ویژه انواع خاصی از محصولات و کالاهای اقتصادی می‌گذارد. تعریف خشکسالی اقتصادی - اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاهای اقتصادی با اجزاء خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است (شعبانی و همکاران ۱۴۰۲). زمانی که خشکسالی آغاز می‌شود بخش کشاورزی به دلیل وابستگی بیش از حد به ذخیره رطوبت خاک معمولاً نخستین بخشی است که تحت تأثیر شدید محیطی زیستی قرار می‌گیرد. در طی دوره‌های طولانی مدت خشکسالی چنانچه کمبود بارش ادامه یابد رطوبت خاک به سرعت تخلیه می‌شود. در این صورت اتکاء مردم به سایر منابع آبی بایستی تأثیرات این کمبود را مرتفع سازد (علی‌اکبری و همکاران ۱۴۰۲). یکی از مهم‌ترین کاربرد شاخص خشکسالی تهیه گزارش دوره‌ای شدت و وسعت خشکسالی است. شاخص خشکسالی وسیله‌ای است که با خلاصه نمودن اطلاعات خشکسالی به صورت دوره‌ای این اطلاعات و شرایط رطوبتی در منطقه را گزارش می‌دهد (واسیم و همکاران ۲۰۲۲). به گفته کارشناسان سازمان ملل اگر خشکسالی در ایران رخ دهد به فاجعه انسانی تبدیل می‌شود و هم اکنون زنگ‌ها در بیشتر استان‌های ایران برای خشکسالی به صدا درآمده است. پروفیسور کردوانی که در زمینه محیط زیست، آب و کم آبی در کشور مطالعات و تألیفات گسترده ای دارد در زمینه بحران کم آبی می‌گوید: مشکل کم آبی در کشور یک بحران ملی است و افزایش جمعیت و مهاجرت روستاییان به شهرها بر دامنه این بحران می‌افزاید. این روند مهاجرت باعث کاهش تولیدات کشاورزی و بدتر از آن افزایش جمعیت شهری و به همان نسبت بالا رفتن مصرف آب شهری می‌شود (شکور و همکاران ۱۴۰۲). کشور ایران به خاطر قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی که در ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی واقع شده است، از شرایط آب و هوایی خشکی برخوردار است که جزو مناطق کم باران جهان به شمار می‌آید. علاوه بر این کشور ما، کم آب و بارش‌ها نیز در آن نامنظم است. میانگین بارش در ایران ۲۴۸ میلی‌متر در سال است. این میزان یک سوم متوسط بارش در جهان معادل ۸۳۱ میلی‌متر است. در مجموع میزان جریان‌های سطحی کشور در مقایسه با متوسط دراز مدت ۴۶ درصد کاهش داشته که عدد بسیار بالایی بوده و این نشان دهنده خشکسالی هیدرولوژی در ایران است (عبدی و همکاران ۱۳۹۷). تاکنون تعاریف بسیاری از خشکسالی ارائه شده است. به طور کلی خشکسالی شامل یک دورهٔ پیوسته و پایدار (از چند ماه تا چندین

نگاهی به پیشینه زندگی انسان در روی کره زمین حاکی از این است که انسان همواره در معرض انواع بلایای طبیعی بوده است. بخشی از این بلایا مربوط به عوامل و نوسانات اقلیمی می‌باشد. مواردی مانند خشکسالی‌ها که در قدیم رخ داده، اثرات مهلکی بر جای گذاشته است. آب، که رکن اساسی توسعه پایدار است، مایه حیات بشری بوده و همانند بسیاری از نعمت‌های الهی ماهیت دوگانه خیر و شر در آن نهفته است (اشرف و همکاران ۲۰۲۰).

آب از طرفی عامل ایجاد سیل و در پی آن خرابی و خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود و از طرف دیگر کمبود آن یعنی خشکسالی باعث نابودی و تغییر اساسی در اکوسیستم‌ها و محیط زیست می‌شود. توجه به مسئله پیشگیری و کاهش پیامدهای خشکسالی در توسعه مناطق، نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیشگیرانه است که خود مستلزم بکارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشکسالی است. خشکسالی به عنوان یکی از پدیده‌های محیط زیستی شناخته شده و در واقع بخش جدایی‌ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود و تأثیرات عمده‌ای بر آن منطقه بگذارد. این پدیده به لحاظ گستردگی، شدت، مدت و میزان آسیب‌رسانی به بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی، یکی از بزرگترین بلایای طبیعی محسوب می‌گردد که سالانه در سراسر دنیا میلیاردها دلار خسارت را به بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی جوامع، به ویژه بخش کشاورزی وارد می‌کند (نامن و همکاران ۲۰۱۸). خشکسالی هواشناسی که در بسیاری از منابع با عنوان خشکسالی اقلیم‌شناسی از آن نام برده شده است به دلیل کمبود و یا کاهش مقدار بارندگی در طی دوره ای از زمان به وجود می‌آید. به عبارتی خشکسالی هواشناسی زمانی حادث می‌شود که میزان بارندگی سالانه کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. این کمبود بارندگی ممکن است نسبت به میانگین نرمال یک منطقه اقلیمی و یا طول دوره خشک ارزیابی گردد. تعاریف خشکسالی هواشناسی باید به صورت موردی برای هر منطقه خاص در نظر گرفته شود چرا که شرایط جوی که موجب کمبود بارش می‌شود، از منطقه‌ای به منطقه دیگر شدیداً تغییر می‌کند (جوهانا و میونا ۲۰۱۷).

خشکسالی اقتصادی - اجتماعی معمولاً پس از یک دوره بسیار طولانی مدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حادث می‌گردد و موجب قحطی، مرگ و میر، مهاجرت‌های دسته‌جمعی

خشکسالی‌ها اغلب اوقات به صورت توصیفی و کیفی ارائه می‌شوند. خشکسالی‌ها با دیگر پدیده‌های هواشناسی از نظر ویژگی‌های زمانی تفاوت دارند. تعیین زمان آغاز و پایان خشکسالی‌ها بسیار مشکل است. پیچیدگی مسائل مرتبط با خشکسالی باعث شده است که نتوان این پدیده را به درستی تحلیل و بررسی نمود و نتایج حاصله نیز از دقت خوبی برخوردار نباشند (خلکی و همکاران ۱۳۹۸). تحقیقی با عنوان ارزیابی خشکسالی و سنجش آسیب پذیری اقلیمی استان گیلان انجام شده است. در این تحقیق با مدل SUM، بیشترین آسیب‌پذیری در نواحی وسیعی از شرق استان، در شهرستان رودسر با مساحت ۲۳/۷ درصد استان بود. در مدل همپوشانی GAMA، قسمت‌های وسیعی از غرب استان در شهرستان تالش و شهرستان رشت با مساحت ۷۲/۳۱ درصد در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد مشاهده گردید. در بررسی مولفه‌های CVI، شاخص CVI کل استان ۵/۴ درصد به دست آمد. شاخص CVI در مولفه منابع، ۵۶/۱۲ درصد بالاترین رتبه و در مولفه R، ۹۴/۳۶ درصد کمترین رتبه را به دست آورد (راستگو و همکاران ۱۴۰۱). تحقیقی با عنوان بررسی روش‌های مقابله با خشکسالی توسط کشاورزان در شهرستان شیروان استان خراسان شمالی انجام شد. نتایج نشان داد اولویت اول راهکارهای مقابله با خشکسالی مربوط به راهکارهای اصلاح زمین و اولویت آخر، مربوط به راهکارهای ذخیره‌ای است. همچنین، استفاده از لوله برای انتقال آب کشاورزی و همکاری در ایجاد و توسعه شبکه‌های آبیاری و آبرسانی محلی و ذخیره باران با ایجاد سطوح آبگیر باران، جزو سه توصیه مهم برای مقابله با خشکسالی بود (عابدی و همکاران ۱۳۹۸). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI^۱ و SPEI^۲ در شرایط تغییر اقلیم در ایستگاه کرمانشاه طی دوره سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۹ انجام شد. بازه زمانی مورد بررسی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه بودند. جهت برآورد مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل (ETp) از معادله هارگریوز-سامانی استفاده شد. روندیابی سری داده‌ها با آزمون من-کندال انجام شد. نتایج نشان داد، مقادیر دمای هوا و (ETp) در ایستگاه کرمانشاه افزایش یافته است در حالی که مقادیر بارش کاهش نشان داد. حساسیت دو شاخص RDI^۳ و SPEI^۴ به تغییرات اقلیمی بیش‌تر از شاخص SPI به دست آمد (نیکبخت و همکاران ۱۴۰۲). در تحقیقی به بررسی روند تغییرات پوشش سطح زیرکشت برنج

سال) است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود (علی پور و همکاران ۱۳۹۹). به هر حال از آنجایی که مفهوم خشکسالی مفهوم پیچیده‌ای است به منظور جلوگیری از سوء تفاهم و ارائه تعابیر متفاوت، تعریف روشن و مشخص آن اهمیت زیادی دارد که در ابتدای تمایز بین واژه‌های خشکی و خشکسالی ضروری است. خشکی دارای مفهوم کلی بوده است و برای عناصر مختلف محیط زیست به کار نمی‌رود. حال آنکه خشکسالی بیانگر اثرات مختلف بر روی موجودات کوچک، حیوانات و انسان‌ها در این پدیده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. خشکی یک واژه بوم‌شناسی - زراعی و اجتماعی است (علی‌اکبری و همکاران ۱۴۰۲). در تحقیقی با بررسی ویژگی‌های خشکسالی شهرستان لار از داده‌های بارندگی ۱۹ ایستگاه در دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. هدف از این تحقیق استفاده از شاخص‌های تحلیل خشکسالی جهت شناخت ویژگی‌های مختلف خشکسالی بطور ماهانه در منطقه لارستان می‌باشد. پس از تحلیل آماری داده‌ها مشخص گردید که دوام خشکسالی بر حسب شاخص نمره Z^۱ (ZSI) بیش از سایر شاخص‌هاست. همچنین، شاخص بارندگی استاندارد (SPI)^۲ شدت بیشتری و در مقیاس ماهانه، شدت را بیش از شاخص‌های دیگر معلوم ساخت (مشیری ۱۳۹۳). ویژگی‌های خشکسالی ممکن است در رژیم‌های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پرباران استوائی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالیانه دچار کاهش نسبی گردد و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود، این امکان وجود دارد که این کاهش تأثیر محسوسی بر روی منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از نظر هیدرولوژیکی خشکسالی اتفاق نیافتد. اما در مناطق حساس فراخشک و خشک، کاهش بارندگی تأثیر بسیار زیادی بر روی منابع آب می‌گذارد. بنابراین تعریف جامع و دقیقی از خشکسالی که مورد پذیرش همگان باشد و کاربرد جهانی داشته باشد وجود ندارد (اسدی و همکاران ۱۴۰۱). همه مناطق دنیا به طور موقت اما نامنظم از تکرار شرایط خشکسالی رنج می‌برند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور متوالی ولی نامنظم سیستم‌های هوایی مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند، حادث است. برخلاف سیلاب که قابل اندازه‌گیری مستقیم می‌باشد،

1- Z Score Index

2- Standardized Precipitation Index

3- Reconnaissance Drought Index

4- Standardized Precipitation-Evaporation Index

ایران در طی دوره مورد مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با شدت و گستردگی متفاوتی تجربه کرده است (سعدین ۲۰۱۸). استان فارس یکی از استان‌های جنوبی ایران است که در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی واقع شده است و مساحت آن ۱۲۲۲۷۲ کیلومتر مربع است. این استان با ۳۷ شهر به دلیل توزیع نابرابر نزولات جوی دارای اقلیم‌های بسیار متنوع است. این استان دارای ۶۷/۴ درصد مرتع، ۲۰/۴ درصد جنگل و ۱۲/۲ درصد بیابان است. میانگین دمای استان ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۲۸۶/۸ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۵۵۳/۴ میلی‌متر است (شعبانی ۲۰۲۴). شهرستان لارستان یکی از شهرهای جنوبی استان فارس بوده که ۱۰ درصد از محصولات کشاورزی استان فارس را تأمین و عمده محصولات آن شامل جو، گندم، کلزا، پنبه، آفتابگردان، صیفی‌جات، سبزیجات، انگور، انجیر، کنار، انواع مرکبات، برنج و محصولات بومی منطقه مانند خرما است. فاصله این شهر تا شیراز ۳۵۱ کیلومتر و تا بندرعباس ۱۹۰ کیلومتر است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی با محاسبه و مقایسه شاخص‌های خشکسالی و تحلیل شدت و فراوانی و تشخیص رخداد و پراکندگی و ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی و ارائه راه‌کار به منظور به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از آن در شهرستان لارستان در استان فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

– منطقه مورد مطالعه:

برای ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی از داده‌های بارندگی و دما در مدت ۱۴ سال در طول سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ استفاده گردید. این تحقیق به بررسی خشکسالی هواشناسی بر اساس محاسبات شاخص‌های ارزیابی خشکسالی در شهرستان لارستان می‌پردازد. شهرستان لارستان یکی از شهرستان‌های جنوبی استان فارس (شکل ۱) مابین شهرستان‌های گراش، لامرد، خنج، بستک داراب و جهرم و شهر لار مرکز این شهرستان می‌باشد. این شهرستان بین عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی (شکل ۲) و ارتفاع ۸۰۰ متر از سطح دریا واقع است. شهرستان لارستان دارای مساحت ۱۰،۷۴۰

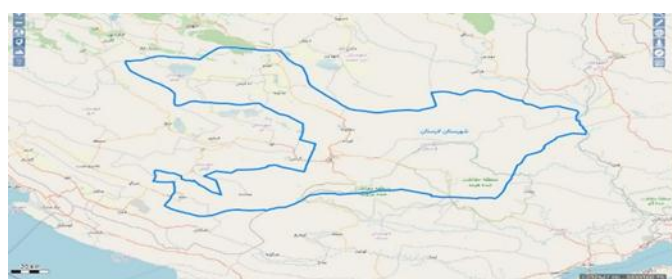
در استان غماص عراق طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ و رابطه آن با دمای سطح زمین به منظور بررسی خشکسالی پرداخته است. جهت مطالعه روند تغییرات پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص دمای سطح زمین (LST) به منظور بررسی سطح زیر کشت برنج و نیز دمای سطح زمین و شدت خشکسالی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص NDVI پوشش گیاهی روندی افزایشی را طی این دوره داشته در صورتی که بر اساس شاخص LST دمای سطح زمین طی این دوره کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که با افزایش پوشش گیاهی، دمای سطح زمین کاهش یافته است. با این حال، بر اساس شاخص VCI، منطقه مورد مطالعه در وضعیت غیرخشکسالی می‌باشد. لذا با توجه به نتایج بدست آمده هر چه دمای سطح زمین کاهش یابد، نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و سطح زیر کشت برنج می‌باشد (نیک عهد و همکاران ۱۴۰۲). در تحقیقی ردیابی، پهنه‌بندی و شناسایی کانون‌های گرد و غبار در استان‌های مرزی عراق با ایران در یک دوره ده ساله ۲۰۲۲-۲۰۱۲ انجام و با استفاده از شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) و طبقه‌بندی پدیده‌های سطح زمین، به صورت جداگانه تحلیل شد. نتایج این مطالعه با سایر پژوهش‌های مشابه در کشورهای ایران، عراق و عربستان نشان دهنده عوارض خشکسالی و گسترش اراضی بیابانی و خشک شدن تالاب‌ها، مرداب‌ها و رودخانه‌ها و از بین رفتن پوشش گیاهی و لخت شدن زمین‌عاری از هرگونه پوشش مرتعی، جنگلی و کشاورزی می‌باشد. برای مقابله با طوفان‌های گرد و غبار، روش‌هایی از قبیل مرطوب کردن خاک، بیولوژیکی و مکانیکی مثل مالچ‌پاشی را می‌توان انجام داد (میرزایی و همکاران ۱۴۰۲). در مقاله ای با عنوان مطالعه تحلیلی توزیع بارش‌ها با استفاده از نمایه‌های خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران نتایج چنین بیان نمود که یکی از مخاطرات طبیعی در تمام پهنه‌های اقلیمی خشکسالی است که در نتیجه یک کمبود بارش سالانه نسبت به میانگین بلندمدت بارش منطقه رخ می‌دهد. از بین شاخص‌های مختلف، پنج شاخص نرمال بارش (PNPI)، شاخص ناهنجاری بارش (RAI)، شاخص دهکها (DI)، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص نمره Z انتخاب شدند. این اطلاعات در طول دوره آماری از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ یعنی ۳۰ ساله ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که

نرم افزار DIP نسخه ۲، خشکسالی هواشناسی شهرستان لارستان محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. روش تحقیق به صورت توصیفی - تحلیلی با اهداف کاربردی همراه با عملیات میدانی می باشد. جامعه این پژوهش منطقه جغرافیایی شهرستان لارستان می باشد. گردآوری اطلاعات بارندگی و دما برای یک دوره ۱۴ ساله از سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ انجام گردید. بارش در ۶/۶ درصد سالها کمتر از میانگین و در ۴/۴ درصد سالها بیشتر از میانگین بوده است. میزان بارش از ۱/۸۴ تا ۶/۵۰۵ میلی متر نوسان دارد. به این ترتیب دامنه تغییرات بارش ۵/۴۲۱ میلی متر، و انحراف استاندارد آن ۱۳۲ میلی متر بدست آمد.

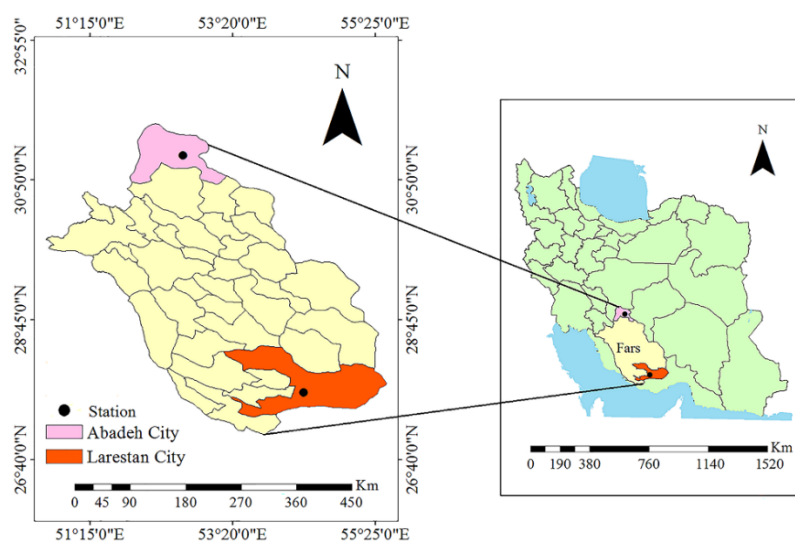
کیلومتر مربع و میانگین دما، بارندگی سالانه و تبخیر سالانه این شهر به ترتیب ۲۳/۹ درجه سانتی گراد، ۲۱۳ میلی متر و ۳۳۰۷ میلی متر است. بر اساس سیستم طبقه بندی اقلیمی آمبرژه، شهرستان لارستان دارای آب و هوای گرم بیابانی است (شعبانی و همکاران ۲۰۲۴).

- روش کار:

با استفاده از شاخص های معتبر علمی شامل شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص عدد Z (ZSI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و محاسبه آنها توسط



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه شهرستان لارستان در استان فارس



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی استان فارس در کشور و منطقه مورد مطالعه شهرستان لارستان (شعبانی و همکاران ۲۰۲۴)

- شاخص بارش استاندارد یا SPI

این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار بدست می آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است.

در این تحقیق پس از جمع آوری اطلاعات لازم، با محاسبه شاخص های تعیین خشکسالی SPI، CZI، ZSI و RDI ارتباط بین آنها و خشکسالی منطقه لارستان مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص های مورد مطالعه فوق شامل موارد ذیل است:

بر انحراف استاندارد است. هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی می باشد که بتوان نواحی کاملاً متفاوت را با هم مقایسه کرد. طبق این روش، دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که مقدار شاخص SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر رسد و هنگامی پایان می یابد که SPI مثبت گردد. شاخص SPI از رابطه ۱ بدست می آید (مکی و همکاران ۱۹۹۳).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

P_i : مقدار بارش در دوره مدنظر

\bar{P} : میانگین دراز مدت بارش برای دوره مدنظر

SD: انحراف معیار مقدار بارش

مقادیر SPI که بر طبق رابطه ۱ به دست می آید از یک توزیع نرمال تبعیت می کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. میزان عددی این شاخص طبق جدول ۱ بیانگر شرایط و درجه خشکسالی می باشد. با وجود فواصل کم عددی درجه های تفکیکی در جدول فوق، شرایط آب و هوایی در هر درجه بشدت تغییر کرده و بسیار ملموس می باشد.

شاخص SPI امکان تعیین کمی خشکسالی یا وقایع غیرعادی رطوبت را در مقیاس زمان مشخص، روی هر منطقه ای از کره زمین که بارندگی آن ثبت شده است، برای محقق فراهم می کند. این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است و به تحلیل گر امکان می دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی نماید. چون این شاخص بی بعد می باشد، می توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه کرد. محاسبه SPI شامل برازش تابع توزیع احتمال گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی می باشد. پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد می گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل می گردد. مقدار این تابع بستگی به احتمال بارش برای هر زمان در مقیاس مختلف دارد و برای مقیاس های زمانی مختلف قابل محاسبه است و می تواند هشدار اولیه جهت پایش خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. اولین مرحله محاسبه این شاخص تقسیم انحراف از میانگین داده های بارش دوره مورد نظر

جدول ۱- درجه خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص SPI

مقادیر SPI	درجه خشکسالی
+۲ و بیشتر	فوق العاده مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب خفیف
۰ تا -۰/۹۹	خشک خفیف
-۱ تا -۱/۴۹	خشک ملایم
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشک شدید
-۲ و کمتر	فوق العاده خشک

نمره استاندارد Z بیانگر آن است که مقادیر یک متغیر با چند درصد انحراف بیشتر یا کمتر از میانگین آن متغیر قرار دارد. اگر نمره های انحراف از میانگین بر انحراف استاندارد تقسیم شود نمره های استاندارد شده به دست می آید. برای تبدیل نمرات خام به نمرات استاندارد Z از رابطه ۲ استفاده می شود:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (2)$$

- محاسبه شاخص Z (ZSI)

اصولاً شاخص Z وضعیت نمره ها نسبت به میانگین را تعیین می کند و مقدار انحراف از میانگین نسبت به انحراف استاندارد داده های آماری است. ZSI نیاز به تبدیل داده ها و برازش توزیع مانند گاما و یا پیرسون نوع سوم مطابق آنچه که در SPI و CZI انجام می گردد، ندارد.

Z در مطالعات خشکسالی، ابتدا میانگین داده‌های بارش در مقیاس زمانی مورد نظر، مثلاً ماهانه یا سالانه، و همچنین انحراف استاندارد آنها محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از رابطه ۲ شاخص استاندارد Z محاسبه می‌گردد. بنابراین از نظر مقایسه بین ایستگاه‌های مختلف می‌تواند کاربرد مطمئنی داشته باشد. شاخص نمره Z، ابزاری مناسب جهت تعیین سال‌های خشک، شدت و تداوم آن‌ها به شمار می‌آید.

در این رابطه، X_i داده خام \bar{X} میانگین داده‌ها و SD انحراف استاندارد داده‌ها است. نمره Z، نمره مستقلی است که واحد آن با واحد اصلی اندازه‌گیری متغیرها متفاوت است. هنگامی که انحراف یک داده از میانگین بر انحراف استاندارد تقسیم می‌شود، واحد اصلی اندازه‌گیری به واحد انحراف استاندارد تبدیل می‌شود. بر اثر تبدیل نمره‌های خام به نمره‌های استاندارد، توزیعی بدست می‌آید که دارای میانگین صفر و انحراف استاندارد یک است. برای کاربرد

جدول ۲- طبقه بندی مقادیر شدت خشکسالی شاخص ZSI

شاخص Z-Score (ZSI)	وضعیت خشکسالی
+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	ضعیف
-۰/۲۵ تا -۰/۵۲	متوسط
-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	شدید
-۰/۸۴ تا -۱/۲۸	بسیار شدید

محاسبه شاخص Z چینی (CZI)

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون-هیلفرتی می‌باشد (کندل و همکاران ۱۹۹۷). با این فرض که داده‌ها از

توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند. CZI مطابق روابط ۳ تا ۵ برآورد می‌گردد:

$$CZI = \frac{6}{C_s} \sqrt[3]{\left(\frac{C_s}{2} \varphi + 1\right)} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (۳)$$

$$C_s = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^3}{n\sigma^2} \quad (۴)$$

$$\varphi_j = \frac{X_j - \bar{X}}{\sigma} \quad (۵)$$

بر اساس میزان بارش بعنوان ورودی و تبخیر و تعرق بعنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. مشکل محاسبه شاخص SPI آنست که تنها بر مبنای بارندگی در منطقه صورت می‌گیرد و محاسن آن سادگی آنست. روند تغییرات SPI و RDI تطابق بسیار زیادی داشته و آستانه‌های طبقه‌بندی خشکسالی برای RDI استاندارد شده و SPI یکسان است (اسدی ۱۳۸۸).

واضح است که تبخیر و تعرق واقعی، خروجی حقیقی می‌باشد. اما برآورد تبخیر و تعرق مدلی را بسیار پیچیده می‌کند. به همین دلیل تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان پارامتر اصلی نشان دهنده شدت جذب آب توسط اتمسفر در نظر گرفته می‌شود. برای سهولت، بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌ها و تبخیر و تعرق پتانسیل (ترجیحاً از رابطه تورنوایت یا تشتک تبخیر کلاس A

که J سال مورد نظر، C_s ضریب چولگی، φ متغیر استاندارد، X_j بارندگی سال J، \bar{X} میانگین بارندگی سالانه، n تعداد کل سال‌ها در طول دوره، σ^2 واریانس داده‌های بارندگی سالانه و σ انحراف معیار داده‌های بارندگی سالانه می‌باشد. برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقه‌بندی SPI استفاده می‌شود. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه نیز استفاده شده است که آنرا CZI اصلاح شده یا MCZI اطلاق می‌کنند.

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص RDI بر مبنای بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه و نسبت به شاخص SPI که تنها بر مبنای بارندگی می‌باشد به متغیرها و تغییرات آب‌وهوایی حساسیت بیشتری دارد. این شاخص

تبخیر تعرق مرجع و میانگین دمای هوا منطقه ارائه شده است که به کمک روابط ۶ و ۷ به دست می‌آید (مایدا و همکاران ۲۰۱۱).

بدست می‌آید) را به عنوان ورودی و خروجی سیستم در نظر گرفته می‌شود. روش تورنوایت بر اساس یک رابطه تجربی بین مقدار

$$ET_0 = 16 N_m \left(\frac{10 T_i}{I} \right)^a \quad (6)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.51} \quad (7)$$

می‌شود)، N_m ضریب اصلاحی برای عرض‌های مختلف جغرافیایی و ماه‌های مختلف، I شاخص حرارتی سالانه و a بصورت رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

که در آن T_i متوسط دمای هوا در ماه مورد نظر (در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی شود عبارت $\left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.51}$ که شاخص حرارتی ماهانه است، برای آن ماه صفر در نظر گرفته

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 0.01792 I + 0.492 \quad (8)$$

محل توجه می‌کند. RDI یک شاخص جدید ارتقا یافته برای برآورد شدت خشکسالی می‌باشد. همچنین به دلیل سهولت محاسبه می‌تواند برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی در دوره‌های کوتاه‌مدت و در پهنه‌های معین به کار رود. روش محاسبه آن بدین شرح است که ابتدا با استفاده از رابطه ۹ برای هر سال (i) از دوره آماری مطالعه شده، مقادیری با عنوان a_0 محاسبه می‌شود.

بنابراین در این مدل فقط به داده‌های دما (برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تورنوایت) و بارندگی نیاز است که تقریباً همه جا در دسترس هستند. برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است که از آمار نامه سازمان هواشناسی فارس استخراج شد. مهمترین مزیت این شاخص آن است که هم به میزان آب بارندگی و هم به عوامل

$$a_0^i = \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}}{\sum_{j=1}^n ET_{ij}} \quad (9)$$

نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این رابطه نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI با عنوان RDI_n یا RDI_n هر سال است که به کمک رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

P بارندگی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل در ز امین سال i ام می‌باشد. مقدار i از یک تا n (تعداد سال‌های آماری) تغییر می‌کند. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند،

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1 \quad (10)$$

جهت محاسبه شاخص استاندارد شده از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_i بدست خواهد آمد.

که در آن، \bar{a}_0 میانگین حسابی اعداد a_0 هر سال می‌باشد.

$$y_i = \ln(a_0^{(i)}) \quad (11)$$

در آخر شاخص استاندارد شده RDI در هر سال از طریق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

سپس میانگین حسابی و انحراف استاندارد این اعداد را محاسبه که بترتیب \bar{y}_k و σ_{y_k} نامیده می‌شود.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}} \quad (12)$$

پارامتر را طول دوره با ذخیره منفی نیز می نامند. به عبارت ساده تر، مطابق رابطه ۱۳ زمان آغاز T_0 تا پایان خشکسالی T_t طول دوره یا دوره تداوم خشکسالی L خوانده می شود.

$$L = T_t - T_0 \quad (13)$$

با جدول ۴ به کار رفته است. T_t سطح بحرانی، و X_t متغیر اصلی است. این مشخصه از طریق رابطه ۱۴ محاسبه می گردد (اسووبودا و همکاران ۲۰۱۶).

$$S = \sum_{t=T_0}^{T_t} (T_t - X_t) \quad (14)$$

طول دوره خشکسالی یعنی فاصله زمانی که در طول آن خشکسالی اتفاق افتاده است، به عبارت دیگر، طول دوره های که در آن مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر کمتر شود. این

عامل مجموع کمبودها برابر است با مجموع اختلاف کمبودهای متغیر اصلی از حد بحرانی مورد نظر در طول دوره خشکسالی. این ویژگی با عنوان کمبود کلی یا وخامت خشکسالی نیز نامیده شده است. در این تحقیق، اصطلاح سختی (شدت) خشکسالی مطابق

نتایج و بحث

و دما دارند. میزان حساسیت RDI در بالاترین سطح بدلیل تاثیر دما در محاسبات و CZI و SPI حساسیت معادل و مشابهی را نشان می دهند. محاسبات شاخص SPI و RDI و CZI موید آنست که منطقه فوق حداقل یک دوره خشک شدید و یک دوره خشک ملایم و پنج دوره خشک خفیف و پنج دوره مرطوب خفیف و یک دوره مرطوب متوسط و یک دوره خیلی مرطوب و در کل ۷ دوره خشک و ۷ دوره مرطوب با درجه های مختلف را پشت سر گذاشته و اثرات زیست محیطی متنوعی را به علت توالی دوره های خشک پشت سرهم ایجاد و وقوع دوره خیلی مرطوب، سبب سیل و خسارت به بخش کشاورزی شده است. میزان بارش دو ماه ابتدای سال زراعی ۱۴۰۰ در این منطقه حدود ۱۶/۲ میلی متر گزارش شده که در طول ۳۰ و حتی ۵۰ سال گذشته بی سابقه بوده و حدود ۹۱ درصد کاهش داشته است (ایرنا ۱۴۰۰).

به ناگاه وضعیت پرآبی که مولد پر شدن سدها و یا سیل بدلیل سخت شدن خاک و عدم کشش جذب سطحی مناسب خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی و ایجاد روان آب، خسارت سیل در سال های بعد را سبب گردیده است. روند خشکسالی پس از رسیدن به حد نهایی بارش با ۵۰۵ میلی متر در سال ۱۳۹۸ ترمیم و با شدت بیشتری در بارش مقطعی، اما پراکندگی کمتر در سال های بعد به خصوص در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ منجر به سیل های مخرب گردیده است. در پی بارندگی های سال ۱۳۹۸ و وقوع سیلاب در لارستان بیش از ۲۰۰ راس گوسفند به ارزش حدود چهار میلیارد ریال تلف شدند.

پس از جمع آوری داده ها با استفاده از نرم افزار DIP نسخه ۲ محاسبات لازم انجام گردید و به استخراج شاخص های CZI، SPI، ZSI و RDI اقدام شد. ابتدا شناخت کلی از ویژگی های خشکسالی های لارستان حاصل گردید و دوم شاخص های مختلف از نظر نحوه انعکاس پدیده خشکسالی با یکدیگر مقایسه شد. در شاخص SPI، معیارهایی برای رخداد یک خشکسالی در مقیاس های زمانی متفاوت تعریف شده است. مطابق جدول ۱ خشکسالی زمانی رخ می دهد که شاخص بطور منفی تداوم داشته باشد و همچنین یک خشکسالی زمانی شدید می شود که شاخص فوق ۱- یا کمتر باشد در صورتیکه شاخص SPI مثبت باشد رخداد خشکسالی به پایان خواهد رسید.

نتایج نهایی حاصل از محاسبه SPI، RDI و CZI در جدول ۳ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود خشکسالی در برخی سال های مورد تحقیق در این شهرستان با درجه های مختلف وجود داشته است. شاخص SPI با میزان ۱/۵۱- در سال ۱۳۹۳ بالاترین خشکسالی و با میزان ۲/۰۲ در سال ۱۳۹۸ کمترین خشکسالی را نشان داده است. شاخص RDI متناظر در همان سال ها اما با حساسیت بالاتر با ۲/۰۶- و ۲/۳۴ حاصل شد و نشان داد که بالاترین و کمترین درجه خشکسالی نیز در همان سال های متناظر با SPI است. با محاسبه شاخص CZI نیز در سال ۱۳۹۳ مقدار ۱/۴۸- و در سال ۱۳۹۸ مقدار ۱/۹۸ بیشترین و کمترین مقدار خشکسالی را تجربه کرده است. با تحلیل جدول ۳ می توان دریافت که هر سه شاخص SPI، RDI و CZI تعبیر و خروجی مشابهی از نظر عددی و علامت، از خشکسالی در سال های مورد مطالعه ولی با درجه حساسیت های مختلف با توجه به میزان بارش

رودخانه‌ها باعث خسارات بالای ۹۰۰ میلیارد ریال به بخش کشاورزی و باغ‌های این شهرستان شد (ایرنا ۱۴۰۰).
بارندگی در روزهای چهارم تا ششم مرداد ماه ۱۴۰۱، بالغ بر ۱۲۸۰ میلیارد ریال خسارت سیل به بخش کشاورزی به محصولات زراعی و باغی، دام و تاسیسات دامی، جاده‌های بین مزارع، چاه‌های کشاورزی و قنوات شهرستان لارستان، خسارت وارد کرد (ایسنا ۱۴۰۱).

همچنین به دلیل بارش باران و وزش بادهای شدید، خسارات زیادی به پایه‌های برق و راه‌های ارتباطی وارد شد (رکنا ۱۳۹۸).
براساس اعلام سازمان صدا و سیما در ۱۶ فروردین ۱۳۹۸، ۵۰ نفر در استان‌های جنوب و غرب کشور در مدت سیل‌های فروردین ۱۳۹۸ جان خود را از دست دادند. در دی ماه ۱۴۰۰ سیل جنوب فارس با قربانی گرفتن ۶ تن در شهرستان لارستان و به حدود هشت هزار نفر هم در مناطق مختلف آسیب رسانده است. در برخی مناطق و منازل در شهر لار آب تا ارتفاع ۲ متر بالا آمد و باعث وحشت و تخلیه مردم از منازل خود شد. وقوع سیل و طغیان

جدول ۳ - میزان شدت خشکسالی در شهرستان لارستان بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه

سال	شدت خشکسالی	SPI	RDI	CZI	بارندگی mm	میانگین دما c^0
۱۳۸۸	مرطوب خفیف	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۶۶	۲۷۷/۴	۲۷/۵
۱۳۸۹	خشک خفیف	-۰/۲۶	-۰/۴۸	-۰/۲۳	۱۶۹/۶	۲۸/۱
۱۳۹۰	خشک خفیف	-۰/۶۳	-۰/۹۸	-۰/۶۰	۱۳۸/۵	۲۶
۱۳۹۱	خشک ملایم	-۱/۱۷	-۱/۵۲	-۱/۱۴	۱۰۱	۳۰/۴
۱۳۹۲	خشک خفیف	-۰/۲۹	-۰/۵۳	-۰/۲۶	۱۶۶	۲۸
۱۳۹۳	خشک شدید	-۱/۵۱	-۲/۰۶	-۱/۴۸	۸۴	۲۹/۴
۱۳۹۴	مرطوب خفیف	۰/۳۱	۰/۵۵	۰/۲۸	۲۲۹	۲۷/۶
۱۳۹۵	مرطوب متوسط	۱/۳۸	۱/۸۲	۱/۳۴	۳۸۳	۲۴/۳
۱۳۹۶	خشک خفیف	-۰/۳۳	-۰/۶۴	-۰/۳۱	۱۶۳	۲۷/۲
۱۳۹۷	مرطوب خفیف	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۳۳	۲۳۶	۲۴/۳
۱۳۹۸	خیلی مرطوب	۲/۰۲	۲/۳۴	۱/۹۸	۵۰۵	۲۳/۶
۱۳۹۹	مرطوب خفیف	۰/۱۴	۰/۵۷	۰/۱۱	۲۱۰	۲۸/۵
۱۴۰۰	مرطوب خفیف	۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۱۳	۲۱۶	۲۵/۲
۱۴۰۱	خشک خفیف	-۰/۴۲	-۰/۶۶	-۰/۳۶	۱۵۵	۲۴/۸

عددی CZI کمتر از SPI شده است، به عبارت دیگر، مقدار منفی، شدت خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد.
مشخصه سختی یا وخامت خشکسالی، که حاصل مجموع کمبودهای سالانه در طی هر دوره خشکسالی است، با شاخص CZI در تمام دوره‌های مورد تحقیق از سختی به روش SPI و ZSI بالاتر است اما با افزایش تعداد سال بازه تحقیق از میزان سختی در هر سه شاخص کاهش می‌یابد. نکته قابل ذکر آن است که رابطه ضعیفی بین افزایش تداوم خشکسالی و افزایش سختی وجود دارد. به نظر می‌رسد که علت این وضعیت آن است که خشکسالی‌های خفیف سهم بیشتری از سال‌های خشک را شامل می‌گردد. سختی با افزایش تعداد سال‌ها در هر دوره زمانی کمتر گردیده است. ضمن آنکه سختی بر اساس هر سه شاخص

بر طبق نتایج جدول ۴، فراوانی خشکسالی با شدت‌های مختلف، بر حسب شاخص‌های مختلف، بین ۴۴/۸ تا ۶۹/۱ درصد از مجموع سال‌ها را به خود اختصاص داده است. میزان شاخص‌های CZI و SPI در هر دوره ۳، ۶، ۱۱ و ۱۴ ساله به هم نزدیک بوده و شاخص ZSI در همان دوره و در بازه‌های سال‌های مختلف، از هر دو بالاتر می‌باشد. از نظر شدت، خشکسالی‌های ضعیف سهم بیشتری داشته و خشکسالی‌های متوسط و شدید و بسیار شدید سهم کمتری دارند و بین مشخصه درصد فراوانی وقوع و شدت خشکسالی رابطه معکوس وجود دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که ZSI از نظر انعکاس مشخصه شدت خشکسالی کمترین حساسیت را داشته است و مقارن با سال‌های با وقوع حداقل بارش، مقدار

روند برای سختی خشکسالی نیز حاکم می باشد. افزایش میزان بارندگی ها از سال ۱۳۹۴ به بعد نسبت به قبل از آن تا حد زیادی در بهبود و کاهش سختی خشکسالی منطقه تاثیرگذار بوده است. این تاثیر بر اساس جدول ۵ نیز مشخص است. افزایش سالهایی با خشکسالی ضعیف و خیلی ضعیف بعد از سال ۱۳۹۴ مویده بهبود نسبی خشکسالی های بوقوع پیوسته قبل از سال ۱۳۹۴ است.

خشکسالی در جدول ۴ از شروع سال تحقیق تا انتها روند نزولی را طی نموده است. می توان گفت که شاخص ZSI شروع خشکسالی را زودتر و پایان آن را دیرتر از سایر شاخص ها اعلام می کند و به این ترتیب، تداوم خشکسالی بر حسب شاخص ZSI بیش از سایر شاخص هاست. با افزایش سال های دوره زمانی میزان فراوانی سال های خشک و شدت آن روند نزولی داشته است. این

جدول ۴ - درصد فراوانی سال های خشک، به تفکیک شدت و سختی خشکسالی بر حسب شاخص های مورد مطالعه

شاخص	درصد فراوانی سال های خشک، به تفکیک شدت خشکسالی				مشخصات وقایع خشکسالی		
	بسیار شدید	شدید	متوسط	ضعیف	جمع	شروع دوره	پایان دوره
CZI ۳ ساله	۵/۲	۲/۶	۱۰/۲	۴۵/۴	۶۳/۴	۱۳۸۸	۱۳۹۰
SPI ۳ ساله	۴/۶	۶/۶	۹/۴	۴۲/۲	۶۲/۸	۱۳۸۸	۱۳۹۰
ZSI ۳ ساله	۰	۰	۷/۱	۶۲	۶۹/۱	۱۳۸۸	۱۳۹۰
CZI ۶ ساله	۲/۲	۲/۴	۸/۴	۳۹/۶	۵۲/۶	۱۳۸۸	۱۳۹۳
SPI ۶ ساله	۲/۲	۶/۳	۸/۶	۳۷/۸	۵۴/۹	۱۳۸۸	۱۳۹۳
CZI ۱۱ ساله	۰	۲/۳	۳/۲	۴۲/۶	۴۸/۱	۱۳۸۸	۱۳۹۸
SPI ۱۱ ساله	۱/۳	۴/۵	۶/۳	۳۸/۷	۵۰/۸	۱۳۸۸	۱۳۹۸
ZSI ۱۱ ساله	۰	۰	۶/۶	۴۴/۹	۵۱/۵	۱۳۸۸	۱۳۹۸
CZI ۱۴ ساله	۰/۲	۲/۱	۲/۲	۴۰/۳	۴۴/۸	۱۳۸۸	۱۴۰۱
SPI ۱۴ ساله	۰	۳/۵	۵/۴	۳۶/۵	۴۵/۴	۱۳۸۸	۱۴۰۱
ZSI ۱۴ ساله	۰	۰	۵/۵	۴۱/۲	۴۶/۷	۱۳۸۸	۱۴۰۱

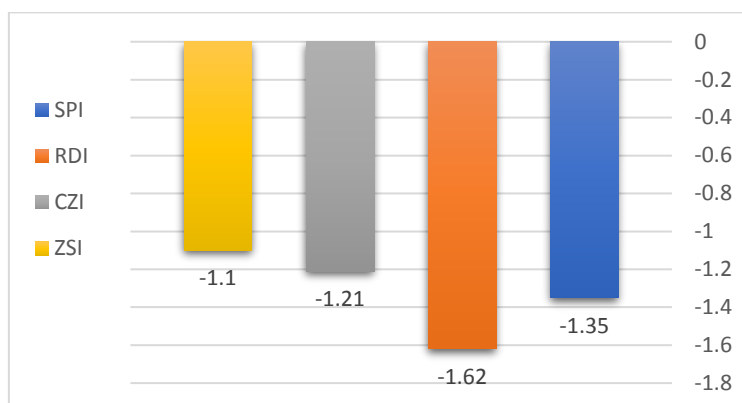
جدول ۵ - میزان وضعیت خشکسالی در شهرستان لارستان بر اساس شاخص ZSI

سال	وضعیت خشکسالی	مقادیر ZSI
۱۳۸۸	ضعیف	-۰/۵۴
۱۳۸۹	متوسط	-۰/۴۲
۱۳۹۰	شدید	-۰/۷
۱۳۹۱	بسیار شدید	-۱/۰۳
۱۳۹۲	متوسط	-۰/۴۵
۱۳۹۳	بسیار شدید	-۱/۱۸
۱۳۹۴	ضعیف	۰/۱۱
۱۳۹۵	خیلی ضعیف	۱/۴۸
۱۳۹۶	متوسط	-۰/۴۸
۱۳۹۷	ضعیف	-۰/۱۸
۱۳۹۸	خیلی ضعیف	۲/۵۷
۱۳۹۹	ضعیف	-۰/۰۶
۱۴۰۰	ضعیف	-۰/۰۱
۱۴۰۱	متوسط	-۰/۵۵

است. کمترین تداوم‌های خشکسالی و بالاترین احتمال خشکسالی بر حسب شاخص CZI بوده و شاخص SPI از نظر معیار تداوم در بین دو شاخص دیگر قرار می‌گیرد. از نظر انعکاس شدت خشکسالی به وسیله شاخص‌های مختلف می‌توان گفت، SPI مشخصه شدت خشکسالی را بهتر از شاخص‌های دیگر نشان می‌دهد. اما در مقیاس کلی دامنه سال‌های تحقیق، حساسیت و مقدار قدرمطلق عددی RDI بیش از شاخص‌های دیگر است. این مطلب را از شکل ۳ می‌توان استنتاج کرد. در شکل ۳، مقدار کل شاخص SPI برابر $1/35-$ ، RDI برابر $1/62-$ ، CZI برابر $1/21-$ و ZSI برابر $1/1-$ بدست آمد. مطابق شکل ۳ میزان ZSI از نظر انعکاس خشکسالی، کمترین حساسیت و RDI بیشترین حساسیت را نشان داد. روند تغییرات SPI و RDI تشابه بسیار زیادی داشت. بطور کلی همه شاخص‌ها منفی استخراج گردید که خود بیانگر وقوع رخداد خشکسالی در منطقه فوق می‌باشد.

میزان وضعیت خشکسالی بر اساس معیار ZSI بر اساس سال‌های مورد تحقیق در جدول ۵ آمده است. بدلیل تفاوت معیار سنجش وضعیت خشکسالی ZSI با سایر شاخص‌ها، جدول جداگانه‌ای تشکیل گردیده است. این شاخص بیانگر آن است که مقادیر یک متغیر مانند بارش با چند درصد انحراف بیشتر یا کمتر از میانگین بارش قرار دارد. بنابراین ابزاری مناسب جهت تعیین سال‌های خشک، شدت و تداوم آنها به شمار می‌آید.

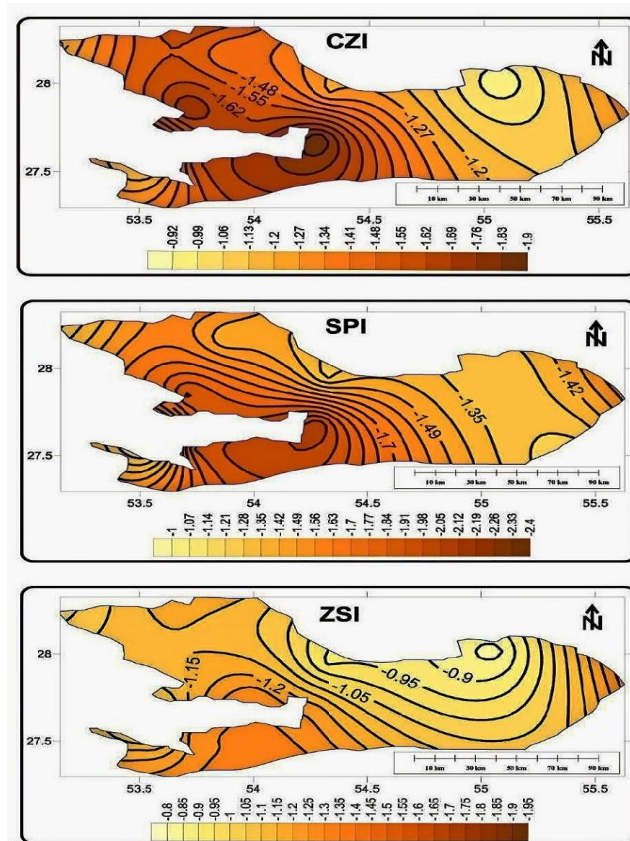
این شاخص دو وضعیت بسیار شدید و یک شدید و سه متوسط و مابقی سال‌ها ضعیف و خیلی ضعیف را برای سنجش خشکسالی استخراج نمود. این تنوع بیانگر پراکندگی بارندگی از میانگین داده‌ها و بروز شرایط متفاوت در سال‌های پی‌درپی است. از جدول ۵ مشخص است که از ابتدای دوره زمانی تحقیق یعنی سال ۱۳۸۸ روند خشکسالی هر سال رو به تشدید بوده و در هر سال شدیدتر شده و در سال ۱۳۹۳ به اوج شدت رسیده و سپس تعدیل شده



شکل ۳- میزان تجمیعی شاخص‌های خشکسالی در طول دوره تحقیق در شهرستان لارستان

و یکسان بودن تقریبی میزان عددی آنها در بازه دوره تحقیق، از ترسیم وضعیت شاخص RDI در شکل ۴ صرف‌نظر گردید. به عبارتی نمای شاخص SPI می‌تواند بیانگر نمای شاخص RDI نیز باشد.

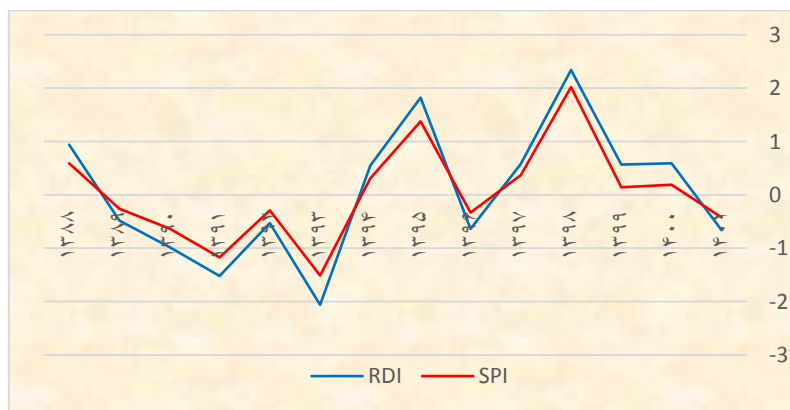
شکل ۴، عکس‌العمل شاخص‌های مورد بحث را نسبت به رویداد خشکسالی لارستان معلوم می‌سازد. در این شکل حساسیت بیشتر شاخص CZI نسبت به شاخص SPI و حساسیت کمتر شاخص ZSI نسبت به دو شاخص دیگر کاملاً آشکار است. بدلیل یکسان بودن روند شیب صعودی نزولی تغییرات SPI و RDI (شکل ۵)



شکل ۴- نمای وضعیت شاخص های CZI، SPI، ZSI در محدوده شهرستان لارستان

و شدت آن کم می‌گردد. اما مرکزیت شاخص ZSI سمت شرقی منطقه فوق بوده و میزان پراکندگی وقوع خشکسالی بسمت نواحی غربی و جنوبی منطقه فوق بیشتر و شدت آن در کل ناحیه مورد تحقیق نسبت به دو شاخص دیگر کم رنگ‌تر و به عبارتی با حساسیت کمتری محاسبه شده است.

طبق شکل ۴ بر اساس محاسبه شاخص SPI و بخصوص حساسیت بیشتر CZI، نواحی مرکزی شهرستان لارستان میزان شدت خشکسالی بیشتری را تجربه نموده است. بر اساس هر دو شاخص SPI و CZI، خشکسالی با محوریت در مرکز ناحیه شهرستان لارستان، به اطراف پراکنده و از شدت خشکسالی کم می‌شود. هر چه بسمت نواحی شرق و شمالی پیش می‌رود از میزان



شکل ۵ - روند تغییرات مقادیر محاسباتی SPI و RDI در بازه مورد تحقیق در شهرستان لارستان

گرفت که وقوع خشکسالی در منطقه فوق رخ داده و امکان ادامه و افزایش سختی آن با توجه کاهش بارندگی در انتهای سال‌های مورد مطالعه امکان پذیر است.

نتایج این تحقیق با یافته‌های مشیری و همکاران (۱۳۹۳) در میزان و دامنه و شیب تغییرات و محاسبه شاخص‌های RDI, SPI, CZI و ZSI در پیش‌بینی وقوع خشکسالی و شدت و حساسیت شاخص‌ها تطابق دارد اما با یافته‌های تحقیق نیکبخت و همکاران (۱۴۰۲) از نظر حساسیت و واکنش RDI نسبت به SPI و تابعیت افزایش و کاهش مقدار عددی با یکدیگر در تخمین وقوع خشکسالی یکسان نیست. به عبارتی عدد محاسباتی این دو شاخص نزدیک هم استخراج نشد. دلیل آن می‌تواند طبق نتایج اسدی و همکاران (۱۴۰۱) که بیان می‌نماید ویژگی‌های شاخص خشکسالی ممکن است در رژیم‌های مختلف آب‌وهوایی دنیا متفاوت باشد، منطبق است. تفاوت اساسی در اقلیم و آب‌وهوا و شرایط مرطوب تا بسیار مرطوب ناحیه مورد تحقیق و بارش فراوان و پایین بودن قابل توجه دمای میانگین و کاهش تبخیر و تعرق پتانسیل که روی شاخص RDI تاثیر به‌سزایی می‌گذارد، ممکن است تاثیرگذار باشد. این مهم بیانگر آن هست که ارتباط بین شاخص‌های تعیین خشکسالی و رابطه بین آنها در همه مناطق یکسان عمل نمی‌کند و نمی‌تواند ویژگی مقایسه‌ای آنها در یک تحقیق را برای سایر مناطق با شرایط آب و هوایی مختلف تعمیم داد.

لازم است طرح و برنامه‌ریزی‌هایی برای استفاده مطلوب از آب و حفظ جایگاه آن به عنوان یکی از محورهای توسعه در نظر گرفته شود. دستیابی به تعادل نسبی برای عرضه و مصرف آب یک اصل ضروری و اساسی است. در خشکسالی سال‌های قبل در شهرستان لارستان خسارات غیرقابل جبرانی به کشاورزان وارد و همچنین وجود تعداد زیاد چاه‌های مجاز و غیرمجاز به این مسئله دامن زده است. هنگام بروز شرایط خشکسالی، منابع آب محدود مدیریت جدیدی را می‌طلبد. پیش‌بینی زلزله می‌تواند تا حد زیادی از اثرات تخریبی آن بکاهد اما شوربختانه فرصت برای تخمین و اطلاع‌رسانی آن بسیار کم است. خوشبختانه در پیش‌بینی وقوع خشکسالی و اطلاع‌رسانی آن جهت کاهش تخریب اثرات محیط زیستی و کشاورزی و اقلیمی، فرصت کافی و وافی وجود دارد. با تقویت توانمندی علمی و عملی کشاورزان و دامداران باید شرایطی را فراهم آورد تا با استفاده از تکنولوژی‌های مناسب اصول پایدار کشاورزی را رعایت و در خشکسالی بتوانند محصولات را به ثمر رسانند. استفاده از آب‌بندان‌ها و طرح‌های آبخیزداری، حفاظت

با اینکه شاخص RDI بر اساس مقادیر دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق محاسبه می‌شود و محاسبه SPI تنها بر مبنای داده‌های بارش در منطقه صورت می‌گیرد، اما نتایج، روند تغییرات SPI و RDI را با مشابهت بسیار زیادی نشان داد. این نتیجه در شکل ۵ مشخص می‌باشد و روند صعود یا نزول و شیب هر دو نمودار و مقادیر عددی مشابهت زیادی با هم دارند. با تحلیل شکل ۵ می‌توان دریافت که از ابتدای سال بازه زمانی مورد تحقیق یعنی سال ۱۳۸۸ روند وقوع خشکسالی با شیب منفی با شدت بیشتری افزایش یافته و در سال ۱۳۹۳ به بالاترین مقدار منفی و وقوع خشکسالی شدید رسیده است. سپس تا سال ۱۳۹۵ با افزایش بارندگی‌ها بهبود نسبی یافته و شیب مثبت را طی و خشکسالی شدت کمتری داشته ولی در سال ۱۳۹۶ مجدداً روند نزولی و وقوع خشکسالی خفیف را تجربه و سپس تا سال ۱۳۹۸ در پی بارندگی‌های زیاد، از احتمال وقوع خشکسالی کم شده است. اما مجدداً تا سال آخر بازه تحقیق یعنی ۱۴۰۱ با کاهش بارندگی‌ها، میزان احتمال وقوع خشکسالی خفیف رو به افزایش می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به یافته‌های تحقیق، فراوانی خشکسالی با شدت‌های مختلف، بر حسب شاخص‌های مختلف، بین ۴۴/۸ تا ۶۹/۱ درصد از مجموع سال‌های بازه زمانی را به خود اختصاص داد. مقادیر شاخص SPI برابر ۱/۲۵-، RDI برابر ۱/۶۲-، CZI برابر ۱/۲۱- و ZSI برابر ۱/۱- بدست آمد. ZSI از نظر انعکاس خشکسالی، کمترین حساسیت و روند تغییرات SPI و RDI تشابه بسیار زیادی داشت (شکل ۵). میزان شاخص‌های CZI و SPI در هر دوره ۳ و ۶ و ۱۱ و ۱۴ ساله به هم نزدیک بوده و شاخص RDI و ZSI در همان دوره از هردو بالاتر می‌باشد (جدول ۴). از نظر شدت، خشکسالی‌های خفیف، سهم بیشتری و خشکسالی‌های متوسط و شدید سهم کمتری دارند. ZSI از نظر انعکاس مشخصه شدت خشکسالی کمترین حساسیت را داشته و مقارن با سال‌ها با وقوع حداقل بارش، مقدار عددی RDI کمتر از SPI شده است، به عبارت دیگر، مقدار منفی و شدت خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ حساسیت بیشتر CZI نسبت به SPI کاملاً آشکار است. با افزایش مقدار بارش در سال‌های مرطوب خفیف به بالا مقدار عددی RDI بیشتر از SPI گردیده است. با افزایش شدت خشکسالی، درصد وقوع آن کاسته می‌شود و بین مشخصه درصد فراوانی وقوع و شدت خشکسالی رابطه معکوس وجود دارد. با توجه به ارزیابی هر چهار شاخص، می‌توان نتیجه

گیاهی، ارتقاء سطح فرهنگ صرفه جویی در مصرف آب خصوصاً در بین زنان خانه‌دار، نظارت مستمر بر منابع و مصارف، کنترل رشد جمعیت و توجه به مهندسی محیط زیست از موارد مهم کنترل و مدیریت خشکسالی در منطقه لارستان و کشور خواهد بود.

کاشت مراتع، ایجاد یک مرکز مدیریت بحران خشکسالی، اتخاذ استراتژی برای حمایت از جبران خشکسالی، نمک زدایی از آب‌های شور، تغذیه مجدد آب‌های زیرزمینی، حمایت از تحقیقات انجام شده در زمینه خشکسالی، احداث سدها، جدا کردن آب شرب از سایر مصارف شهری، جلوگیری از تخریب و گسترش پوشش

References

- 1- Abedi Sarvestani A, Ghorbani K. Investigation of drought coping methods by farmers (Study of the topic: Shirvan, North Khorasan). *Journal of Geography and Environmental Sustainability*. 2019;8(3)28: 13-31. DOR: 20.1001.1.23223197.1397.8.3.2.8. [In Persian]
2. Alipour A, Moradkhani H. Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth. *Science of the Total Environment*. 2019; 62: 672-686. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.278. [In Persian]
3. Akbari M, Gholamzadeh R. Educational needs assessment of rural youth of Varamin city in the field of entrepreneurship in order to start handicraft businesses. *Rural Research*. 2014;6(2):299-322. DOI: 10.22059/jrur.2015.54909. [In Persian]
4. Asadi Meyabadi A, Akhzari D, Nouri H. Zoning of Drought by Integrating Satellite Imagery and Ground-Based Climate. Data (Case study: Malayer Plain). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2021;23(4): 83-96. SID. <https://sid.ir/paper/951825/fa>. [In Persian]
5. Asadi Zarech M. A, Mobin M, Malekinejad H. 2009. Introducing a new index to diagnose and determine drought and its severity, continuity and extent in dry areas of Iran. The 5th Iran National Conference on Irrigation Science and Engineering (natural and sustainable disaster management). 7 May. Gorgan. [In Persian]
6. Ashrafzadeh A, Mosavi A. Investigating the uncertainty of data-based models in forecasting the monthly flow of Hable river. *Iran Water and Soil Research (Agricultural Sciences of Iran)*. 2020;51(5):1265-1280. DOI:10.22059/ijswr.2020.286920.668288. [In Persian]
7. Javanmard S, Tajbakhsh S. Climatology of low cloud cover occurrence in Iran. *Climatology Research Issue*. 2017; Spring and Summer. 33:15-32. [In Persian]
8. Johanna H, Minoia P. Social aspects of water scarcity and drought. 1st ed. Boca Raton. CRC Press; 2017 DOI:10.1201/9781315404219-32.
9. Irna. <https://www.irna.ir/news/84603090>. 2022.1.5.
10. Kendall M.G, Sturat A. The advanced theory of statistics. Hafner Publishing Company. The University of Michigan. 2010; ISBN 9780852640074.
11. Isna. <https://www.isna.ir/news/1401051712404>. 2022.8.8.
12. Kholgi M, Ashrafzadeh A, Malmir M. Monthly Low-Flow Forecasting Using a Stochastic Model and Adaptive Network Based Fuzzy Inference System. *Iran Water Resources Research*. 2009; 5(2)14: 16-26. [In Persian]
13. Maeda E, Wiberg D.A., Pellikka P. Estimating reference evapotranspiration using sensing empirical models in a region with limited data availability in Kenya. *Applied Geography*. 2011; 31(1):251-258. DOI:10.1016/j.apgeog.2010.05.011.
14. Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. 1993; 17(22): 179-183.
15. Mirzaei Nowroozani A, Nik ahd A, Alshoveyli A. Tracking Dust Centers on the Common Border of Iran and Iraq in ten-year period of 2012-2022. *New Researches in Environmental Engineering*. 2023; 2(1):60-67. sanad.iau.ir/Journal/jnree/Article/783168. DOR:20.1001.1.29810930.1402.1.2.3.1. [In Persian]
16. Moshiri R, Khoram AA, Mahdavi M. Assessment of Climatic Drought Characteristics of Larestan. *Journal of Regional Planning*. 2014; 4(13):103-120. sid.ir/paper/230503/en. [In Persian]
17. Naumann L, Alfieri K, Wyser L, Mentaschi RA, Betts H, Carrao J, Spinoni J, Vogt L. Global changes in drought conditions under different levels of warming *Geophys*. 2018; 45(7):3285-3296. DOI:10.1002/2017GL076521.
18. Nik ahd A, Ahmad almatlak W, Ebrahimi A. Investigating the drought index based on satellite images and its relationship with the reduction of the area under rice cultivation, a case study:(Ghamas province, Iraq). *New Researches in Environmental Engineering*. 2023;1(1): 30-40. sanad.iau.ir/fa/Journal/jnree/Article/782707. [In Persian]

19. Nikbakht j, Hadli F. Comparison of SPI, RDI and SPEI indices for drought monitoring under climate change conditions (Case study: Kermanshah station) *Agricultural Meteorology*. 2021;9-1(17):14-25. DOI:10.22125/agmj.2021.249498.1103.
20. Rastgo P, Ramezani B. Drought Evaluation and Climatic Impact Assessment in Gilan Province. *Geography and environmental studies*. 2022;11(42): 136-150. DOI: 20.1001.1.20087845.1401.11.42.9.8.
21. Rokna .<https://www.rokna.net.2019.7.13>. News code: 507995.
22. Sadin B. 2018. Analytical study of rainfall distribution using drought profiles in different climates of Iran. National conference of new geomatics technologies and applications. Article DOI: XBAE-DZGGH.
23. Safari Ali Akbari M, Azadpour M, Pudine M. Drought and rural communities: strategies to deal with its consequences (case study: border villages of Zahedan city). *Applied Research Journal of Geographical Sciences*. 2023; 23(70)21. DOI: 10.61186/jgs.23.70.387. [In Persian]
24. Shabani M. Evaluation of indices based on remote sensing in drought monitoring of Neyriz city. *RS & GIS for natural resource*. 2022;13(4): 131-147. DOI: <https://doi.org/10.30495/girs.2022.690925>. [In Persian]
25. Shabani M. Improving the daily pan evaporation estimation of long short-term memory and support vector regression models by using the Wild Horse Optimizer algorithm. *Water Supply*. 2024;24(4):1315–1334. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.063>.
26. Shakur A, Shujaeifard A, Taqvithani H. Ecotourism potential zoning of Shiraz city based on fuzzy multi-criteria analysis(GIS). *Scientific and research quarterly of new attitudes in human geography*. 2022;13(2):710-726. [In Persian]
27. Svoboda MD, Fuchs BA. Handbook of drought indicators and indices. University of Nebraska – Lincoln. Drought Mitigation Center Faculty Publications; 2016.
28. Tsakiris G, Vangelis H. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water*. 2005; 9(10):3-11
29. Waseem M, Khurshid T. Impact of meteorological drought on agriculture production at different scales in Punjab, Pakistan. *Journal of Water and Climate Change*. 2022;13(1):113–124. DOI: 10.2166/wcc.2021.244.
30. Wilhite DA. Drought as a natural hazard, concepts and definitions. University of Nebraska at Lincoln. E.W. Publications. 2000;



Evaluation of Meteorological Drought Situation in Larestan Region Using Drought Indicators

Syamak Pishbin*
Alireza Afsorde

Assistant Professor, Faculty Member, Islamic Azad University of Jahrom, Iran Author
Master Student of Agricultural Management, Islamic Azad University of Jahrom, Iran

Received: 09 May 2024

Accepted: 07 Aug 2024

Keywords: Drought,
Drought Indicators,
Meteorology, Larestan

Extended Abstract

Introduction: The purpose of this research is to investigate the meteorological drought situation by comparing the drought indicators and providing a solution to minimize the damage caused by it in Larestan city in Fars province in 2023.

Materials and Methods: The research method is descriptive-analytical with practical goals along with field operations. The population of this study was the geographical area of Larestan city, and the average rainfall and temperature were collected for a period of 14 years. In this research, using drought indicators, the relationship between them and the diagnosis of drought in the region was discussed. Standard Precipitation Index (SPI), Chinese Z Index (CZI), Z Number Index (ZSI) and Drought Identification Index (RDI) were calculated and compared with each other.

Results and Discussion: The research results confirmed mild to severe drought during this period. The values of SPI index equal to -1.32, RDI equal to -1.62, CZI equal to -1.21 and ZSI equal to -1.1 were obtained. In the above interval, ZSI showed the lowest sensitivity and RDI value showed the highest sensitivity in terms of drought reflection. The trends of SPI and RDI changes were very similar. According to different indicators, the frequency of drought was between 44.8 and 69% of the total number of years. The CZI and SPI indices were close to each other in each period of 3, 6, 11 and 14 years, and the ZSI index was higher than both in the same period. In terms of severity, mild droughts had a larger share and moderate and severe droughts had a smaller share. Compared to the years with minimum rainfall, the numerical value of RDI is lower than SPI, and in other words, it shows a negative value and greater drought intensity. With the increase in the amount of precipitation in mild to high wet years, the numerical value of RDI became higher than SPI, and it indicates the greater sensitivity of this index to environmental conditions, especially temperature.

Conclusion: According to the evaluation of the above indicators, it can be concluded that the drought occurred in the above region and the possibility of its continuation and increase in severity is possible due to the decrease in rainfall at the end of the studied years. Therefore, paying attention to the proper management of water consumption in agriculture and reducing the consequences of drought in the development of this region is necessary and requires planning and implementation of preventive measures and determining the pattern of correct water consumption in dealing with the phenomenon of drought and developing sustainable agriculture and preserving the environment. This importance requires the use of sufficient technical knowledge in predicting drought and the ability to deal with it in the coming years due to the occurrence of the trend of decreasing precipitation and increasing temperature in the region.

Corresponding author: Syamak Pishbin

Address: Assistant Professor, Faculty Member, Islamic Azad University of Jahrom, Iran-Responsible Author **Tel:** +989177095689

Email: Pishbin_info@yahoo.com

Citation: Pishbin S, Afsordeh A. Evaluation of Meteorological Drought Situation in Larestan Region Using Drought Indicators. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(6): 1-17



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



اولویت بندی عوامل ایجاد تنش های شغلی آتش نشانان شهر کرمانشاه با استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره

گروه محیط زیست، دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الکترونیک، تهران، ایران
گروه محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران
گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

میثم حیدری

سحر رضایان*

سهیل سبحان اردکانی

چکیده مبسوط

مقدمه: مشاغلی چون آتش نشانی دارای فراز و نشیب های خاص خود بوده که در طول زمان کاری به تنش هایی ختم می شود. این تحقیق با هدف بررسی ایجاد تنش های شغلی آتش نشانان شهر کرمانشاه با رویکرد تصمیم گیری چند معیاره صورت گرفته است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

مواد و روش ها: در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از رویکرد DELPHI-ANP-DEMATEL صورت گرفته است. جامعه آماری تحقیق برای پرسشنامه تعداد ۱۰ نفر از خبرگان سازمان آتش نشانی شهرستان کرمانشاه در حوزه مورد مطالعه را شامل شده است که پرسشنامه خبرگان در میان آنها پخش شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته معیارهای اصلی تحقیق شامل عوامل فردی، عوامل مدیریتی و شرایط محیط کار می باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

نتایج و بحث: بر اساس نتایج حاصله از مقایسات زوجی میان معیارها، معیار "عوامل مدیریتی" با وزن نرمال شده ۰/۴۹۲ در اولویت اول، معیار "شرایط محیط کار" با وزن نرمال شده ۰/۲۷۹ در اولویت دوم و معیار "عوامل فردی" با وزن نرمال شده ۰/۲۲۸ در اولویت آخر قرار دارد. همچنین بر اساس تکنیک دیمتل، معیار شرایط محیط کار از بیشترین تاثیرگذاری برخوردار است. در نهایت براساس محاسبات صورت گرفته و سوپر ماتریس حد در نرم افزار سوپردسیژن، مشخص گردید زیر معیار "فشار کاری و حجم کار بالا" با وزن نرمال شده ۰/۱۵۴۴ در اولویت اول، زیر معیار "تجهیزات نامناسب و ناکافی" با وزن نرمال شده ۰/۱۲۸۳ در اولویت دوم، زیر معیار "پایین بودن توانایی های فردی" با وزن نرمال شده ۰/۱۰۶۹ در اولویت سوم، و زیر معیار "بروز حوادث و صدمات فیزیکی برای فرد، همکاران و با افراد جامعه" با وزن نرمال شده ۰/۰۳۳۸ در اولویت آخر قرار دارد.

واژه های کلیدی: تنش شغلی، آتش نشانانی، تصمیم گیری چند معیاره

نتیجه گیری: قسمت اعظم تنش های شغلی و فشار کاری بالا برای آتش نشانان به دلیل حجم بالای کاری آنان بوده، این موارد با اتخاذ عوامل مدیریتی مناسب و توجه بیشتر به زمان های استراحت کارکنان می تواند تعدیل شود.

نویسنده مسئول: سحر رضایان

نشانی: گروه محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۳۲۵۶۵۹۷. پست الکترونیکی: s_rezaian@yahoo.com

استناد: حیدری میثم، رضایان سحر، سبحان اردکانی سهیل. اولویت بندی عوامل ایجاد تنش های شغلی آتش نشانان شهر کرمانشاه با استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست، ۱۴۰۳؛ (۶)۲: ۱۸-۲۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



ارگونومی وسایل، تجهیزات و ماشین‌آلات، حمل‌ونقل تجهیزات سنگین، انجام خدمت در شیفت ۲۴ ساعته، نبود تغذیه صحیح و متناسب با حرفه آتش‌نشانی در این دسته جای می‌گیرند (خادمی ۱۳۹۸). همچنین بروز تحولات شغلی نظیر تغییرات سازمانی، تغییر حقوق و دستمزد، ترفیعات شغلی، کاهش یا افزایش نیروی انسانی و دگرگونی‌های اجتماعی موضوعات تنش‌زایی هستند که می‌توانند بر فرد فشار آورده و او را دچار آشفتگی، نگرانی، تشویش و اضطراب سازند (محمدی پور و هدایت خواه ۱۴۰۱). بنابراین لازم است مدیران آتش‌نشانی شرایط را به گونه‌ای فراهم کنند که آتش‌نشانان بتوانند در سطح کیفیتی بالایی به ارائه خدمات بپردازند و کمترین میزان تنش را تجربه نمایند. چرا که عدم توجه به نیازهای آتش‌نشانان و عوامل بروز خطر و استرس است می‌تواند حادثه‌آفرین بوده و عملکرد سازمان را کاهش دهد (احمدی ۱۴۰۱). به عبارتی مدیرانی که بتوانند عوامل تنش‌زای مؤثر بر شرایط کاری کارکنان خود را شناسایی و درک نمایند، قادرند با استفاده از روش‌های علمی، سیاست‌هایی را در پیش گیرند که موجب بالا رفتن کیفیت و کمیت کار کارکنانشان شود و در نتیجه سازمان را در رسیدن به اهدافش یاری نمایند (شمس قهفرخی و همکاران ۱۴۰۰).

در همین خصوص تحقیقات فراوانی صورت گرفته است. پرندلو (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش استرس‌های شغلی آتش‌نشان‌های شهر تهران پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌داد افرادی که سابقه شغلی، تحصیلات و سن بالایی داشتند از استرس کمتری برخوردار بودند و عوامل هیجان‌مداری، اجتناب و مسئله‌مداری بر مقابله و کاهش استرس تأثیر معناداری داشتند. خالقی و لطیفی (۱۴۰۱) در پژوهشی ضمن بررسی نقش استرس شغلی و ضریب ایمنی بر روی مدیریت ایمنی در بین کارکنان آتش‌نشانی قزوین دریافته‌اند که استرس شغلی و ضریب ایمنی بر مدیریت ایمنی در بین کارکنان آتش‌نشانی قزوین تأثیر معناداری داشته است. گرزین و صادقی (۱۴۰۱) در تحقیقی با بررسی ارتباط بین فرهنگ ایمنی و استرس شغلی در آتش‌نشانان شاهرود دریافته‌اند که بین فرهنگ ایمنی با استرس شغلی آتش‌نشانان مرتبط است. اما بین فرهنگ ایمنی و استرس شغلی با جنسیت، سن، وضعیت تاهل، مدرک تحصیلی، سابقه و محل فعالیت آنان رابطه آماری معناداری وجود ندارد. سابقی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی مروری رابطه استرس شغلی و رضایت از زندگی کارکنان آتش‌نشانی پرداختند. نتایج مطالعات ایشان بر روی آتش‌نشانان نشان می‌داد که قرار گرفتن ایشان در معرض عوارض ناشی از استرس رانندگی و ترافیک، دود و گازهای سمی در محل‌های عملیات، صدای آژیر،

با ورود جهان به عصر صنعتی، ماهیت تهدیدات نیز دستخوش تغییرات اساسی شده است (اکبری و همکاران ۲۰۲۴). اگرچه برخی عوامل در تمام مشاغل مشترک هستند، اما شکی نیست که برخی از گروه‌های شغلی، منحصر به فرد هستند و آتش‌نشانی، یکی از نمونه‌های این مشاغل است (ایگبوانگو و همکاران ۲۰۲۱). از طرفی در حال حاضر آلودگی محیطی موجود به تدریج زمینه را برای استرس‌های عصبی و مشکلات روانی فراهم کند (زعیم‌دار و همکاران ۲۰۲۱). آتش‌نشانان به دلیل ماهیت شغلشان، در معرض محیط‌های خطرناک، شرایط اضطراری و ساعات کاری نامنظم قرار دارند و به همین لحاظ در زمینه سلامت جسمی و روانی خود با تنش‌ها و چالش‌های متعددی روبرو هستند (سان و همکاران ۲۰۲۰). ایشان از جمله افرادی هستند که در جامعه امروز علاوه بر تحمل فشارهای اقتصادی-سیاسی مجبور به رویارویی با مسائلی هستند که هر روز روح و جسم آنها را تحلیل برده و بیماری‌های متعددی را گریبان‌گیر آنها می‌کند. بدین ترتیب، خطرات جسمی و استرس‌های روان‌شناختی، بخشی از زندگی روزمره آتش‌نشانان می‌باشد. چرا که آتش‌نشانان، جزء اولین کسانی هستند که باید به انواع شرایط بحرانی پاسخ دهند. از طرفی مخاطرات ناشی از بلایای طبیعی و یا انسانی، در هر لحظه و در هر مکانی برای آتش‌نشانان وجود دارند و از آنجا که لازم است آنها در تمامی اوقات، در حالت آماده‌باش قرار داشته باشند، این امر نیز ممکن است به آنها صدمات جسمانی وارد نموده و علاوه بر آن باعث ایجاد برخی از مشکلات مرتبط با سلامت روان گردد (زرعت حرفه و همکاران ۱۴۰۰). همچنین قرار گرفتن در معرض عواملی نظیر تجربه کردن حوادث دردناک برای خود یا همکاران، مشاهده نمودن قربانیان حوادث گوناگون، نزدیکی با مرگ و نیز شرایط محیط‌کاری این شغل می‌تواند علاوه بر بروز مشکلات روان‌شناختی در آتش‌نشانان به بیماری‌های مختلفی از جمله اختلالات اسکلتی-عضلانی، اختلالات خواب، بیماری‌های قلبی-عروقی و خستگی کاری منجر گردد (ساوانی و همکاران ۲۰۱۸). در مجموع می‌توان گفت که آتش‌نشانان در طول شیفت‌کاری خود با اموری مواجه هستند که رویارویی با آنها برای مردم در اندازه اندک نیز بیماری‌زا است. اموری همچون، صدای زنگ حریق، استرس رانندگی و ترافیک، حوادث، استرس جوابگویی به بی‌سبب، استرس هنگام رسیدن به محل، دود و گازهای سمی، حرارت در محل آتش‌سوزی، تماس یا جذب مواد شیمیایی از طریق پوست، صدمات فیزیکی هنگام انجام وظیفه، پرتوهای یون‌ساز، ترس و دلهره انجام بهینه عملیات، حفظ جان خود و همکاران، عوارض ناشی از وقوع انفجار در صحنه حادثه،

۴۶۵ مورد آتش‌سوزی و هزار و ۳۳۸ مورد عملیات امداد و نجات در شهر کرمانشاه انجام داد. طی این عملیات‌ها، ۷۷۹ نفر از شهروندان توسط آتش‌نشانان نجات پیدا کردند، ۴۵۶ نفر مصدوم و متاسفانه ۴۲ نفر نیز فوت شدند. بنابراین می‌توان گفت کارکنان این مرکز همواره در معرض تنش‌ها و آسیب‌های مختلف، چه به لحاظ جسمی و چه به لحاظ روانی قرار دارند. از آنجایی که عملکرد بهینه هر سازمانی در گرو توجه به نیروی انسانی آن سازمان و برطرف نمودن مشکلات ایشان است. توجه به آتش‌نشانان به عنوان با ارزش‌ترین سرمایه سازمان آتش‌نشانی شهر کرمانشاه لازمه‌ی رضایت بیشتر و مرتفع شدن موانع خدمت‌رسانی ایشان می‌باشند. به همین هدف از ارائه این مقاله آن است که ضمن شناسایی عوامل تنش‌زای این حرفه، آنها را به لحاظ میزان اهمیت و ضرورت اولویت‌بندی نماید تا بتوان برنامه‌ریزی مناسبی برای مرتفع نمودن عوامل تنش‌زای آتش‌نشان صورت داد.

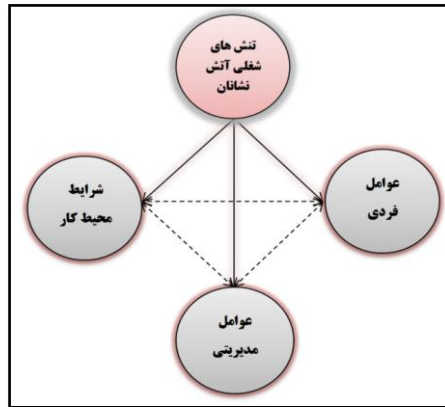
مواد و روش‌ها

نظر به اینکه هدف اصلی از انجام این پژوهش اولویت‌بندی عوامل ایجاد تنش‌های شغلی در آتش‌نشانان شهر کرمانشاه می‌باشد، می‌توان گفت پژوهش حاضر از نظر هدف در حیطه تحقیقات کاربردی می‌باشد. این تحقیق، از نظر نحوه گردآوری داده‌ها توصیفی - غیرآزمایشی است و در میان انواع روش‌های تحقیق توصیفی در زمره مطالعه موردی قرار می‌گیرد. همچنین در این مقاله تعداد ۱۰ نفر از خبرگان اداره آتش‌نشانی شهر کرمانشاه به عنوان نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر آن گردآوری اطلاعات در این پژوهش به دو روش کتابخانه‌ای و میدانی تقسیم می‌شود. بدین‌صورت که در خصوص جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای و جهت گردآوری اطلاعات برای پاسخگویی به سؤالات پژوهش از روش میدانی و ابزار پرسش‌نامه استفاده شده است و داده‌های حاصل با کمک روش دلفی غربال شده و با استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر مقایسات زوجی ANP و DEMATEL مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

همچنین مدل مفهومی این مطالعه برگرفته از مقاله موسوی پور و همکاران (۲۰۲۲) در شکل ۱ نمایش داده شده است که شامل سه معیار اصلی «عوامل فردی» با ۳ زیرمعیار، «عوامل مدیریتی» با ۴ زیرمعیار و «شرایط محیط کار» با ۴ زیرمعیار می‌باشند.

بلندگو و غیره بر میزان رضایت ایشان از این زندگی تأثیر منفی دارد. ابوالقاسمیان و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به ارزیابی عوامل استرس‌زای شغلی بر روی کارکنان سازمان با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند و مهم‌ترین عوامل استرس‌زای شغلی آتش‌نشانان را شناسایی و غربالگری کردند. طبق نتایج پژوهش ایشان، شرایط نامناسب حین اجرای عملیات در رتبه اول قرار داشت. ایگیوانگو و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقاتی در زمینه پیامدهای سلامت اجتماعی آتش‌نشانان در معرض استرس روانی دریافتند استرس‌های روانی - اجتماعی مرتبط با کار می‌تواند بر سلامت و رفاه افرادی که در خدمات آتش‌نشانی هستند تأثیر بگذارد و با تعدادی از پیامدهای مرتبط با سلامتی از جمله افسردگی، خودکشی، مشکلات سلامت روان، فرسودگی شغلی، اختلالات مصرف الکل، کیفیت خواب و پارامترهای فیزیولوژیکی و اختلالات جسمی مرتبط است. لویز و همکاران (۲۰۲۳) در ضمن مطالعاتی به منظور تعیین عوامل تنش‌زای شغلی آتش‌نشانان در کویت نتیجه گرفتند که مشاهده و تجربه وقایع آسیب‌زا در طول مأموریت‌ها و ترس از صدمه دیدن، مهم‌ترین عوامل استرس‌زا در میان آتش‌نشانان هستند. لو و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای در خصوص بررسی تأثیر استرس ادراک شده آتش‌نشانان بر فرسودگی شغلی دریافتند که استرس درک شده به طور قابل توجهی با فرسودگی شغلی مرتبط بوده و شفقت به خود و سبک مقابله منفی به عنوان واسطه در این رابطه عمل می‌کردند. اودس و هانگ (۲۰۲۳) در پژوهشی با سنجش ارتباط میان تنش شغلی و اختلالات خواب در میان آتش‌نشانان در کالیفرنای شمالی به این نتیجه دست یافتند که استرس شغلی به طور قابل توجهی بر سلامت خواب آتش‌نشانان تأثیرگذار است. خوش اخلاق و همکاران (۲۰۲۴) دریافتند استرس شغلی در آتش‌نشانان سبب اختلالات اسکلتی عضلانی می‌شود و افسردگی و فرسودگی شغلی در این بین نقش میانجی دارند.

ایران جزء ۱۰ کشور حادثه‌خیز دنیاست (حسن زاده و کشتروچکوسری ۱۴۰۱). که همین امر سبب گشته امروزه مسأله ایمنی شهری یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های متولیان اداره شهرها باشد که در گرو فعالیت موفق آتش‌نشانان می‌باشد. از این حیث آتش‌نشانان را پیام‌آوران امید و حیات می‌نامند. لذا رفع تنش‌های آتش‌نشانان و تقویت روحیه ایشان می‌تواند در ایجاد امنیت و آسایش روانی در مردم یک شهر بسیار تأثیرگذار باشد (امدادی و همکاران ۱۴۰۱). در این میان سازمان آتش‌نشانی شهرداری کرمانشاه با ۱۱ ایستگاه، ۲۹۰ نفر نیروی آتش‌نشان و ۴۶ دستگاه خودرو عملیاتی بصورت شبانه‌روزی فعال است. تنها در سال ۱۴۰۱، آتش‌نشانی کرمانشاه ۲ هزار و ۸۰۳ عملیات شامل هزار و



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق (موسوی پور و همکاران ۲۰۲۲)

عوامل مدیریتی و شرایط محیط کار بوده و هر کدام از این معیارها دارای ۴ زیر معیار بوده که در مجموع این پرسشنامه شامل ۱۲ زیرمعیار است.
۲- پرسشنامه طیف ۹ درجه ساعتی مقایسات زوجی (جدول ۱):

همچنین در این تحقیق از چند پرسشنامه استفاده می‌شود:

۱- دو پرسشنامه دلفی تا خبرگان در ترکیب شاخص‌ها به توافق کامل برسند. پرسشنامه نهایی دلفی دارای ۳ معیار عوامل فردی،

جدول ۱- پرسشنامه طیف ۹ درجه ساعتی مقایسات زوجی معیارهای پژوهش

معیار i	اولویت‌ها	معیار j
عوامل فردی	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹	عوامل مدیریتی
عوامل فردی	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹	شرایط محیط کار
عوامل مدیریتی	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹	شرایط محیط کار

(۰)، تأثیر خیلی کم (۱)، تأثیر کم (۲)، تأثیر زیاد (۳)، تأثیر خیلی زیاد (۴) و تأثیر خیلی خیلی زیاد (۵) می‌باشد.

۳- پرسشنامه تعیین روابط درونی دیمتل (جدول ۲). الگوی امتیازدهی در این پرسشنامه بر این اساس است که بدون تأثیر

جدول ۲- پرسشنامه تعیین روابط درونی

عوامل فردی	عوامل مدیریتی	شرایط محیط کار
عوامل فردی	.	.
عوامل مدیریتی	.	.
شرایط محیط کار	.	.

ستون، k را تشکیل می‌دهد. برای محاسبه ماتریس نرمال بر اساس رابطه ۲ عدد ثابت k در تک تک درایه‌های ماتریس M ضرب می‌شود.

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$N = K \times M \quad (2)$$

با پیش فرض روابط درونی میان معیارهای اصلی تحقیق و برای انعکاس ارتباطات متقابل میان معیارها از تکنیک دیمتل استفاده شده است. در این تکنیک به دلیل اینکه از دیدگاه چند کارشناس استفاده می‌شود، میانگین حسابی ساده نظرات به کار برده می‌شود و ماتریس ارتباط مستقیم (M) تشکیل می‌شود. سپس به منظور نرمال شدن ماتریس ارتباط مستقیم، ماتریس نرمال (N) تشکیل می‌شود. برای این کار ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه شده، بر اساس رابطه ۱ معکوس بزرگترین عدد سطر و

وزن‌های بدست آمده از انجام مقایسه‌های زوجی در ماتریسی به نام سوپرماتریس قرار گیرند، با ادغام وزن‌های بدست آمده از مقایسات زوجی و ماتریس (T) حاصل از محاسبات صورت گرفته در روش دیمتل سوپرماتریس اولیه حاصل می‌شود. بر این اساس سوپرماتریس، ماتریسی از روابط بین اجزای شبکه است که از بردارهای ویژه این روابط ادغام با ماتریس نهایی دیمتل به دست می‌آید. سوپرماتریس را می‌توان به بلوک‌های گوناگونی تقسیم‌بندی کرد. که هر بلوک نشان‌دهنده وزن بدست آمده از مقایسه زوجی سطرها (به عنوان مثال شاخص‌ها) با توجه به ستون‌ها (مثلاً گزینه‌ها یا شاخص‌ها) است. پس از تشکیل سوپرماتریس اولیه که سوپرماتریس ناموزون نام دارد، در صورت نیاز ستون‌های این ماتریس نرمال شده و سوپرماتریس وزن دهی شده یا نرمال بدست می‌آید. در نهایت سوپرماتریس نرمال به توان بی نهایت رسیده و سوپرماتریس حد تشکیل می‌شود که کلیه درایه‌ها را به یک عدد همگرا می‌نماید که این عدد به عنوان وزن زیرمعیارها در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس وزن نهایی عناصر (w) از رابطه زیر ۴ بدست می‌آید. این ماتریس، ماتریسی است که تمامی اعداد هر سطر آن با هم برابر و برابر وزن معیار آمده در همان سطر است.

$$W = \lim_{k \rightarrow \infty} w^k \quad (4)$$

کردند. از آنجا که هیچ زیرمعیاری در مرحله دوم حذف یا اضافه نشد و ترکیب معیارها و زیرمعیارها بی تغییر باقی ماند، اجماع نظری رخ داد و نتایج حاصل از مرحله دوم دلفی به عنوان معیارها و زیرمعیارهای نهایی برای محاسبات ANP و دیمتل در نظر گرفته شدند. در ادامه با توجه به هدف پژوهش نخست بر اساس معیارها و زیر معیارهای شناسائی شده به طراحی مدل مناسب تحلیل شبکه در نرم‌افزار سوپر دسیژن اقدام شده است. بر اساس این مدل نمودار فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای (ANP) به صورت شکل ۲ خواهد بود.

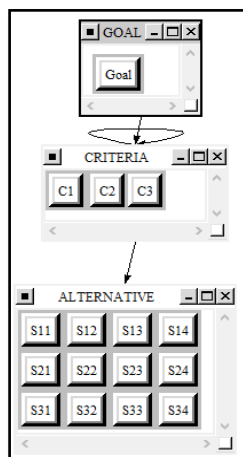
ماتریس حاصله از تکنیک فوق (ماتریس ارتباطات داخلی)، هم رابطه علی و معلولی بین عوامل را نشان می‌دهد و هم اثرپذیری و اثرگذاری متغیرها را نمایش می‌دهد. در ادامه به منظور تشخیص روابط میان معیارها، از ماتریس ارتباط کامل (T) بهره گرفته می‌شود. برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل معکوس می‌شود. در نهایت بر اساس رابطه ۳ ماتریس نرمال در ماتریس معکوس ضرب می‌شود.

$$T = N \times (I - N)^{-1} \quad (3)$$

در نهایت به منظور پی بردن به این مطلب که کدام یک از معیارها بالاترین تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و تعامل را با سایر معیارهای پژوهش دارند و همین‌طور کدام علی و کدام معلول هستند از الگوی روابط علی معیارهای اصلی بهره گرفته می‌شود که طبق آن جمع عناصر هر سطر (D) نشانگر میزان تأثیرگذاری آن معیار بر دیگر معیارهای مدل است. جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است. بردار افقی (D+R)، میزان تعامل (تأثیر و تأثر) عامل موردنظر در سیستم است. بردار عمودی (D-R)، قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. بطور کلی اگر D - R مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود. برای حل مسائل به روش ANP،

نتایج و بحث

پس از توزیع پرسشنامه نیمه ساختارمند دلفی ۱۰ درجه مرحله اول، امتیاز زیرمعیارها با محاسبه میانگین نظرات خبرگان برای هر زیرمعیار بدست آمد. اساس کار بدین‌صورت تعریف شد که در صورت پایین‌تر بودن میانگین نظرات خبرگان از ۷، زیرمعیار مربوطه حذف شود. ولی از آنجا که خبرگان با زیرمعیارهای مستخرج از مرور ادبیات موافق بودند و آنها را برای مطالعه موردی حال حاضر مناسب می‌دانستند، کلیه‌ی زیرمعیارها امتیازی بالاتر از ۷ دریافت کردند و برای مرحله‌ی بعدی باقی ماندند، در پاسخ به سؤال باز خبرگان زیرمعیار عدم آگاهی از مهارت‌های فنی آتش‌نشانی را به پرسش‌های پرسشنامه دلفی مرحله دوم اضافه



شکل ۲- نمودار ANP اولویت زیرمعیارها در نرم افزار سوپردسیژن

بردار ویژه در شکل ۳ نمایش داده شده است. بر اساس بردار ویژه به دست آمده، معیار "عوامل مدیریتی" با وزن نرمال شده ۰/۴۹۲ در اولویت اول قرار دارد. معیار "شرایط محیط کار" با وزن نرمال شده ۰/۲۷۹ در اولویت دوم قرار دارد و معیار "عوامل فردی" با وزن نرمال شده ۰/۲۲۸ در اولویت آخر قرار دارد.

برای انجام تحلیل نخست معیارهای اصلی بر اساس هدف به صورت زوجی مقایسه شدند. برای این منظور از نظر گروهی از خبرگان استفاده شده است و با استفاده از تکنیک میانگین هندسی و نرمال سازی مقادیر بدست آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. اعداد بدست آمده ضریب اهمیت هر یک از معیارهای اصلی را نشان می‌دهد. محاسبات انجام شده در جدول ۳ ارائه شده و

جدول ۳- تعیین اولویت معیارهای اصلی بر اساس هدف

عوامل فردی	عوامل مدیریتی	شرایط محیط کار	میانگین هندسی	بردار ویژه
عوامل فردی	۰/۵۴۷	۰/۶۹۳	۰/۷۲۳	۰/۲۲۸
عوامل مدیریتی	۱	۲/۰۷۹	۱/۵۶۱	۰/۴۹۲
شرایط محیط کار	۰/۴۸۱	۱	۰/۸۸۶	۰/۲۷۹

C1		0.22823
C2		0.49249
C3		0.27928

شکل ۳- خروجی نرم افزار سوپردسیژن بر اساس هدف

مقایسه قرار گرفته است. برای تعیین روابط درونی میان معیارها با بکارگیری روش دیمتل، ابتدا با محاسبه میانگین نظرات خبرگان، (جدول ۴) ماتریس ارتباط مستقیم پژوهش را نشان می‌دهد:

در گام بعدی نیز بر همین منوال، زیرمعیارهای مطالعه به صورت زوجی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این گام نیز مقایسه‌های زوجی در سه مرحله (تعداد معیارها) صورت گرفته است. در هر مرحله زیرمعیارهای مربوط به هر معیار اصلی به صورت زوجی مورد

جدول ۴- ماتریس ارتباط مستقیم (M)

M	عوامل فردی	عوامل مدیریتی	شرایط محیط کار
عوامل فردی	۰/۰۰۰	۲/۴۰۰	۲/۷۰۰
عوامل مدیریتی	۲/۳۰۰	۰/۰۰۰	۲/۸۰۰
شرایط محیط کار	۲/۶۰۰	۳/۲۰۰	۰/۰۰۰

بر اساس جدول ۴ بزرگترین حاصل جمع ۵/۸۰۰ (مجموع سطر سوم) است، در ادامه تمامی مقادیر جدول بر معکوس این عدد ضرب می‌شود تا ماتریس نرمال (N) شود. جدول ۵ ماتریس نرمال پژوهش را نشان می‌دهد.

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \frac{1}{5.800} = 0.172 \quad (5)$$

$$N = 0.172 \times M \quad (6)$$

جدول ۵- ماتریس نرمال (N)

شرایط محیط کار	عوامل مدیریتی	عوامل فردی	N
۰/۴۶۶	۰/۴۱۴	۰/۰۰۰	عوامل فردی
۰/۴۸۳	۰/۰۰۰	۰/۳۹۷	عوامل مدیریتی
۰/۰۰۰	۰/۵۵۲	۰/۴۴۸	شرایط محیط کار

جدول ۶ ماتریس ارتباط کامل پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ماتریس ارتباط کامل (T)

شرایط محیط کار	عوامل مدیریتی	عوامل فردی	T
۳/۹۲۵	۳/۹۵۷	۳/۳۲۹	عوامل فردی
۳/۹۳۸	۳/۶۶۹	۳/۶۱۷	عوامل مدیریتی
۳/۹۳۲	۴/۳۵۰	۳/۹۳۶	شرایط محیط کار

تأثیرپذیری برخوردار است. معیار عوامل فردی و شرایط محیط کار متغیر علی و عوامل مدیریتی معلول هستند.

از الگوی روابط علی معیارهای اصلی مطابق با جدول ۷ استفاده می‌گردد، بر این اساس معیار شرایط محیط کار از بیشترین تأثیرگذاری و تعامل و نیز معیار عوامل مدیریتی از بیشترین میزان

جدول ۷- الگوی روابط علی معیارهای اصلی

D-R	D+R	R	D	
علی و معلولی	تعامل	تأثیرپذیری	تأثیرگذاری	عوامل فردی
۰,۳۳۰	۲۲,۰۹۲	۱۰,۸۸۱	۱۱,۲۱۱	عوامل مدیریتی
-۰,۷۵۲	۲۳,۱۹۹	۱۱,۹۷۶	۱۱,۲۲۳	شرایط محیط کار
۰,۴۲۳	۲۴,۰۱۳	۱۱,۷۹۵	۱۲,۲۱۸	

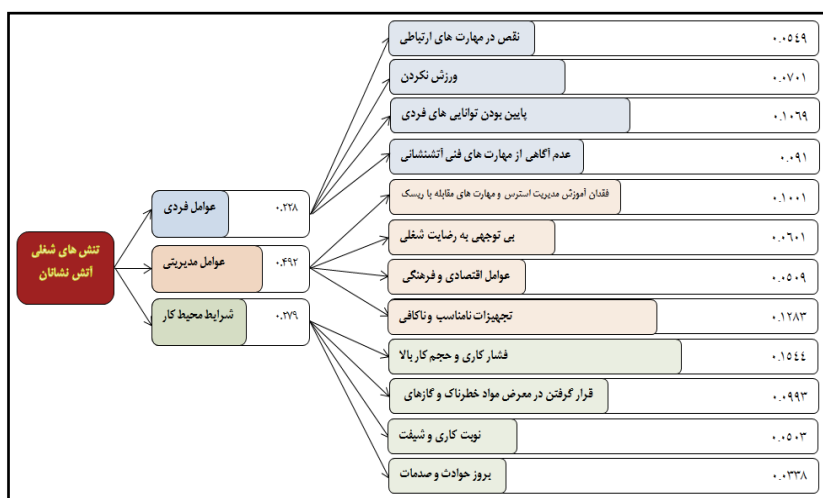
و از روی آن ماتریس موزون و حد محاسبه گردد. سپس با استفاده از نتایج ماتریس حد و بر اساس جدول ۸ اولویت‌بندی و وزن نهایی زیرمعیارها محاسبه گردید.

در ادامه با ادغام نتایج به دست آمده از وزن نسبی معیارها و زیرمعیارهای هر معیار و ماتریس T در ANP-DEMATEL و وارد نمودن این اعداد در نرم افزار سوپر دسیژن، ماتریس ناموزون

جدول ۸- اولویت نهائی زیرمعیارها

رتبه نهایی	وزن نهایی	نماد	زیرمعیار	معیار	معیار
زیرمعیار	زیرمعیار	زیرمعیار			
۹	۰/۰۵۴۹	S11	نقص در مهارت‌های ارتباطی	C1	عوامل فردی
۷	۰/۰۷۰۱	S12	ورزش نکردن		
۳	۰/۱۰۶۹	S13	پایین بودن توانایی‌های فردی		
۶	۰/۰۹۱	S14	عدم آگاهی از مهارت‌های فنی آتش‌نشانی		
۴	۰/۱۰۰۱	S21	فقدان آموزش مدیریت استرس و مهارت‌های مقابله با ریسک‌های موجود	C2	عوامل مدیریتی
۸	۰/۰۶۰۱	S22	بی توجهی به رضایت شغلی کارکنان		
۱۰	۰/۰۵۰۹	S23	عوامل اقتصادی و فرهنگی سازمان		
۲	۰/۱۲۸۳	S24	تجهیزات نامناسب و ناکافی		
۱	۰/۱۵۴۴	S31	فشار کاری و حجم کار بالا	C3	شرایط محیط کار
۵	۰/۰۹۹۳	S32	قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک و گازهای سمی		
۱۱	۰/۰۵۰۳	S33	نوبت کاری و شیفت‌های طولانی		
۱۲	۰/۰۳۳۸	S34	بروز حوادث و صدمات فیزیکی برای فرد، همکاران و یا افراد جامعه		

شکل ۴ اولویت نهائی معیارها و زیرمعیارهای تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۴- اولویت نهائی معیارها و زیرمعیارهای تحقیق

نتیجه‌گیری

بسیاری از مشکلات و عواملی که تنش‌های شغلی آتش‌نشانان را تشدید می‌کند به بی‌توجهی مدیران به مسائلی همچون شرایط رفاهی و اقتصادی کارکنان و نیز عدم پشتیبانی در زمینه‌های آموزشی در کنار فراهم نکردن تجهیزات ایمنی مورد نیاز بر می‌گردد که در نهایت عدم رضایت کارکنان را در پی خواهد داشت

این پژوهش با هدف ارزیابی عوامل ایجاد تنش‌های شغلی آتش‌نشانان شهر کرمانشاه به عنوان مطالعه موردی صورت گرفته است. در زمینه بحث در مورد نتایج بدست آمده، معیار "عوامل مدیریتی" در اولویت اول میان معیارها قرار داشته و بیشترین میزان تاثیرپذیری را داراست. دلیل این امر نیز آن است که

کردند، با این تفاوت که آنان برای تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده خود از مدل معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار AMOS بهره گرفتند. لوپز و همکاران (۲۰۲۳)، همانند تحقیق حاضر قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک و گازهای سمی و بروز حوادث و صدمات فیزیکی برای فرد، همکاران و یا افراد جامعه را از مهم‌ترین عوامل استرس‌زا در میان آتش‌نشانان اعلام کردند. لو و همکاران (۲۰۲۳) همانند تحقیق حاضر دریافتند بی‌توجهی به رضایت شغلی و فشار کاری و حجم کاری بالا از عوامل تنش‌زای شغلی می‌باشد.

براساس نتایج تحقیق مشخص گردید، عوامل مدیریتی در اولویت اول میان معیارها قرار دارد و بیشترین تأثیرپذیری را از سایر معیارها دارا می‌باشد. لذا به مسئولین آتش‌نشانی کرمانشاه توصیه گردید ضمن توجه بیشتر به ایجاد محیط کاری کم‌تنش برای آتش‌نشانان، برنامه‌ریزی‌های مناسبی در جهت رشد آگاهی کارکنان خود صورت دهند و با بررسی سناریوهای تنش‌زای مختلف، آموزش‌های لازم برای هر یک از موقعیت‌های تنش‌زا به آتش‌نشانان داده شود. همچنین مدیران سازمان‌های آتش‌نشانی باید تلاش کنند زمینه‌های روانی و مادی لازم برای رضایت شغلی کارکنان خود را فراهم نمایند. این مهم می‌تواند با تخصیص حقوق و مزایای متناسب با شغل به کارکنان روی دهد. ضمن اینکه به جز مشوق‌های مالی، لازم است از نظر روانی نیز کارکنان را مورد تشویق قرار گیرند. همچنین در برنامه‌های مدیریتی باید توجه ویژه‌ای به تأمین تجهیزات فنی و ایمنی مورد نیاز کارکنان، صورت گیرد و در این روند رفاه کارکنان و تأمین راحتی ارگونومی تجهیزات مورد توجه قرار گیرد. همچنین بر حسب نتایج حاصل مشخص گردید شرایط محیط کار از بیشترین تأثیرگذاری و تعامل نسبت به سایر معیارها برخوردار است. بر همین اساس از آنجایی که شرایط محیطی مشاغل نوبت کاری همچون آتش‌نشانی بطور مستقیم و غیر مستقیم در بازدهی ذهنی و جسمی افراد اثر گذاشته و موجب بروز اشتباهات متعددی در جریان تصمیم‌گیری‌های آنی می‌گردد، مواجهه با شرایط سخت محیطی همچون گرما، دود و غیره در جریان عملیات امداد و نجات اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین به مسئولین آتش‌نشانی کرمانشاه توصیه می‌گردد با اجرای مانورهای شبیه‌سازی شده تلاش نمایند توانایی کارکنان خود در مقابله با چنین شرایطی را فراهم آورده و موجب شوند در مواجهه با این شرایط بهترین واکنش و عکس‌العمل را از خود نشان دهند و بدین ترتیب کمتر تحت تأثیر عوارضی همچون استرس ناشی از شرایط محیط کار قرار گیرند. ضمن آنکه برای بهبود شرایط

و بر سلامت روانی و ایجاد تنش در ایشان تأثیر بسزایی دارد. از طرفی معیار شرایط محیط کار از بیشترین تأثیرگذاری برخوردار است. دلیل این امر نیز آن است که علیرغم تمام توانایی‌هایی که افراد شاغل در حرفه آتش‌نشانی دارا می‌باشند، اگر محیط کاری امن و فاقد ریسک که با توانایی‌های ایشان همخوانی داشته باشد را تجربه نکنند، باز هم تحت تأثیر شرایط آن محیط ممکن است تنش و استرس را تجربه نمایند. به عبارتی می‌توان گفت جو و شرایط حاکم بر محیط کار سبب بروز واکنش‌های متفاوتی در مواجهه با تنش‌های شغلی می‌گردد. در نهایت زیر معیار "فشار کاری و حجم کار بالا" در اولویت اول میان زیرمعیارهاست. واضح است که کارکنان در شرایط سخت و خستگی ناشی از کار زیاد و استراحت کم، بازدهی کمتر و اشتباهات شغلی بیشتری را تجربه خواهند نمود. ضمن آنکه تمرکز افراد در اثر حجم کار بالا مختل می‌گردد و همین مسأله تنش‌های شغلی را گسترش خواهد داد. در مقایسه با تحقیقات پیشین، سابقی و همکاران (۱۴۰۲) همانند تحقیق حاضر عدم توجه به رضایت شغلی، قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک و گازهای سمی و بروز حوادث و صدمات فیزیکی برای فرد، همکاران و یا افراد جامعه را از مهم‌ترین عوامل استرس‌زا در میان آتش‌نشانان اعلام کردند. ابوالقاسمیان و همکاران (۱۴۰۲) همانند تحقیق حاضر از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و از مقایسه زوجی برای اولویت‌بندی عوامل استرس‌زای شغلی بهره گرفتند. با این تفاوت که روابط درونی میان معیارهای مؤثر را در نظر نگرفتند و تنها از AHP برای اولویت‌بندی استفاده کردند. همچنین همانند تحقیق حاضر قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک و گازهای سمی را به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تنش شغلی معرفی کردند. پرندهلو (۱۴۰۱) متفاوت با تحقیق حاضر از آزمون رگرسیون برای بررسی و تحلیل داده‌های خود بهره گرفتند و به عنوان عوامل مؤثر بر استرس و تنش شغلی عوامل دموگرافیک و جمعیت شناختی چون سن، سابقه شغلی و تحصیلات را مورد بررسی قرار دادند. خالقی و لطیفی (۱۴۰۱) متفاوت با تحقیق حاضر از مدل معادلات ساختاری برای بررسی و تحلیل داده‌های خود بهره گرفتند. گرزین و صادقی (۱۴۰۱) همانند تحقیق حاضر دریافتند عدم آگاهی از مهارت‌های فنی آتش‌نشانی و فقدان آموزش مدیریت استرس و مهارت‌های مقابله با ریسک‌های موجود از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای شغلی در میان آتش‌نشانان اعلام کردند. خوش اخلاق و همکاران (۲۰۲۴) همانند تحقیق حاضر اختلال اسکلتی عضلانی و توانایی فردی را یکی از عوامل تنش‌های شغلی آتش‌نشانان معرفی

نظر گرفت. در کنار تمام این موارد لازم است در تقسیم وظایف کاری به توانایی‌های فردی و تناسب کار با آن توجه گردد تا در جریان انجام وظایف، فشار کمتری به کارکنان وارد گردد. در نهایت باید گفت در این مطالعه کوشش شده است تا تمامی معیارها و شاخص‌های مرتبط با تنش شغلی آتش‌نشانان مورد تحلیل قرار گیرد. اما از آنجا که مطالعات میدانی بسیار اندکی در مجامع دانشگاهی به ویژه داخلی در زمینه عوامل مؤثر بر تنش شغلی در میان آتش‌نشانان صورت گرفته است، لذا پژوهشگران آتی می‌توانند با افزایش طیف مطالعات خود به بهبود مقیاس طراحی شده از طریق شناسایی و تعدیل گزینه‌ها و عامل‌ها اقدام نمایند. ضمن آنکه برای رتبه‌بندی معیارها در این مطالعه از تکنیک ANP استفاده شده است و در پژوهش‌های آینده، استفاده از آزمون فریدمن یا ANP فازی برای رتبه‌بندی معیارها و مقایسه نتایج با یافته‌های این تحقیق پیشنهاد می‌شود.

محیط کار برای کارکنان لازم و ضروری است که لباس و تجهیزات حفاظتی مناسب برای آتش‌نشان تهیه شود. علاوه بر موارد ذکر شده، بر اساس نتایج حاصل از پژوهش صورت گرفته مشخص گردید که فشار کاری و حجم کار بالا در اولویت نخست زیرمعیارها قرار دارد. بر همین اساس به مسئولین آتش‌نشانی کرمانشاه توصیه می‌گردد از آنجا که شغل آتش‌نشانی از مشاغل است که همانند نیروهای انتظامی و پلیس، مراکز درمانی و مراقبتی و بعضی از صنایع شیمیایی و تولیدی لزوم آماده باش ۲۴ ساعته در میان نیروی خود دارد، به ساعت بیولوژیکی بدن نیروهای آتش‌نشانی توجه نموده و در صورت بروز علائمی چون کم‌خوابی و نیاز به استراحت، این اجازه به نیروهای آتش‌نشانی واحدهای خود داده شود. برای ایجاد توانایی برای این مهم بهتر است مصوب شود نیروهای بیشتری جذب سازمان آتش‌نشانی شوند تا بتوان برای نیروها مرخصی‌های استحقاقی بیشتری در

References

1. Abolghasmi M, Sazgari S, Dawoodi H. Evaluation of occupational stressors on employees of the organization using multi-criteria decision making. *Modern Management Engineering*. 2023; 9 (1) [In Persian]. doi: 10.30495/jmemiau.2023.705222.
2. Ahmadi A. Investigation of occupational stress and its relationship with the quality of life of firemen of Tehran Fire Organization. the fifth international conference and exhibition of firefighting and urban safety. 2022; [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1518585>.
3. Akbari H, Taghavi L, Eshagh Hossaini SK, Gholami-Fesharaki M, Mirzahosseini SA. Evaluation of blood parameters changes of mice exposed to long-term Wi-Fi waves as a major environmental pollutants. *Anthropogenic Pollution*. 2024 Feb 5. Asgharpour M J. Multi-Criteria Decision Making. 13th edition. Tehran University Publications; 2022. doi: <https://dx.doi.org/10.57647/j.jap.2024.080> 1.04
4. Emdadi M, Yeganeh A A, Taghizadeh H. Investigation of the effect of fire stations on the security and mental comfort of citizens. *Quarterly Journal of Modern Research Approaches in Management and Accounting*. 2022; 6(86): 1136-1144. [In Persian]. Available at: <https://majournal.ir/index.php/ma/article/view/1739>.
5. Gorzin A R, Sadeghi M. The relationship between safety culture and job stress in firefighters (Case study: Shahroud Fire Organization). the first crisis management event of Iran Qavi 1401. 2021; [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1758635>.
6. Hassanzadeh F, Keshthrochekosari M. Investigation of factors affecting the performance of firefighting in crisis management. *Quarterly Journal of New Research Approaches in Management and Accounting*. 2022; 6 (87): 1648-1656. [In Persian]. Available at: <https://majournal.ir/index.php/ma/article/view/1817>.
7. Igboanugo S, Bigelow PL, Mielke JG. Health outcomes of psychosocial stress within firefighters: A systematic review of the research landscape. *Journal of occupational health*. 2021;63(1):e12219. doi: 10.1002/1348-9585.12219.
8. Khademi M. The role of stress on the mental health of firefighters and how to deal with it. *Quarterly Journal of Psychological Studies and Educational Sciences*. 2018; 1(5) [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1896738>.
9. Khaleghi J, Latifi T. Investigating the role of job stress and safety factor on safety

- management among Qazvin fire department employees. *New Research Approaches in Management and Accounting*. 2022; 6 (21):1073-1065. [In Persian]. Available at: <https://majournal.ir/index.php/ma/article/view/1507>.
10. Khoshakhlagh AH, Al Sulaie S, Mirzahosseinejad M, Yazdanirad S, Orr RM, Laal F, Bamel U. Occupational stress and musculoskeletal disorders in firefighters: the mediating effect of depression and job burnout. *Scientific Reports*. 2024 Feb 26;14(1):4649. doi: 10.1038/s41598-024-55468-w.
 11. Lopez N, Kasap S, Toma T. Determination of occupational stress factors of firefighters in Kuwait. In *European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Rome, Italy, July. 2022; available at: <https://ieomsociety.org/proceedings/2022rome/137>.
 12. Lv, G, Li J, Xu Q, Zhang H, Wu W, Fan X, ... & Liu H. The influence of firefighters' perceived stress on job burnout: a moderated mediation model. *Current Psychology*. 2023; 1-11. doi: <https://doi.org/10.1007/s12144-023-05069-z>.
 13. Mohammadipour A, Hedayatkah H. Investigation and analysis of stress in work and occupational environments. 9th international conference of knowledge and technology of educational sciences, social studies and psychology of Iran. 2021; [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1637506>.
 14. Mousavipour SS, Sheikhbardsiri H, Golitaleb M, Farahi-Ashtiani I, Yousefi K, Sahebi A. Job stress among Iranian firefighters: a systematic review. *Disaster and Emergency Medicine Journal*. 2022;7(4):239-44. doi: 10.5603/DEMJ.a2022.0027.
 15. Odes R, Hong O. Job Stress and Sleep Disturbances Among Career Firefighters in Northern California. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2023; 65(8):706-10. doi: 10.1097/JOM.0000000000002901.
 16. Prandello A. Identification of the effective factors on reducing the occupational stress of firemen or the case study fire department of Tehran. 5th international conference and exhibition of firefighting and urban safety. 2022; [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1518634>.
 17. Sabeghi Y, Hosseinzadenejad O, Mirzadi H, Kheradmand Kuran Türkiye A. Review of the relationship between job stress and life satisfaction of firemen. 9th international conference on modern studies of civil engineering, architecture, urban planning and environment in the 21st century. 2022; [In Persian]. Available at: <https://civilica.com/doc/1753179>.
 18. Sawhney G, Jennings KS, Britt TW, Sliter MT. Occupational stress and mental health symptoms: Examining the moderating effect of work recovery strategies in firefighters. *Journal of occupational health psychology*. 2018;23(3):443. doi:10.1037/ocp0000091.
 19. Shams Ghafarakhi M, Ghasemi, M, Shams Ghafarkhi F. The relationship between the physical conditions of the work environment and work pressure with job satisfaction. *Teb Kar Journal*. 2021; 13(2): 40-51. [In Persian]. Available at: <https://www.sid.ir/paper/984903/fa>.
 20. Sun X, Li X, Huang J, An Y. Prevalence and predictors of PTSD, depression and posttraumatic growth among Chinese firefighters. *Archives of Psychiatric Nursing*. 2020;34(1):14-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnu.2019.12.007>.
 21. Zaeimdar M, Khalilnezhad Sarab F, Rafati M. Investigation of the relation between visual pollution and citizenry health in the city of Tehran (case study: Municipality districts No. 1 & 12 of Tehran). *Anthropogenic Pollution*. 2019 Feb 1;3(1):1-0. doi: 10.22034/ap.2019.582192.1035.
 22. Zerat herfeh F, Shamsi Nejad M, Rahmati A. Psychological consequences of firemen's job conditions: a qualitative study. *Specialized Scientific Quarterly Journal of Medicine*. 2021; 13 (3):77-91 [In Persian]. Available at: <https://sid.ir/paper/992417/fa>.



Prioritization of the factors causing job stress among Kermanshah firefighters using multi-criteria decision-making

Maisham Heydari

MSc in Safety, Health and Environmental Engineering, Islamic Azad University, Electronics Department, Tehran.

Sahar Rezaian *

Department of Environmental Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood -Iran

Soheil Sobhanardakani

Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Extended Abstract

Received: 09 Mar 2024

Accepted: 28 Aug 2024

Keywords: Job Stress, Firefighters, Multi-Criteria Decision Making

Introduction: Jobs such as firefighting have their own ups and downs, which end in tensions during the working time. This research was conducted with the aim of investigating the creation of job tensions among Kermanshah firefighters with a multi-criteria decision-making approach.

Materials and Methods: In this research, data analysis has been done using DELPHI-ANP-DEMATEL approach. The statistical population of the research for the questionnaire included 10 experts from Kermanshah fire department in the studied area, and the questionnaire was distributed among them. Based on the studies conducted, the main research criteria include individual factors, managerial factors and working environment conditions.

Results and Discussion:

Based on the results of paired comparisons between the criteria, the criterion of "management factors" with a normalized weight of 0.492 is the first priority, the criterion of "working environment conditions" with a normalized weight of 0.279 is the second priority and the criterion of "individual factors" with a normalized weight of 0.228 The last priority is placed. Also, based on Dimetal's technique, the standard of working environment has the most impact. Finally, based on the calculations and the limit supermatrix in the Superdesign software, it was determined that the sub-criterion of "high workload and workload" with a normalized weight of 0.1544 was the first priority, and the sub-criterion of "inappropriate and insufficient equipment" with a normalized weight of 0.1283 in the second priority, the sub-criterion "low personal abilities" with a normalized weight of 0.1069 in the third priority and sub-criterion "Incidence of accidents and physical injuries to individuals, colleagues or community members" with a normalized weight of 0.0338 is the last priority.

Conclusion: Most of the job tensions and high work pressure for firefighters are due to their high workload, these cases can be adjusted by adopting appropriate management factors and paying more attention to employees' rest times.

Corresponding author: Sahar Rezaian

Address: Department of Environmental Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood -Iran **Tel:** +989123256597

Email: s_rezaian@yahoo.com

Citation: Heydari M, Rezaian S, SobhanArdakani S. Prioritization of the factors causing job stress among Kermanshah firefighters using multi-criteria decision-making. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(6): 18-29.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



مکان یابی مناطق مستعد به آتش سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سامانه

اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: مراتع منطقه بن رود در استان فارس)

استادیار، گروه منابع طبیعی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران

سعید محتشم نیا*

چکیده مبسوط

مقدمه: آتش سوزی یکی از عوامل مهم تخریب اکوسیستم های طبیعی و در زمره بلایای طبیعی و از بحران های زیست محیطی تلقی می شود که آثار زیان بار مستقیم و غیرمستقیمی بر اکوسیستم های طبیعی و جوامع انسانی دارد. با توجه به تعدد و تکرار آتش سوزی ها در عرصه های طبیعی و تاثیر آن بر خاک، فون و فلور، تهیه نقشه پهنه بندی مناطق حساس به آتش سوزی، می تواند تکرار آتش سوزی ها را کاهش داده و خسارات فاجعه بار آن را کاهش دهد.

مواد و روش ها: با توجه به دخالت عوامل متعدد در ایجاد و گسترش آتش سوزی، تلفیق GIS و AHP به عنوان ابزاری کارآمد در جهت شناسایی و وزن دهی به مهم ترین عوامل موثر استفاده شود. از آنجایی که آتش سوزی پدیده غالب مراتع منطقه بن رود استان فارس می باشد تلاش گردید با بهره گیری از پستی و بلندی، پوشش گیاهی و فاصله از مکان های جمعیتی اقدام به مکان یابی مناطق مستعد به آتش شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد کاربری اراضی با ۳۸٪، فاصله از اراضی زراعی با ۲۳٪ و فاصله از جاده با ۱۵٪ در اولویت سوم اهمیت قرار دارد. ۳۴٪ مناطق دارای پتانسیل آتش سوزی بسیار کم و ۲۵٪ منطقه از پتانسیل زیاد آتش سوزی برخوردار است که عمدتاً در شمال منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

نتیجه گیری: براساس نتایج حاصله از بررسی معیارهای موثر در بروز و گسترش آتش سوزی در مراتع منطقه نتیجه گیری می شود نوع کاربری و نحوه استفاده از منطقه تحت مطالعه بیشترین سهم داشته است. قطعاً تغییر کاربری اکوسیستم های طبیعی به کاربری های غیر طبیعی مانند توسعه مزارع، صنایع و شهرنشینی و همچنین تردد گردشگران بومی و غیر بومی موجب بالا رفتن خطر حریق در منطقه خواهد شد. رفتار غیر علمی کشاورزان در آتش زدن پس چر زارعی بخصوص در ایام گرم سال به همراه وزش باد می تواند خطر بزرگی برای اکوسیستم های طبیعی منطقه باشد که در تحقیق حاضر دومین معیار موثر در بروز آتش سوزی معرفی شده است. بنابراین ضمن فرهنگ سازی و گسترش برنامه های ترویجی در بخش کشاورزی ضرورت دارد در برنامه های دولت بودجه مصوبی در راستای آموزش نیروهای بومی، خرید وسایل مناسب اطفای حریق، پایش جنگل ها با سامانه های پهبادی و در اختیار گذاشتن بالگرد در ایام خشک سال تصویب گردد تا ذخایر گیاهی و جانوری کشور که امانت در اختیار نسل حاضر است به نسل بعد نیز منتقل گردد و چنین پدیده مخرب به خصوص در ایام خشکسالی تکرار نگردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

واژه های کلیدی: گیاه پالائی، فلزات سنگین، هیدروکربن نفتی، خاک

نویسنده مسئول: سعید محتشم نیا

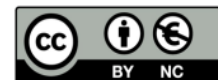
نشانی: فارس، ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه منابع طبیعی | تلفن: ۰۹۱۷۱۱۳۲۲۳۴ | پست الکترونیکی: Sa.mohtashamia@iau.ac.ir

استاد: محتشم نیا سعید. مکان یابی مناطق مستعد به آتش سوزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط

زیست. ۱۴۰۳؛ ۶(۲): ۴۲-۳۰.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> در

فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیر تجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

کوهستانی سیراچال دریافتند آتش سوزی اثر معنی داری بر روی درصد تاج پوشش و تولید کل گونه های مرتعی نداشته اما روی تراکم کل گونه های مرتعی اثر مثبت و معنی دار دارد. پولات و همکاران (۱۳۹۹) در پهنه بندی خطر آتش سوزی مراتع استان ایلام نشان دادند تغییر فاصله از مراکز جمعیتی تأثیرگذارترین و ارتفاع از سطح دریا کم اهمیت ترین متغیر در وقوع آتش سوزی جنگل های منطقه مورد بررسی بوده است. دلیر و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی ارتباط بین عوامل اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی بر بروز آتش سوزی در جنگل های ایران نشان دادند سهم متغیرهای اقتصادی و اجتماعی بیش از متغیرهای زیست محیطی بوده است. به طوری که افزایش جمعیت و افزایش دسترسی (جاده) موجب افزایش زمینه وقوع آتش سوزی شده که در خصوص مدیریت مقابله با آتش سوزی تامین تجهیزات، مدیریت نیروی انسانی است، برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق، اعمال جریمه، پایش اکوسیستم های طبیعی به صورت مداوم و مستمر، حفظ خونسردی و حضور به موقع مأموران در محل به عنوان راهبردهای حین آتش سوزی توصیه می شود. جوانمیری و همکاران (۱۴۰۰) در جنگل های زاگرس گیلان غرب نشان دادند در اکوسیستم های طبیعی منطقه از نظر فراوانی آتش سوزی میزان حریق در جنگل ۱۱ درصد، در مراتع غیر مشجر ۴۷/۸ درصد، مراتع مشجر ۲۶/۵ درصد و جنگل و مرتع آمیخته ۱۴/۷ درصد در سال ۹۸ و در سال ۹۹ میزان حریق در جنگل ۵۰ درصد، در مراتع غیر مشجر ۳۸ درصد، مراتع مشجر ۲ درصد و جنگل و مرتع آمیخته ۱۰ درصد بوده که با توجه به شواهد موجود، به ترتیب ۷۲ درصد و ۵۰ درصد از علل آتش سوزی در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تفرج و اختلاف و نزاع بوده است. غلامرضایی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی ارتباط گسترده های آتش سوزی با ویژگی های فیزیوگرافی در ناحیه رویشی زاگرس مرکزی در استان کرمانشاه نشان دادند بیشترین فراوانی آتش سوزی در جهت شرقی در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشترین رخداد آتش سوزی ویژه (نسبت مساحت آتش سوزی به مساحت طبقه) بر اساس عامل شیب، طبقه بیش از ۸۰ درصد در جنگل و طبقه ۳۰-۱۵ درصد در مرتع در برداشته است. رضایی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه تاثیر آتش سوزی بر ساختار پوشش گیاهی و بانک بذر خاک در منطقه کنگاور نشان دادند در اثر آتش سوزی ترکیب، تراکم و تنوع گونه ای و در نهایت فرم رویشی گونه های موجود در منطقه تغییر پیدا کرده و شاهد افزایش گونه های یکساله و کاهش گونه های دوساله و چندساله در منطقه مورد مطالعه بوده و تا حدی شرایط رویشگاه هم از نظر فضای لازم جهت استقرار و حضور گونه های جدید فراهم گردیده و موجب تغییر در ترکیب رویشی منطقه گردیده است.

آتش نتیجه یک واکنش شیمیایی میان اکسیژن و نوعی سوخت و عامل شروع کننده آتش است که وقوع آن در عرصه های جنگلی و مرتعی به صورت عمدی یا سهوی منجر به بروز خسارات جبران ناپذیری می شود. آتش سوزی هر ساله در سطح قابل ملاحظه ای از مراتع کشور رخ داده و تأثیرات ویژه ای بر پوشش گیاهی، خاک، موجودات، حشرات، میکروارگانیسم ها دارد. سالانه صدها مورد آتش سوزی در جنگل ها و مراتع کشور رخ می دهد که شناخت عوامل موثر بر وقوع آن و شناسایی کانون های بحران و نواحی مستعد آتش سوزی مهم ترین گام در کاهش خسارات ناشی از آن است (رضایی و همکاران ۱۴۰۱). از سوی دیگر آتش سوزی کنترل شده یک ابزار مدیریتی در راستای حذف و جایگزینی گونه های مهاجم و نامرغوب مرتعی با گونه های خوشخوراک و علفی می باشد (افتخاری ۲۰۱۸). آتش سوزی با تغییر در تنوع ژنتیکی و تغییر در جمعیت فون و فلور منطقه می تواند در توالی اکولوژیکی نیز تأثیرگذار باشد که می توان از آن به عنوان یک خطر اکولوژیکی و اقتصادی یاد کرد (سیاه منصور و کمالی ۱۴۰۱). کنترل آتش سوزی عملاً غیرممکن است، اما این امکان وجود دارد که با پهنه بندی نقشه مناطق حساس به آتش سوزی تکرار آتش سوزی های جنگلی و مرتعی را کاهش داده و خسارات فاجعه بار آن را به حداقل رساند. خشکسالی های اخیر، عدم وجود برنامه ریزی مناسب، فقدان آگاهی و ناکارآمدی جامعه در برخورد با سوانح طبیعی، عوامل انسانی، فاصله از جاده، مناطق مسکونی، پستی و بلندی (شیب، جهت شیب و ارتفاع)، نوع و تراکم پوشش گیاهی مهم ترین منابع ایجاد و گسترش آتش سوزی در عرصه های طبیعی به شمار می روند (پولات و همکاران ۲۰۱۹). خطر آتش سوزی عموماً توسط نقشه هایی که توزیع مکانی طبقات مختلف خطر را نشان می دهند، ارائه می گردد. لازمه تهیه نقشه های خطر آتش سوزی شناخت پارامترهای موثر در ایجاد آتش سوزی در منطقه مورد نظر است. نقشه نقاط آتش سوزی به وقوع پیوسته در سنوات قبل به عنوان مهم ترین محور تجزیه و تحلیل نقشه های خطر آتش سوزی محسوب می شود. نتایج حاصل از پهنه بندی خطر آتش سوزی معمولاً به صورت نقشه هایی ارائه می شوند که در آنها مناطق مختلف از نظر میزان خطر تفکیک می گردند. پهنه بندی خطر وقوع آتش سوزی به عنوان یک پیش نیاز برای طرح مدیریت آتش سوزی در اکوسیستم های جنگلی و مرتعی محسوب می شود. به عبارت دیگر، پیش بینی مکانی احتمال وقوع و پهنه بندی خطر آتش سوزی در مناطق مختلف، امکان مدیریت بهتر را فراهم می کند (پولات و همکاران ۲۰۱۹). افتخاری و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی در مراتع

داد که درجه حرارت و فاصله از مناطق مسکونی به ترتیب بیشترین و کمترین سهم در بروز آتش‌سوزی در منطقه تحت مطالعه داشتند. ضمناً تأکید می‌شود مدیران از دانش محلی جوامع نزدیک در اجرای روش‌های جدید کنترل آتش‌سوزی در مراتع استفاده کنند. جوشی و همکاران (۲۰۲۴) در کشور نپال نشان دادند احتمال آتش‌سوزی با ارتفاع، بارندگی و تراکم جمعیت کاهش می‌یابد و در میان متغیرهای مهم سهم مناطق جنگلی به عنوان مؤثرترین عامل بیش از سایر اراضی و پس از آن بارش، ارتفاع، مساحت مرتع، تراکم جمعیت، NDVI و مساحت زمین لخت مهمترین عوامل بروز و گسترش آتش‌سوزی شناخته می‌شوند. تالوکدار و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی در کشور تایلند نشان دادند اکثر آتش‌سوزی‌های جنگل‌های کشور فصلی بوده و جنگل‌های برگریز در ارتفاعات بالاتر و در شیب‌های متوسط بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر آتش‌سوزی جنگل داشتند. سطح خشکی، رطوبت خاک، دما، بارندگی، وضعیت پوشش گیاهی و توپوگرافی بر توزیع مکانی و زمانی آتش‌سوزی‌های جنگلی در کشور تأثیر دارد. با توجه به موارد فوق، هدف تحقیق حاضر، شناسایی نواحی مستعد به آتش‌سوزی در مراتع منطقه بن رود استان فارس با توجه به تعدد و تکرار آتش‌سوزی در منطقه با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS^۳ و AHP^۴ می‌باشد. بنابراین با توجه به توضیحات اخیر، هدف از انجام تحقیق حاضر شناسایی مهمترین عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی و تهیه نقشه مناطق بحرانی آتش‌سوزی در منطقه تحت مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز بن رود زنگنه از زیر حوزه‌های سد کواری با مساحت ۳۴۵ کیلومتر مربع در ۴۵ کیلومتری شمال غرب شیراز و در مسیر جاده شیراز- کازرون با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی از توابع شهرستان شیراز است. محیط حوزه ۹۴ کیلومتر، ارتفاع متوسط منطقه ۲۲۳۷ متر می‌باشد (شکل ۱). از نظر پوشش گیاهی نیز مراتع منطقه تحت مطالعه دارای طیف متنوعی از فرم‌های رویشی گیاهان علفی یکساله، پهن برگان علفی، نیمه بوته‌ای، بوته‌ای در زیر اشکوب فرم‌های درختچه‌ای و درختی است. بهره‌برداری از مراتع منطقه در قالب ترکیبی با گوسفند است.

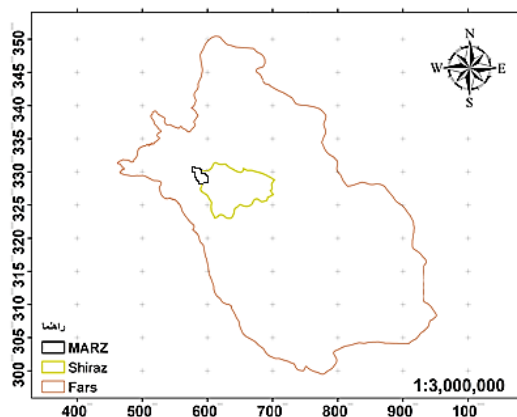
طیبیان (۱۴۰۱) در تحقیقی در جنگل‌های اسالم با استفاده از نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و راه‌های منطقه و بهره‌گیری از GIS و AHP اقدام به پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی کردند. نتایج تحقیق نشان داد در پنج طبقه با پتانسیل خیلی زیاد تا پتانسیل خیلی کم مساحت مناطق با خطر آتش‌سوزی خیلی زیاد بیش از سایر مناطق می‌باشند. همچنین بررسی مناطقی که در سال‌های گذشته دارای سابقه آتش‌سوزی بودند سهم ۴۸ درصدی در وقوع آتش‌سوزی دارند. قدیر و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی در کشور نپال آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره ای نشان داد شدت آتش‌سوزی در مناطقی با تراکم بالای پوشش درختی، دامنه‌های کم ارتفاع بیشتر مشاهده می‌شود. نگویان و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل‌سازی مکانی در دلتای مگونگ^۱، ویتنام نیز نشان داد اراضی جنگل‌های تالابی و اراضی کشاورزی بیش از سایر اراضی و کاربری‌ها در معرض خطر آتش‌سوزی شدید قرار دارند. بررسی حساسیت آتش‌سوزی در جنگل‌های ناحیه موگلا^۲ در ترکیه نشان داد که ۱۳ درصد منطقه مورد مطالعه به شدت مستعد آتش‌سوزی می‌باشند. لامات و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی اقدام به تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی در کوهستان‌های شرقی هندوستان با استفاده از AHP و GIS کردند. نتایج نشان داد اراضی کوهستانی شرق هندوستان در چهار طبقه بسیار پرخطر، پرخطر، متوسط و کم‌خطر طبقه‌بندی می‌شوند که طبقه بسیار پرخطر سطح بیشتری نسبت به سایر طبقات به خود اختصاص داده که لازم است اقدامات پیشگیرانه قبل از وقوع و گسترش آتش در نظر گرفته شود. شاتناوی (۲۰۲۲) در تحقیقی در کشور اردن اقدام به شناسایی مناطق در معرض خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از مدل ترکیبی و AHP و متغیرهای طبقه پوشش زمین، جهت شیب، مجاورت با سکونتگاه‌ها، ارتفاع، شیب و نزدیکی به جاده‌ها کردند. نتایج تحقیق نشان داد در چهار طبقه خطر آتش‌سوزی از کم تا خیلی زیاد طی دوره آماری ده ساله مناطق تحت مطالعه به سه دسته ریسک بسیار کم، متوسط و بسیار بالا طبقه‌بندی شدند که بیشترین سطح منطقه در دسته ریسک متوسط قرار داشتند. شجاع و همکاران (۲۰۲۳) اقدام به مدل‌سازی آتش در مراتع خشک شمال شرق ایران در حوضه نمکزار منطقه خواف استان کاشان کردند. نتایج تحقیق نشان داد مناطق جنوب غربی و شمال شرقی پتانسیل زیاد و مناطق شرقی و جنوب غربی مناطقی با وضعیت کم یا بسیار کم خطر بودند نتایج AHP نشان طرح‌های مرتعداری مصوب بوده که عمدتاً دام غالب منطقه بز در

1. Mekong

2. Mugla

3. Geospatial Information System

4. Analytical Hierarchical Process



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان فارس

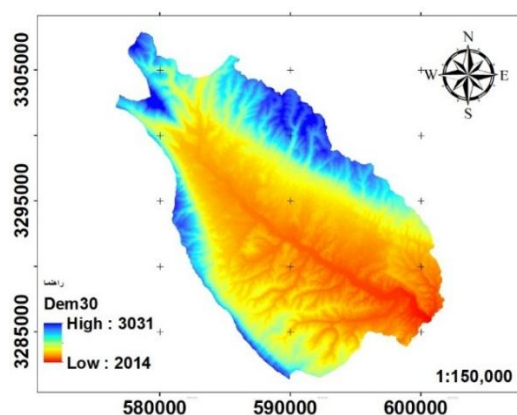
- روش کار

طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده اصلی، فاصله از اراضی زراعی و فاصله از مناطق مسکونی براساس جدول ۱ تا ۷ در محیط ArcGIS10.8 تهیه گردیده که به شرح اشکال ۲ تا ۸ می باشد.

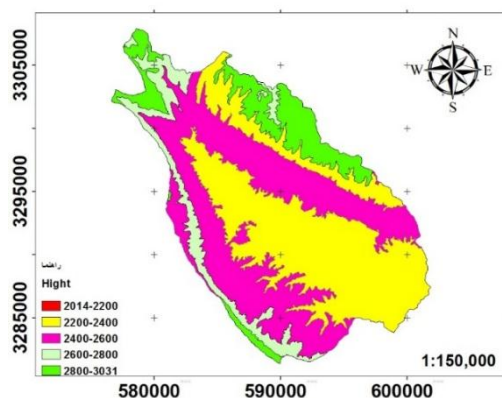
جهت تهیه نقشه‌های پایه مطالعاتی از مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد. تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، کاربری اراضی،

جدول ۱ - طبقه‌بندی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

خطر آتش سوزی	طبقه ارتفاعی (متر)
خیلی زیاد	۲۰۱۴-۲۲۰۰
زیاد	۲۲۰۰-۲۴۰۰
متوسط	۲۴۰۰-۲۶۰۰
کم	۲۶۰۰-۲۸۰۰
خیلی کم	۲۸۰۰-۳۰۳۱



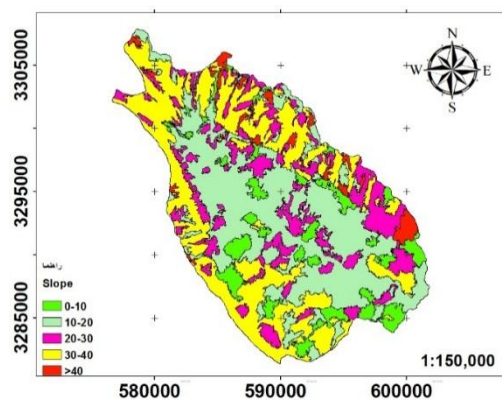
شکل ۲ - مدل رقومی ارتفاعی زمین منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

جدول ۲ - طبقات شیب منطقه مورد مطالعه

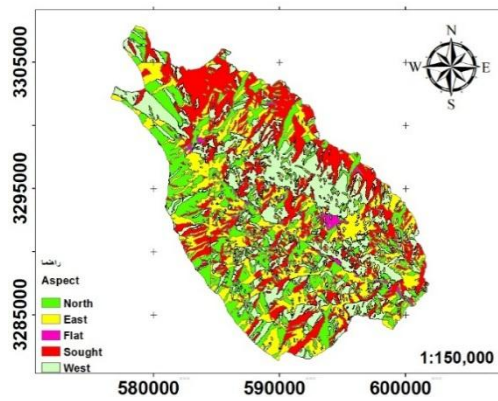
خطر آتش‌سوزی	طبقه شیب (%)
خیلی زیاد	بیش از ۴۰ درصد
زیاد	۳۰-۴۰
متوسط	۲۰-۳۰
خیلی کم	۰-۱۰



شکل ۴- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

جدول ۳ - جهات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

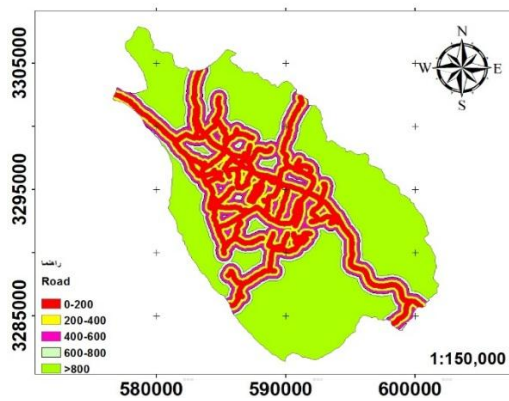
خطر آتش‌سوزی	جهت شیب
خیلی زیاد	جنوبی
زیاد	شرقی
متوسط	مسطح
کم	غربی
خیلی کم	شمالی



شکل ۵ - نقشه جهات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۴ - فاصله از جاده اصلی منطقه مورد مطالعه

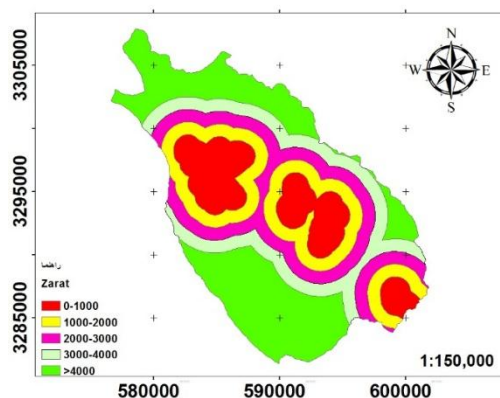
خطر آتش سوزی	فاصله از جاده (متر)
خیلی زیاد	۰-۲۰۰
زیاد	۲۰۰-۴۰۰
متوسط	۴۰۰-۶۰۰
کم	۶۰۰-۸۰۰
خیلی کم	بیش از ۸۰۰ متر



شکل ۶ - نقشه فاصله از جاده اصلی منطقه مورد مطالعه

جدول ۵ - فاصله از اراضی زراعی

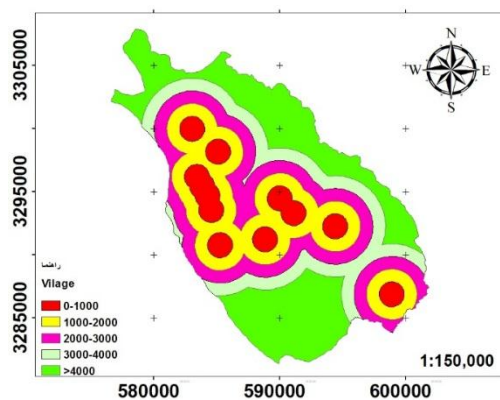
خطر آتش سوزی	فاصله از اراضی زراعی (متر)
خیلی زیاد	۱-۱۰۰۰
زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰
متوسط	۲۰۰۰-۳۰۰۰
کم	۳۰۰۰-۴۰۰۰
خیلی کم	بیش از ۴۰۰۰ متر



شکل ۷ - نقشه فاصله از اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه

جدول ۶ - فاصله از اراضی مسکونی

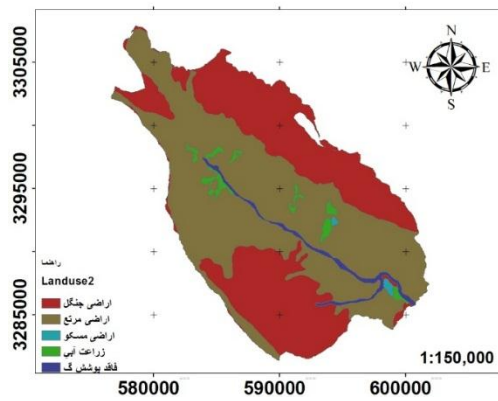
خطر آتش سوزی	فاصله از مناطق مسکونی (متر)
خیلی زیاد	۰-۱۰۰۰
زیاد	۱۰۰۰-۲۰۰۰
متوسط	۲۰۰۰-۳۰۰۰
کم	۳۰۰۰-۴۰۰۰
خیلی کم	بیش از ۴۰۰۰ متر



شکل ۸ - نقشه فاصله از اراضی مسکونی منطقه مورد مطالعه

جدول ۷ - کاربری اراضی

خطر آتش سوزی	نوع کاربری
خیلی زیاد	زراعت آبی
زیاد	اراضی مرتعی
متوسط	اراضی جنگلی
کم	اراضی مسکونی
خیلی کم	اراضی فاقد پوشش گیاهی



شکل ۹- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

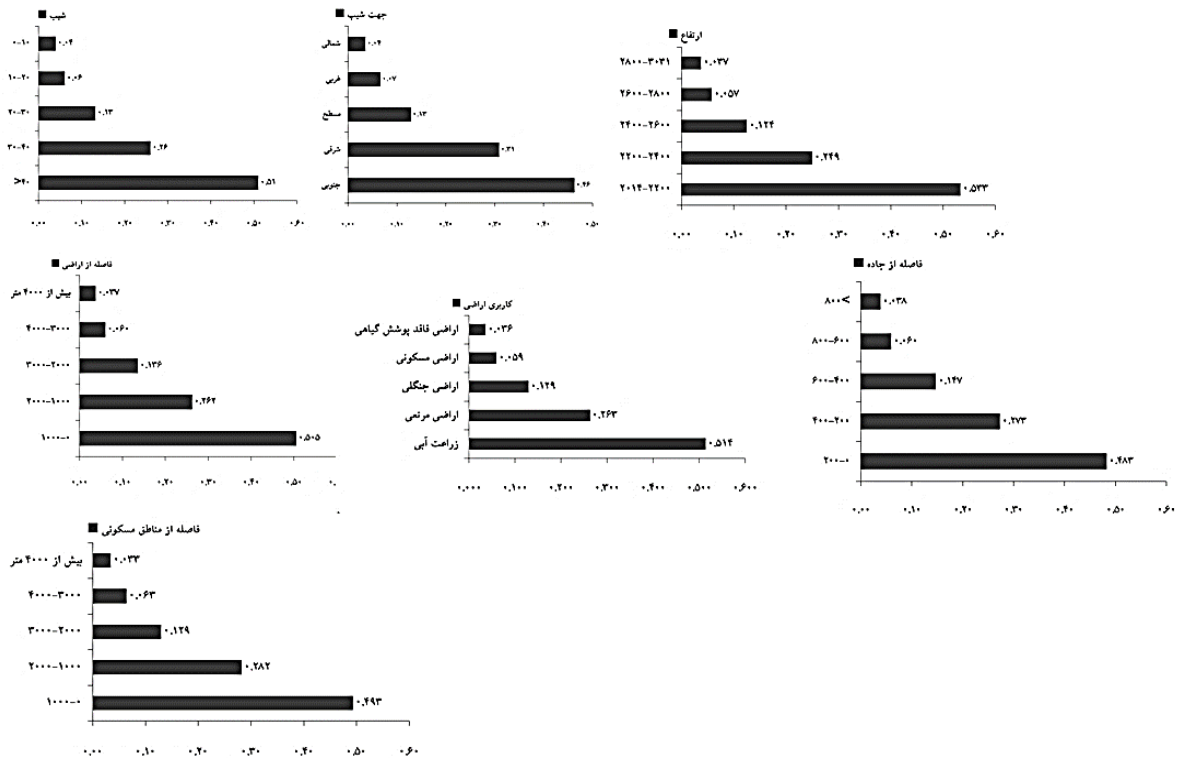
آتش سوزی نیز بر اساس تحقیق اسکندری و همکاران (۱۳۹۴) استفاده شده است.

شایان ذکر است نوع کاربری و درجه آتش سوزی آن بر اساس مطالعه نقشه‌های پایه اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس و طبقه‌بندی فاصله از اراضی زراعی از دیدگاه خطر

نتایج و بحث

مسکونی در این تحقیق با استفاده از روش AHP در محیط نرم‌افزاری Expert Choice به شرح شکل ۱۰ می‌باشد.

نتایج وزن‌دهی نهایی زیرمعیارهای شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از اراضی زراعی، فاصله از جاده و فاصله از مناطق

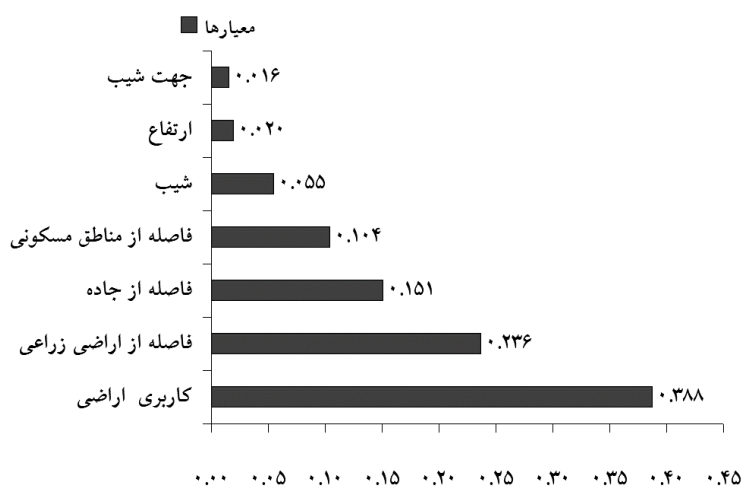


شکل ۱۰- اوزان زیر معیارهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

با توجه به اوزان زیر معیارهای شکل ۱۰، اقدام به تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارهای مورد استفاده در منطقه تحت مطالعه شد که نتیجه آن به شرح جدول ماتریس ۸ و شکل ۱۱ می باشد.

جدول ۸ - ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارهای منتخب با استفاده از روش AHP

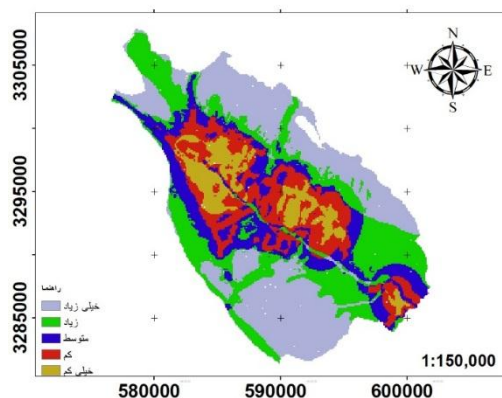
معیارها	فاصله از اراضی زراعی	فاصله از جاده	فاصله از مناطق مسکونی	شیب	ارتفاع	جهت شیب
فاصله از اراضی زراعی	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۲۵
فاصله از جاده	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۷
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲
شیب	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۳۳
ارتفاع	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۳۳
جهت شیب	۰/۱۲۵	۰/۱۷	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱



شکل ۱۱ - اوزان نهایی زیر معیارهای منتخب در مناطق تحت مطالعه

با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی براساس ماتریس زوجی زیر معیارهای منتخب در محیط ArcGIS شکل ۱۲ تهیه گردید.

با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۱۱، زیر معیارهای کاربری اراضی، فاصله از اراضی زراعی و فاصله از جاده به ترتیب مهم‌ترین زیر معیارهای مهم در ایجاد آتش‌سوزی انتخاب شدند که در نهایت



شکل ۱۲ - نقشه نهایی مناطق بحرانی آتش‌سوزی منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۲۲۰۰ متر بیش‌ترین احتمال بروز آتش‌سوزی و طبقه ارتفاعی ۲۸۰۰-۳۰۳۱ کمترین احتمال آتش‌سوزی را در منطقه مورد مطالعه دارد. در یک ارزیابی کلی، طبقه ارتفاعی با پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و متوسط ۷۸ درصد و پتانسیل آتش‌سوزی کم و خیلی کم ۲۰ درصد منطقه را به خود اختصاص می‌دهد. اصولاً هر چه طبقه ارتفاعی بالاتر باشد احتمال آتش‌سوزی کمتر می‌باشد زیرا نوع پوشش گیاهی، رطوبت و دمای هوا وابسته به ارتفاع می‌باشد و در ارتفاعات مختلف این پارامترها تغییرات چشم‌گیری دارند که مشابه با نظر بشکنی و رضایی مقدم (۱۳۹۸) که معتقدند غالب نقاطی که آتش‌سوزی در آنها رخ داده عمدتاً در ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متری است که مشابه با نظر قدیرو همکاران (۲۰۲۱) و شجاع و همکاران (۲۰۲۳)، طیبیان (۱۴۰۱) است که بیان کردند شدت آتش‌سوزی در مناطقی با تراکم بالای پوشش درختی و دامنه‌های کم‌ارتفاع بیشتر مشاهده می‌شود. بنابراین، انتظار می‌رود میزان آتش‌سوزی با افزایش ارتفاع کاهش یابد و از آنجایی که ارتفاع بر روی درجه حرارت، رطوبت و باد و ساختار پوشش گیاهی تأثیرگذار است می‌توان انتظار داشت آتش‌سوزی در ارتفاعات کمتر ایجاد می‌شود که منطبق بر تحقیقات پولات و همکاران (۱۳۹۹) است. معیار جهت شیب با وزنی معادل $0/016$ در رتبه هفتم عوامل موثر بر بروز آتش‌سوزی قرار دارد. به دلیل تابش مستقیم خورشید شیب‌های جنوبی، جنوب شرقی و جنوب غربی بیشتر گرم شده و پتانسیل بیشتری برای وقوع آتش‌سوزی خواهند داشت و از آنجایی که جهت‌های جنوبی نور و درجه حرارت و باد بیشتر، رطوبت و مواد سوختی کمتر دارند. بنابراین گیاهان جهت‌های جنوبی خشک‌تر و کم‌تراکم‌تر نسبت به جهت‌های شمال‌اند و بیشتر در معرض احتراق قرار دارند که در تحقیق حاضر نیز جهت جنوبی وزن بیشتری به خود اختصاص داد. غلامرضایی و همکاران (۱۴۰۰) و عابدی (۲۰۲۲) و لامات (۲۰۲۱) نیز شیب‌های جنوبی و جنوب شرقی را مهمترین عامل در زیرمعیار جهت شیب معرفی کردند. در یک جمع‌بندی کلی، نقشه نهایی مکان‌یابی مناطق پتانسیل آتش‌سوزی با روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که مناطق با پتانسیل آتش‌سوزی خیلی کم با مساحت تقریباً 116.06 هکتار (حدود ۳۴ درصد)، کم با مساحت تقریباً 87.19 هکتار (حدود ۲۵ درصد)، متوسط با مساحت تقریباً 55.37 هکتار (حدود ۱۶ درصد)، زیاد با مساحت تقریباً 54.01 هکتار (حدود ۱۶ درصد) و خیلی زیاد با مساحت تقریباً 29.44 هکتار (حدود ۹ درصد) منطقه را شامل می‌شود که می‌تواند ضمن ترویج فرهنگ استفاده صحیح از اکوسیستم‌های طبیعی و تفرجگاه‌ها به روش‌های مختلف، نظارت بیشتر و مستمر به‌خصوص در دو فصل بهار و تابستان توسط نهادها و ارگان‌های دولتی و خصوصی بعمل آید تا از بروز آتش‌سوزی جلوگیری شود. همه ساله شاهد بروز آتش‌سوزی در

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل جداول ماتریس و نمودار اوزان زیرمعیارهای تحقیق حاضر نشان داد ۳۵ درصد منطقه از شیب بیش از ۳۰ درصد با پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد و ۴۷ درصد منطقه نیز با شیب کمتر از ۲۰ درصد، از پتانسیل آتش‌سوزی کم و خیلی کم برخوردار است. اصولاً شیب ارتباط مستقیمی با سرعت گسترش آتش‌سوزی دارد. به طوری که شیب زیاد سبب افزایش سرعت گسترش آتش می‌شود اما ذکر این نکته ضروری است که شیب زیاد پتانسیل آتش‌سوزی را افزایش نمی‌دهد. بلکه در صورت بروز آتش‌سوزی در یک منطقه، جهت گسترش آن به سمت شیب‌های زیاد خواهد بود که بشکنی و رضایی مقدم (۱۳۹۸) نیز در مراتع بیلاقی سرعی آباد گرگان بر غالبیت شیب در بروز آتش‌سوزی‌ها در شیب‌های کمتر از ۳۰ درصد تأکید داشتند. تحقیقات غلامرضایی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی ارتباط گستره‌های آتش‌سوزی با ویژگی‌های فیزیوگرافی در ناحیه رویشی زاگرس مرکزی در استان کرمانشاه نیز بیانگر افزایش سرعت آتش‌سوزی در شیب‌های بیش از ۸۰ درصد است. از لحاظ فاصله از اراضی زراعی، ۳۴ درصد منطقه دارای پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد و ۴۹ درصد دارای پتانسیل آتش‌سوزی کم و خیلی کم می‌باشد. از لحاظ فاصله از جاده و از لحاظ فاصله از روستا، ۳۰ درصد منطقه از پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد و ۴۸ درصد منطقه دارای پتانسیل آتش‌سوزی کم و خیلی کم می‌باشد که منطبق بر تحقیق از لحاظ کاربری اراضی، کاربری مرتع با حدود ۵۴ درصد دارای پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و کاربری مسکونی و فاقد پوشش گیاهی با حدود ۲ درصد دارای پتانسیل آتش‌سوزی کم و خیلی کم می‌باشد که مشابه تحقیق بشکنی و همکاران (۱۳۹۸) در مراتع بیلاقی سرعی آباد گرگان است. در تحقیق حاضر، کاربری اراضی به‌عنوان اولویت اول در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی معرفی می‌شود که منطبق بر تحقیق بشکنی و همکاران (۱۳۹۸)، پولات و همکاران (۱۳۹۹)، دلیر و همکاران (۱۴۰۰) و جوانمیری و همکاران (۱۴۰۰) شاتناوی (۲۰۲۳) است. اصولاً در تحقیقات مرتبط با آتش‌سوزی در اکوسیستم‌های طبیعی زیر معیار جاده هم عاملی برای کنترل و مهار آتش از یک سو و از سوی دیگر به دلیل افزایش تردد و حضور گردشگران، عاملی در جهت ایجاد آتش‌سوزی محسوب می‌شود که نجفی و همکاران (۱۳۹۴)، غلامرضایی و همکاران (۱۴۰۰) به این مهم اشاره کرده‌اند. فاصله از مناطق مسکونی در تحقیق حاضر به عنوان اولویت چهارم در ایجاد آتش معرفی شده است که تأثیر آن به مانند سایر زیرمعیارها نیست. از لحاظ شدت گسترش آتش‌سوزی در طبقات ارتفاعی، طبقه ارتفاعی ۲۰۱۴-

آموزش نیروهای بومی، خرید وسایل مناسب اطفای حریق، پایش جنگل‌ها با سامانه‌های پهپادی و در اختیار گذاشتن بالگرد در ایام خشک در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی کشور اقدامات ضروری صورت گیرد تا فون و فلور کشور که به امانت در اختیار نسل حاضر است به نسل بعد نیز منتقل گردد.

عرصه‌های طبیعی کشور بوده که با توجه به روند صعودی دوره‌های خشکسالی در دهه‌های اخیر و وجود پوشش گیاهی خشک در سطح مراتع و زیراشکوب جنگل‌های خشک، احتمال بروز آتش‌سوزی عمدی و سهوی زیاد است. بنابراین باید در برنامه‌های دولت بودجه مصوبی در جهت اطفای حریق از طریق

References

1. Abedi R. Application of multi-criteria decision making models to forest fire management. Intern. Jour. Geoherit & Parks. 2022;10:84-96. Doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.02.005
2. Bashkhani, A, Rezaeimoghadam H. 2019. Fire risk zoning based on environmental criteria using the analysis hierarchy method (AHP) in summer pastures of Sir Ali Abad, Gorgan. 5th International conference on environmental engineering and natural resources. Tehran, Iran. [In Persian]
3. Eftekhari AR, Gudarzi M, Ashuri P, Khalifazadeh R. Vegetation changes in Sirachal mountain pastures due to fire. Iran Past & Desert Resea. 2018;26(2):352-366. Doi:10.22092/ijrdr.2019.119357. [In Persian]
4. Dang TN, Kumar L, Reid M, Mutanga, O. Fire danger assessment using geospatial modelling in Mekong delta, Vietnam: Effects on wetland resources. Remote Sens Applic: Society & Environment. 2021; 21(100456.). Doi:10.1016/j.rsase.2020.100456.
5. Delir Z, Faraj Zadeh Z, Sebet M. Socio-economic and environmental factors affecting the occurrence of fire in Iran's forests and strategies to deal with it. Agri Eco Develop. 1400;29(113):25-55. Doi:10.30490/AEAD.2021.292942.1071. [In Persian]
6. Fathi H. Fire risk zoning in the forests of western Mazandaran using RS/GIS, M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University. [In Persian]
7. Fatih S. Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. Fore Ecolo & Manag. 2021; 480(118644). Doi:10.1016/j.foreco.2020.118644. [In Persian]
8. Gholamrezai A, Khosravi M, Pourreza M. The relationship between fire extents and physiographic features in central Zagros vegetation area, Kermanshah province. Ecolo of Irani Fore. 1401;10(20):183-192. Doi:10.52547/ifej.10.20.183. [In Persian]
9. Javanmiri Pour M, Valipour J, Hasanzadeh A. Studying the main factors and effective motives causing forest and pasture fires in semi-arid ecosystems of the Zagros Mountains, Jour of Arid Biom. 2022;11(2):15-27. Doi:10.29252/ARIDBIOM.2022.18321.1888 [In Persian]
10. Joshi P, Adhikari G, Bhattarai D, Adhikari A, Lamichanne S. Forest fire vulnerability in Nepal's Chure region: Investigating the influencing factors using generalized linear model. Heliyon. 2024; 10(7). Doi:10.1016/j.heliyon.2024.e28525.
11. Polat S., Ghasemi Aghbash F., Mahdavi A. Fire risk zoning in the forests of Ilam district. Fore Resea & develop. 2019;6(1):135-152. Doi:10.30466/JFRD.2020.120830
12. Qadir A, Talukdar NR, Uddin M, Ahmad F, Goparaju L. Predicting forest fire using multispectral satellite measurements in Nepal, Remote Sensing Applications. Soci & Environ. 2021; 23(100539). Doi:10.1016/j.rsase.2021.100539
13. Rezaei R, Ahmadi A, Abdi N, Toranjzar H. Fire effects on composition, density and species diversity vegetation and soil seed bank (Case study: Kangavar rangelands). Jour of Rangeland. 2023;16(4):729-744. Doi: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.6.4. [In Persian]
14. Ridalin L, Mukesh K, Arnab K, Deepak L. Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India. SN. Appl. Scien. 2021;3(425). Doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0
15. Siahmansour R, Kamali, N. Changes in vegetation parameters due to fire (Case study: woody rangelands of Veysian site in Lorestan province). Jour of Rang. 2022;16(4):830-845. Doi: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.12.0. [In Persian]

16. Shatnawi N. AHP and fuzzy logic geospatial approach for forest fire vulnerable zones. *Des. Scien Lett.* 2022; 11:399-406. Doi: 10.5267/dsl.2022.8.001
17. Shoja S, Bashiri M, Rahdari MR, Sahabi H. Modeling Fire in Arid Rangelands of Northeastern Iran: A Case Study of Namakzar Watershed, Khaf, Iran. *Des. Eco Eng.* 2023; 12(10&11):55-68. DOI: 10.22052/JDEE.2024.253933.1097
18. Tabibian S. Physical Zoning of Forest Fire Risk Using Fuzzy AHP and GIS Methods (Case Study: Asalem). *Jour. Physi. Devel. Plan.* 2022; 7(2):61-72. [In Persian]
19. Thach NN, Toan DB, Xuan-Canh Ph, Hong-Thi N, Hang Thi B, Nhat-Duc H, Bui Dieu T. Spatial pattern assessment of tropical forest fire danger at Thuan Chau area (Vietnam) using GIS-based advanced machine learning algorithms: A comparative study. *Ecolo Inform.* 2018; 46: 74-85. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2018.05.009
20. Talukdar NR, Ahmad F, Goparaju L, Choudhury P, Qayum A, Rizvi J. Forest fire in Thailand: Spatio-temporal distribution and future risk assessment. *Natu Haz Resea.* 2024; 4(1): 87-96. Doi: 10.1016/j.nhres.2023.09.002



Locating Areas Prone to Fire Using AHP and GIS (Case study: Rangeland of Bonrood region in Fars province)

Saeed Mohtashamnia*

Assistant professor, Department, of Natural Resources, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

Received: 18 Jul 2024

Accepted: 07 Sep 2024

Keywords: Fire, AHP, GIS, Bonrood, Fars

Extended Abstract

Introduction: Fire is an important factor in natural ecosystems degradation and is considered as natural disasters that have direct and indirect harmful effects on natural ecosystems and human societies. Considering the frequency of fires in recent years and its effect on soil, fauna and flora ecosystems, zoning fire-sensitive areas can reduce the recurrence of this phenomenon

Materials and Methods: Considering many factors in fire creation and distribution, it is necessary to use RS/GIS along with the use of AHP to identify and weight the most important factors. The present research was carried out in the pastures of Bonrood region of Fars province using three criteria as elevation, vegetation cover and distance from residential areas.

Results and Discussion: The results showed that the criterion of land use with 0.38, distance from agricultural land with 0.23 and distance from the road with 0.15 is the third priority. The results of preparing the final map of fire prone areas showed that 34% of the areas have a very low fire potential and 25% of the areas have a high fire potential, which are mainly located in the north of the studied area.

Conclusion: As results showed the effective criteria in the occurrence and fire distribution in rangelands is land use. Certainly, changing natural ecosystems to unnatural uses, such as the agriculture, industries, and urbanization development, as well as native and non-native tourists presence, will increase the fire risk in the region. The non-scientific method of farmers in firing crop residues, especially in hot days of the year with wind blowing, can be a great danger to the natural ecosystems of the region, which is the second most effective criterion in the occurrence of fire. Therefore, by culturalizing and expanding promotion programs in the agricultural sector promoting the culture of correct use of natural ecosystems and resorts in different ways, more and continuous monitoring, especially in the two seasons of spring and summer when the vegetation is dry, the presence of tourists in natural areas, the amount of humidity, the increase of wind speed due to the formation High and low pressure areas in the up and down land regions should be prevented from fire by public and private institutions and organizations, which requires an approved budget for firefighting through the native people training, suitable firefighting equipment purchasing, monitoring the forests by drones and providing water spraying helicopters during the dry season in these ecosystems should be taken so that the fauna and flora of the country, which is in the hands of the present generation, will be transferred to the next generation.

Corresponding author: Saeed Mohtashamnia

Address: Assistant professor, Department, of Natural Resources, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

Tel: +989171132234 **Email:** Sa.mohtashamnia@iau.ac.ir

Citation: Mohtashamnia S. Locating Areas Prone to Fire Using AHP and GIS (Case study: Rangeland of Bonrood region in Fars province). Journal of New Researches in Environmental Engineering, 2024; 2(6): 30-42.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



تبیین ساختاری پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس

دانشجوی دکتری جغرافیای سیاسی، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
دانشیار گروه شهرسازی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

ابوالفضل نظری
حجت مهکویی*
امیر گندمکار
علی شمس‌الدینی

چکیده مبسوط

مقدمه: رابطه انسان با محیط طبیعی بدون ذخایر آب و یا منابع قابل دسترسی بدان از نظر کاربردی برای انسان فقط می‌تواند رابطه‌ای یک جانبه و بی‌ریشه باشد. این اهمیت موجب شده برخی از ژئوپلیتیسین‌ها معتقد باشند که اغلب درگیری‌ها و جنگ‌های منطقه‌ای در جهان به دلیل کمبود و بحران آب خواهد بود. در واقع، تنها علت آن در محدودیت منابع نیست، بلکه عوامل دیگری همچون خشکسالی‌های دوره‌ای، استفاده بیش از حد از منابع، شرایط هیدرولوژیکی، عوامل اجتماعی از قبیل رشد جمعیت، مهاجرت، نبود فرهنگ صحیح مصرف و سوء مدیریت منابع، ناتوانی نهادهای مسئول برای تأمین خدمات انتقال آب و غیره نیز در آن تأثیر بسزایی دارند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

مواد و روش‌ها: هدف از پژوهش حاضر تبیین پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس می‌باشد. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و به لحاظ روش کمی و با ماهیت روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. جامعه آماری تحقیق حاضر، ۱۳۸ نفر از افراد کارشناس و نخبه در زمینه جغرافیای سیاسی و مدیریت منابع آب در سطح استان فارس بوده و حجم نمونه با استفاده از جدول مورگان تعداد ۱۰۲ نفر به صورت در دسترس در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث: متغیرهای پژوهش در زمینه پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در استان فارس به ۴ دسته شامل محیط طبیعی، محیط زیست جانوری-گیاهی، محیط زیست انسانی، اقلیم تقسیم شده‌اند. جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که وضعیت هر ۴ متغیر در سطح متوسط به بالا قرار دارد و این نشانگر وضعیت بحرانی حوضه‌های آبریز غرب استان فارس در زمینه پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بوده و از بین آنها متغیر اقلیم نسبت به ۳ متغیر دیگر در وضعیت حادثری قرار دارد. متغیرهای محیط زیست جانوری-گیاهی، محیط طبیعی و محیط زیست انسانی در رتبه‌های بعدی به لحاظ وضعیت بحرانی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، پیامدها، تبیین ساختاری، زیست محیطی، ژئوپولیتیک

نتیجه‌گیری: نتایج تحلیل مسیر معادلات ساختاری نشان داد که متغیر محیط زیست جانوری-گیاهی بیشترین تأثیر را از بحران آب در حوزه‌های غربی استان فارس پذیراست و سپس متغیرهای محیط طبیعی، اقلیم و محیط زیست انسانی قرار گرفته‌اند. همچنین آنالیز ضرایب عاملی نشان داد که در محیط زیست جانوری-گیاهی گویه‌های کاهش پرورش آبیان در حوضه آبریز، از بین رفتن گونه‌های جانوری، در محیط طبیعی گویه‌های شور شدن آب، آلودگی منابع خاک، شور شدن خاک، از بین رفتن و خشک شدن قنوت و چاه‌ها، در اقلیم، گویه‌های افزایش دما، افزایش نواحی بیابانی و تغییر اقلیم ناحیه‌ای و در محیط زیست انسانی، گویه‌های از بین رفتن زیرساخت‌ها و مسکن، از بین رفتن روستاها، افزایش بیماری‌های دارای بیشترین میزان بار عاملی بوده است.

نویسنده مسئول: حجت مهکویی

نشانی: گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران | تلفن: ۰۹۱۷۰۴۷۴۳۵ | پست الکترونیکی: hojat_59_m@yahoo.com

استناد: نظری ابوالفضل، مهکویی حجت، گندمکار امیر، شمس‌الدینی علی. تبیین ساختاری پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس. پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۶(۳): ۴۳-۵۸.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

نزولات جوی و در نهایت کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی خواهد شد. به علاوه سبب نیاز به آبیاری و پمپاژ بیشتر از آبخوان‌ها می‌شود. مجموعه این عوامل سبب افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، کم‌آبی و خشکیدگی چشمه‌ها می‌شود. سازمان ملل متحد هشدار داده است که اگر جهان به میزان فعلی به مصرف آب ادامه دهد تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۲ میلیارد و ۷۰۰ میلیون نفر در جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد. بر اساس گزارش سازمان ملل در آینده‌ای نزدیک ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد که نام ایران نیز در ردیف این کشورها ذکر شده است. بنابراین در کشور ایران با توجه به شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک حاکم در منطقه، استفاده بهینه از منابع محدود آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در اختیار داشتن آمار و اطلاعات کافی به عنوان مؤثرترین گام در جهت شناخت جامع این منابع و رسیدن به پایداری نسبی آنها ضروری است (زندگی فر ۱۳۹۸).

آب از عوامل اصلی و مؤثر فعلیت بخشیدن عنصر انسان در محیط است. رابطه انسان با محیط طبیعی بدون ذخایر آب و یا منابع قابل دسترسی بدان از نظر کاربردی برای انسان فقط می‌تواند رابطه‌ای یک جانبه و بی‌ریشه باشد. این اهمیت موجب شده برخی از ژئوپلیتیسین‌ها قرن ۲۱ را به ویژه در مناطق خشک و کم باران جهان قرن هیدروپلیتیک بدانند. آنان معتقدند که اغلب درگیری‌ها و جنگ‌های منطقه‌ای در جهان به دلیل کمبود و بحران آب خواهد بود. در سطح ملی هم نتایج برخی پژوهش‌ها، مانند مطالعه حافظنیا در شهرستان گناباد، افزایش رقابت و درگیری‌ها با کمبود بارش و منابع آب را نشان می‌دهد. بنابراین نقش آب محدود به بخش تولید نبوده و بر ابعاد مختلف زندگی مردم و جامعه از ادامه حیات تا توسعه، امنیت ملی، خودکفایی، ایجاد اشتغال، حفظ محیط‌زیست و توسعه پایدار کشور مؤثر است (نصرآبادی ۱۳۹۴). بحران آب یکی از چالش‌های مهمی است که به دلایل مختلف ایجاد می‌شود. در واقع، تنها علت آن در محدودیت منابع نیست، بلکه عوامل دیگری همچون خشکسالی‌های دوره‌ای، استفاده بیش از حد از منابع، شرایط هیدرولوژیکی، عوامل اجتماعی از قبیل رشد جمعیت، مهاجرت، نبود فرهنگ صحیح مصرف و سوءمدیریت منابع، ناتوانی نهادهای مسئول برای تأمین خدمات انتقال آب، سیاست‌های اقتصادی نامناسب، تحولات اجتماعی و برنامه‌ریزی ضعیف دولت‌ها نیز در آن تأثیر بسزایی دارند. چالش اصلی در بحران آب، کمبود آب شیرین با توجه به کاهش سفره‌های زیرزمینی، کاهش جریان رودخانه‌ها، افزایش

اندیشیدن به محیط‌زیست به اندازه اجداد ما قدیمی است. بقای آنها به آگاهی از آن وابسته بود. امروزه نیز محیط‌زیست در شکل‌گیری هر یک از ما نقشی تعیین کننده دارد. رشد و نمو طبیعی انسان در شرایط نبود محرک‌های زیست‌محیطی انجام نمی‌گیرد. محیط‌زیست در مورد بیشتر ما در جامعه تکنولوژیک جدید، عبارت از آن چیزهایی است که در زندگی روزمره با آن سروکار داریم (بوتکین و کلر ۱۳۹۰). اینکه محیط‌زیست چیست؟ تعاریف و دیدگاه‌های متنوعی درباره آن مطرح شده است. اگر بخواهیم درباره محیط‌زیست زمین، با تمام ارگانسیم‌های زنده آن و روابط بین همه اجزای آن صحبت کنیم، واژه زیست‌کره شاید مناسب‌تر باشد. استفاده از این واژه در قرن نوزدهم و بعدها تلاش‌های وی‌آی ورنادسکی توجه ویژه‌ای در قرن حاضر به این مفهوم معطوف کرد. ورنادسکی معتقد بود فاعلیت انسان‌ها در تغییر زیست‌کره، در واقع گویای نوعی نیروی تغییر زمین‌شناسی در روی زمین است. پایین‌تر از سطح سیاره‌ای، زیست‌بوم‌ها به سیستم‌های وسیعی اطلاق می‌شوند که غالباً همان گونه‌های اصلی گیاه بوده اما شامل تأثیرات متقابل همه عوامل درونی هستند. به طور کلی، محیط‌زیست، مجموعه‌ای بسیار عظیم و در هم‌تنیده از عوامل گوناگونی است که در یک روند تکامل تدریجی موجودات زنده و اجزای سازنده سطح زمین، به وجود آمده است. در مجموع، انسان و زیست‌کره با یکدیگر پیوند قوی و جدایی‌ناپذیر دارند. از این‌رو، محیط‌زیست به گونه‌ها و اشکال مختلف بر فعالیت و اقدامات انسان اثر می‌گذارد، و در همان زمان فعالیت‌های بشر و دخل و تصرف بیش از حد آن و شکل‌گیری مصرف‌گرایی و زیاده‌خواهی توانسته محیط‌زیست را با مشکلات قابل توجهی مواجه کند (کاویانی‌راد ۱۳۹۷).

افزایش دخالت‌های نابجای انسان در کره‌زمین و برهم‌زدن چرخه طبیعی محیط، موجب شده تا بحران آب در دنیای امروز به شکل جدی مورد توجه قرار گیرد. با توجه به آمار و ارقام منتشر شده در منابع معتبر بین‌المللی زنگ خطر بحران آب در بسیاری از کشورهای جهان به صدا درآمده است. خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که تأثیرات محیطی، اجتماعی و اقتصادی چشم‌گیری دارد و برخلاف دیگر بلایای طبیعی اثرات آن ممکن است تا سال‌ها پس از پایان آن باقی بماند. یکی از بخش‌های متأثر از شرایط بلندمدت خشکسالی، منابع آب زیرزمینی است که متأسفانه کمتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به دلیل کمبود بارش موجب افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. خشکسالی سبب کاهش

شود که پژوهش حاضر در این راستا می‌باشد. هنگامی که به اندازه کافی آب آشامیدنی مورد نیاز وجود ندارد، خطر بحران آب حس می‌شود. با توجه به اینکه این مسئله یک نگرانی جهانی است، سازمان ملل متحد و دیگر سازمان‌های جهانی مناطق گوناگونی را، مناطق دچار بحران آب در نظر می‌گیرند. دیگر سازمان‌ها مانند سازمان غذا و کشاورزی، استدلال می‌کنند که هیچ بحران آبی در این مکان‌ها وجود ندارد، اما کی باید گام‌هایی برای جلوگیری از بروز چنین بحرانی برداشته شود. کمبود آب شامل تنش آب، کم‌آبی و بحران آب است. مفهوم تنش آب نسبتاً جدید است. تنش آب مشکل در یافتن منابع آب شیرین برای استفاده است که علت آن تخلیه منابع است. بحران آب وضعیتی است که در آن آب قابل آشامیدن و غیرآلوده در یک منطقه کمتر از تقاضای آن است. کم‌آبی یعنی نبود منابع آب شیرین برای تأمین تقاضای آب متعارف. کم‌آبی، به علت خشکسالی، فقدان بارندگی و آلودگی نیز ایجاد می‌شود. کم‌آبی، از نظر تأثیر بالقوه‌ای که در طی دهه آینده می‌تواند داشته باشد، در سال ۲۰۱۹ توسط مجمع جهانی اقتصاد به عنوان یکی از بزرگ‌ترین خطرات جهانی ذکر شده است. دلایل کم‌آبی از برآورده نشدن جزئی یا کامل تقاضا، رقابت اقتصادی بر سر کیفیت و کمیت آب، اختلافات بین کاربران، تخلیه و کاهش غیرقابل برگشت آب زیرزمینی و اثرات منفی بر روی محیط‌زیست است. دو سوم جمعیت جهان (۴ میلیارد نفر)، حداقل یک ماه از سال را در شرایط کم‌آبی شدید به سر می‌برند (بلوار ۲۰۲۰).

۵۰۰ میلیون نفر در جهان، در تمام طول سال با کم‌آبی شدید مواجه هستند. نیمی از بزرگ‌ترین شهرهای جهان، کم‌آبی را تجربه می‌کنند. تنها ۱۴٪ درصد از کل آب روی زمین، شیرین و به آسانی قابل دسترس است. ۹۷ درصد از آب باقی‌مانده، شور است و دسترسی به مابقی آن که کمی کمتر از ۳ درصد می‌باشد، دشوار است. در مقیاس جهانی و از نظر فنی، مقدار کافی آب شیرین وجود دارد. با این حال، به دلیل توزیع نابرابر آب که با تغییرات اقلیمی تشدید شده، ممکن است بعضی مناطق بسیار مرطوب و بعضی بسیار خشک شده باشند. همچنین افزایش شدید تقاضای آب برای صنعت در دهه‌های اخیر، بشر را با بحران آب مواجه ساخته است. در صورت ادامه روند فعلی، انتظار می‌رود که در سال ۲۰۳۰، تقاضا ۴۰ درصد بیش از منابع شود. عدم تطابق جغرافیایی و زمانی بین تقاضا و دست‌یابی به آب شیرین، دلیل عمده کم‌آبی جهانی است. افزایش جمعیت جهان، ارتقا و بهبود استانداردهای زندگی، تغییر الگوهای مصرف، و توسعه آبیاری کشاورزی اصلی‌ترین دلایل افزایش جهانی تقاضای آب است (ورسمارتی و همکاران ۲۰۰۰).

مفهوم ژئوپولیتیک از «ژئو» به معنای زمین (جغرافیا) و «پلیتیک» به معنای سیاست تشکیل شده است. تعاریف متعددی از واژه

هزینه‌ها برای تأمین و تصفیه آب است که این امر سبب ایجاد تنش‌هایی بر سر منابع آب شده است. تنش آبی بیانگر فشارهای وارد شده بر منابع آبی است که این فشارها ناشی از تغییرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی هستند (نادری و همکاران ۱۴۰۱).

استان فارس به دلایلی کانون بحران آب کشور پس از منازعات آبی اخیر در خوزستان خواهد بود. اولاً در ده سال اخیر شمار چاه‌های آب (مجاز و غیرمجاز) از ۸۵ هزار حلقه به تعداد بیشتری افزایش یافته است. این چاه‌ها که معادل ده درصد کل چاه‌های آب کشور را شامل می‌شود و به طور تقریبی برابر با ۱۵ استان کشور است. بیشتر دشت‌ها، همزمان در حال خشک شدن هستند و طبیعتاً یک خشکسالی پیوسته که به خشکی پایدار بینجامد دور از انتظار نیست. خروجی این وضعیت، گسترده شدن ناگهانی بیکاری، مهاجرت غیر قابل کنترل به شهرها و حاشیه‌نشینی خطرآفرین در شیراز و شهرهای بزرگ استان است. دوم اینکه ناراضی‌های فزاینده ساکنان دشت کربال از بی‌عدالتی در توزیع آب در دهه‌های اخیر، که شاهدهی از آن کلیپ گریه و زاری و فریاد حسین حسین‌زنان یکی از روستاهای کربال، که اردیبهشت امسال، جهانی شد، می‌باشد. همین وضعیت در زیردست سد سلمان فارسی در شهرستان قیر و کارزین به طور فزاینده‌ای در حال شکل‌گیری و توسعه و گسترش است. سوم اینکه سد درودزن فقط حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب آب حجم مفید قابل برداشت دارد. این میزان تقریباً و به دشواری معادل مصرف سالیانه شرب و صنعت (پتروشیمی) است. چنانچه در سال‌های اخیر بارندگی کافی نباشد، شیراز و مرودشت نیز در وضعیت کاملاً جدی بی‌آبی قرار خواهند گرفت و همزمان دشت کربال کاملاً بی‌آب خواهد ماند. قابل یادآوری است که در این حوزه، تأمین آب مناطق شهری و روستایی ده‌ها و بلکه صدها سکونت‌گاه دیگر همانند قطروه نی‌ریز را می‌توان برشمرد. چهارم اینکه خشکی دریاچه‌های استان به ویژه طشک و بختگان و پیامدهای فراگیر زیست‌محیطی آن برای ۶ شهرستان پیرامون آن، کانون دیگر منازعات آبی استان به شمار می‌رود و پنجم هم اینکه بازنگری، ترمیم، نگهداری یا الزام در ساخت پروژه‌های کوچک سازه‌ای نیز به نوبه خود یکی از ضرورت‌های بخش آب استان است. حوضه‌های آبریز غرب استان فارس شامل حوضه‌های جراحی و زهره، حله و مند می‌باشد که دارای وسعت زیادی بوده و از روستاها و نقاط مسکونی متعددی تشکیل گردیده‌اند که بحران آب و شرایط حاد زیست‌محیطی ناشی از آن می‌تواند اثرات بسیار ناگواری را در منطقه برجای گذارد. البته برای تفهیم و تشخیص کامل و بهینه آن باید اقدامات و پژوهش‌های عاجلی انجام گیرد. شرایط این حوضه‌ها مورد ارزیابی، بررسی و اولویت‌سنجی شده و متناسب با آن برنامه‌ریزی‌های لازم انجام

تجدیدپذیر را مورد بحث قرار می‌دهد. به گفته کریستوفر گوگولیت و سایر محققان، این اصطلاح در حال حاضر برای توصیف طیف گسترده‌ای از مفاهیم، به معنای کلی به‌عنوان «مترادف روابط سیاسی بین‌المللی»، اما به‌طور خاص «برای دلالت بر ساختار جهانی چنین روابطی» استفاده می‌شود. این کاربرد بر پایه «اصطلاح ابتدایی قرن بیستم برای شبه‌علم جغرافیای سیاسی» و دیگر نظریه‌های شبه‌علمی جبر تاریخی و جغرافیایی استوار است (فیلیپ ۱۳۹۲).

– ژئوپولیتیک آب

آب، بنیاد پیدایش، ماندگاری و کارایی واحدهای سیاسی-فضایی است. امنیت آب گواه بر توانایی قلمروداران در تأمین آب کافی و مطمئن برای برآوردن نیازهای اجتماعی، اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی است. طی چند دهه اخیر مؤلفه‌های طبیعی و انسانی همچون تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی، رشد و توسعه اقتصادی و غیره، امنیت آب را به یکی از جستارهای جغرافیای سیاسی بدل ساخته است (نصرتی و همکاران ۱۳۹۸). امنیت آب بنا به تعریف عبارت است از اطمینان از وجود آبی با کیفیت و کمیت مناسب برای سلامت، معیشت و تولید، ضمن قابل قبول بودن خطرات مرتبط با آب. به نقل از نهاد مشارکت جهانی در توصیف امنیت آب آمده است: «در جهان فاقد امنیت آب، توسعه پایدار، حاصل نخواهد شد. در جهان دارای امنیت آب، اهمیت ارزش واقعی آب و اهمیت مصرف آب برای حیات و رفاه انسان، یکی می‌شوند. در جهان دارای امنیت آب، قدرت تولیدی آب تحت کنترل درآمده و نیروی تخریبی آن به حداقل می‌رسد. امنیت آب، به معنی اداره و رسیدگی به حفاظت زیست‌محیطی و اثرات منفی مدیریت ضعیف، نیز می‌باشد. در امنیت آب، پایان دادن مسئولیت پراکنده آب و یکپارچه‌سازی مدیریت منابع آب در تمامی بخش‌ها از جمله امور مالی، برنامه‌ریزی، کشاورزی، انرژی، گردشگری، صنعت، آموزش و سلامت، مورد توجه قرار می‌گیرد. جهان دارای امنیت آب، باعث کاهش فقر، ارتقاء آموزش و بالابردن استانداردهای سطح زندگی، می‌شود. جهان دارای امنیت آب، جهانی است که در آن کیفیت زندگی برای همه بهبود یافته‌است، به ویژه برای آسیب‌پذیرترین افراد (معمولاً زنان و کودکان) که بیشترین منفعت را از حکمرانی خوب آب می‌برند». مناطقی از جهان که به احتمال زیاد دارای امنیت آبی نیستند، مکان‌هایی هستند که بارندگی کم و رشد جمعیت سریع با وجود کم‌یابی آب شیرین را تجربه می‌کنند و بر سر یک منبع آب مشترک (بین‌المللی) رقابت دارند. هنگامی که آب کافی برای هر فرد در یک منطقه وجود داشته باشد و منبع آب در معرض ناپدید شدن نباشد، امنیت آب حاصل می‌شود. در

ژئوپولیتیک از سوی علمای علوم سیاسی، روابط بین‌الملل و جغرافیا صورت پذیرفته است. گاهی اوقات در بعضی تعاریف، ژئوپولیتیک معادل جغرافیای سیاسی خوانده شده است. اما اکثر دانشمندان ژئوپولیتیک قائل به جدایی حوزه‌های ژئوپولیتیک و جغرافیای سیاسی هستند. دانشنامه روابط بین‌الملل و سیاست جهان، ژئوپولیتیک را بررسی تأثیر عوامل جغرافیایی بر رفتار دولت‌ها می‌داند. این که چگونه موقعیت مکانی، اقلیم، منابع طبیعی، جمعیت و یک تکه زمینی که یک دولت روی آن قرار گرفته است، گزینه‌های سیاست خارجی دولت و جایگاه آن را در سلسله مراتب دولت‌ها تعیین می‌کند. حسین بشیریه موضوع ژئوپولیتیک را مطالعه مبانی جغرافیایی قدرت دولت‌ها می‌داند. نقش ویژگی‌های سرزمین، آب‌وهوا، منابع طبیعی، موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های جمعیتی و خصوصیات فرهنگی بر شکل و عملکرد نظام سیاسی، مورد بحث این شاخه از دانش سیاسی است. به‌علاوه چون هر یک از دولت‌ها بخشی از فضای جغرافیایی-سیاسی جهان را تشکیل می‌دهند، بحث از روابط بین‌الملل از این دیدگاه خاص نیز مطرح می‌شود. ادموند والش، به عنوان یک دانشمند سیاسی تعریفی بر مبنای عدالت بین‌المللی ارائه داده و معتقد است ژئوپولیتیک، مطالعه مرکب از جغرافیای انسانی و علم سیاسی کاربردی است که تاریخ آن به دوران ارسطو، منتسکیو و کانت باز می‌گردد (ساندالو ۲۰۱۷).

ژئوپولیتیک «کره‌زمین، زمین» و «سیاست» مطالعه تأثیرات جغرافیای زمین (انسانی و فیزیکی) بر سیاست و روابط بین‌الملل است. در حالی که ژئوپولیتیک معمولاً به کشورها و روابط بین آن‌ها اشاره می‌کند، ممکن است بر دو نوع دولت دیگر نیز تمرکز کند. دولت‌های مستقل بالفعل یا با رسمیت محدود و روابط بین نهاد‌های ژئوپولیتیک فرعی، مانند ایالت فدرال که یک فدراسیون، کنفدراسیون یا یک سیستم شبه فدرال را تشکیل می‌دهند. در سطح روابط بین‌الملل، ژئوپولیتیک روشی برای مطالعه سیاست خارجی برای درک، تبیین و پیش‌بینی رفتار سیاسی بین‌المللی از طریق متغیرهای جغرافیایی است. این‌ها شامل مطالعات منطقه، اقلیم، عارضه‌نگاری، جمعیت‌شناسی، منابع طبیعی و علوم کاربردی منطقه مورد ارزیابی است. ژئوپولیتیک بر قدرت سیاسی مرتبط با فضای جغرافیایی، به‌ویژه آب‌های سرزمینی و سرزمین‌های خشکی در ارتباط با تاریخ دیپلماتیک تمرکز دارد. موضوعات ژئوپولیتیک شامل روابط بین منافع بازیگران سیاسی بین‌المللی متمرکز در یک منطقه، یک فضا یا یک عنصر جغرافیایی است. روابطی که یک سیستم ژئوپولیتیکی را ایجاد می‌کند. ژئوپولیتیک انتقادی تئوری‌های ژئوپولیتیک کلاسیک را با نشان دادن کارکردهای سیاسی-ایدئولوژیکی آن‌ها برای قدرت بزرگ جهانی واسازی می‌کند. آثاری وجود دارد که ژئوپولیتیک انرژی‌های

ساکنان این ناحیه (ایران) جغرافیای را با مناقشه روبه‌رو ساخته است که طبق گفته در سطح بین‌المللی نیز جنگ‌های آینده بیشتر بر سر آب خواهد بود که این موضوع تداعی‌گر ارزش روز افزون ژئوپولیتیک آب در سطح محلی و بین‌المللی می‌باشد (معرفت و کیانی ۱۳۹۹). از سوی دیگر با کمبود آب، مهاجرت به نواحی پیرامونی شهرهای بزرگ علاوه بر نابسامانی‌های اقتصادی و اجتماعی، شرایط مساعدی برای تشدید محرومیت‌ها به وجود می‌آورد که گرایش‌ها به سمت فعالیت‌های غیرقانونی فرامرزی و منطقه‌ای مانند قاچاق مواد مخدر، کالا و انسان سهم بسزایی در تداوم بی‌ثباتی و هرج‌ومرج خواهد داشت. این معضلات اگرچه به نظر اقدام اساسی لازم را برای تزلزل ساختارهای ملی ایجاد نمی‌کند اما به‌طور مستقیم بقای جوامع انسانی را با چالش‌های متعددی مواجه می‌سازند که تبعات منفی آن بر سرمایه‌های اقتصادی-اجتماعی غیرقابل انکار خواهد بود. خسارت ناشی از کمبود آب بیش‌تر از خسارت ناشی از سایر مخاطرات محیطی مانند سیل، زمین‌لرزه، طوفان و غیره می‌باشد و اثرات ناشی از بحران آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، بهداشتی، روابط بین‌المللی و همچنین زیست‌محیطی به صورت تدریجی ظاهر می‌شود و اثرات منفی از خود به‌جای می‌گذارد به همین دلیل کمبود آب تبدیل به یک چالش و یا بحران شده است. در صورتی که تمهیدات لازم برای مقابله و کاهش اثرات نامطلوب بحران آب اندیشیده نشود این بحران تبدیل به جنگ و تنش مابین کشورها می‌شود که اثرات جبران‌ناپذیری را در بر خواهد داشت. آنچه ضروری می‌نماید ایجاد اقدام جهانی برای تضمین امنیت دسترسی به آب سالم برای همه جهانیان است. همچنین محسوب نمودن برخورداری همگان از آب به‌عنوان یکی از عوامل اساسی حقوق بشر، تدوین سیاست‌های ملی و منطقه‌ای و افزایش کمک بین‌المللی به کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته در کنار برنامه اقدام جهانی برای حل معضل بحران آب بسیار مؤثر است. اهمیت و تأثیر آب در حیات اقتصادی و اجتماعی ملت‌ها موضوع تازه و جدیدی نیست آب از ابتدا و از آغاز حیات در کره زمین در شکل‌گیری تمدن‌ها روش زندگی بشر و تکنولوژی نقش بسیار مهمی داشته است. محدودیت منابع آب اولین مانع گسترش و توسعه تولیدات کشاورزی در دهه آینده خواهد بود. الگوی نادرست مصرف در کشورهای صنعتی و پیشرفته باعث تشدید بحران آب و کاهش موادغذایی در نقاط دیگر جهان می‌گردد. هم‌اکنون هم کمبود موادغذایی در کشورهایی که با نرخ رشد جمعیت بالا روبرو هستند کاملاً محسوس است از طرفی بروز خشکسالی‌ها معضلات اجتماعی، تورم و کساد اقتصادی نیز وضعیت این کشورها را آسیب‌پذیرتر می‌نماید. وضعیت این کشورها به گونه‌ای است که با میلیون‌ها آواره در واقع آواره‌های

درازای تاریخ درگیری‌های بسیاری بر سر استفاده از آب رودخانه‌ها مثل رودخانه‌های دجله و فرات وجود داشته است. مثال سیاسی دیگر، کنترل اسرائیل از زمان تأسیس آن بر منابع آبی در منطقه شام است، جایی که اسرائیل منابع آبی خودش را تأمین می‌کند و این موضوع یکی از چندین محرک جنگ شش‌روزه ۱۹۶۷ بود. امنیت آب گاهی با اجرای نمک‌زدایی آب، خطوط لوله بین منابع و کاربران، مجوزهای آب با سطوح امنیتی متفاوت و حتی جنگ دنبال می‌شود. تخصیص آب بین کاربران رقیب، به‌طور فزاینده‌ای با استفاده از برنامه‌های کاربردی قیمت‌گذاری مبتنی بر بازار برای مجوزهای آب، تعیین می‌شود (گری و همکاران ۲۰۱۷).

– اثرات ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب

بهره‌برداری بی‌رویه از طبیعت موجود منجر به بحران‌های زیست‌محیطی شده است. هرچند خود دولت‌ها نقش محوری در ایجاد این بحران‌ها دارند، اما به احساس خطر و تشریک مساعی دولت‌ها و جامعه بین‌المللی انجامیده است. گسترش بحران‌های زیست‌محیطی و پیامدهای ناشی از آن، زمینه‌الگوهای تعامل و همکاری، یا کشمکش بین گروه‌ها، بازیگران سیاسی و کشورها را فراهم کرده و باعث جلب توجه به جغرافیای سیاسی و ژئوپولیتیک، در حل مسائل زیست‌محیطی شده است. به گونه‌ای که این موضوع به‌صورت یکی از گرایش‌های ژئوپولیتیک در آمده است و همچنین، برخی آن را مترادف با ژئوپولیتیک منابع می‌دانند (دالبی ۱۳۸۳). آب به‌عنوان یکی از عناصر مورد توجه در مسائل محلی و بین‌المللی است که هیچ ماده‌ای برای جایگزینی آن غیرممکن و بازیابی تصفیه آن بس پر هزینه و سخت است و تأثیر ژرفی در معادلات سیاسی و اقتصادی سطح کشورها داد. با توجه به تشدید روند افزایشی خشکسالی و پیروی کشور ایران از الگوی نامناسب بارشی زمانی و مکانی و کاهش ریزش‌های جوی به صورت برف، باران و سایر روش‌های محسوس و نامحسوس موجب کم‌آبی در ایران گشته و این مساله که رابطه مستقیمی با نحوه معیشت ساکنان آن نواحی دارد تبدیل به بحران گشته و پیامدهای نزاع و درگیری در سطح منطقه‌ای بین کشورهای مرزی همجوار به طور عام و در سطح ملی، تقسیمات کشوری (داخلی) به طور خاص جلوه‌گر است. آب به‌عنوان یک ماده رقابتی در اثر کمبود آن جامعه هدف ما را مورد مخاطره قرار داده و از آنجایی که یک ماده حیاتی برای بخش‌های کشاورزی، صنعت، خدمات (مصرف خانگی) است و هرکدام نیاز بخصوصی برای سرپا نگه داشتن فعالیت خود به آن وابسته‌اند که از این بین میتوان گفت کشاورزی بیش‌ترین مصرف را به‌خود اختصاص می‌دهد و از بنیادهای مهم زیستی بشر است. کمبود آب زندگی افراد محلی

۱۳۵۰ کیلومتر) است که هدف آن انتقال آب از دو مخزنی است که قرار است در رودخانه اوبانگی، یکی از شاخه‌های اصلی رود کنگو ساخته شود. این مقاله بر اتلاف‌های گفتمانی متمرکز است که برای ترویج یا مسدود کردن پروژه IBWT در حال رقابت هستند و شامل شرکت‌ها، کشورهای ساحلی هر دو حوزه، کشورهای غیرساحلی، سازمان‌های بین‌المللی، NGOها و کارشناسان است.

سعیدی و صادقی ده‌چشمه (۱۴۰۲) در پژوهشی به تحلیل سناریوهای پیامدهای امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته‌اند که رویکرد حاکم بر این پژوهش کاربردی- نظری و از لحاظ ماهیت توصیفی و تحلیلی- ساختاری است. گردآوری و تحلیل اطلاعات در بخش توصیفی، از طریق مطالعه اسناد کتابخانه‌ای و در بخش تحلیلی از روش‌های دلفی، تحلیل ساختاری و سناریونگاری بهره گرفته شده است. یافته‌های حاصل از روش تحلیل ساختاری نشان داد که پیشران‌های حکمرانی آب، طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای آب، تنش‌ها و منازعات محلی و منطقه‌ای، تبعیض‌های سیاسی، اقتدار سیاسی نظام، مهاجرت، فقر و محرومیت، سرمایه اجتماعی، بیکاری، امنیت روانی، اعتماد اجتماعی، انسجام اجتماعی و مشارکت نهادهای محلی، مشارکت عمومی، مهم‌ترین پیشران‌های اثرگذار امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس اولویت اثرگذاری محسوب می‌شوند. همچنین نتایج تحلیل سناریوهای چالش‌ها و پیشران‌های اثرگذار امنیتی بحران آب در استان نشان داد که تعداد چهار سناریوی قوی و با سازگاری درونی (یک سناریو با وضعیت‌های مطلوب و ۳ سناریو با وضعیت‌های بحرانی) پیش‌روی چالش‌های امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. از این‌رو ادامه روند حاکم بر مدیریت بحران آب و عدم کاربرد راهبردهایی مؤثر، نه تنها وضعیت بهتری در مدیریت بحران آب به وجود نخواهد آمد، بلکه با گسترش شکاف موجود منجر به بروز بدترین سناریو ممکن «سناریو ۱۳» با حالات بحرانی در تمام عوامل می‌گردد. مطلوب‌ترین سناریو برای مدیریت آینده‌نگر نسبت به چالش‌های امنیتی بحران آب نیز پیشنهاد و گزینش پیشران‌های سناریوی اول مبتنی بر ۱۳ وضعیت ایده‌آل به‌منظور ارتقاء شرایط حاکم بر چالش‌های امنیتی بحران آب در چارچوب حکمروایی بهینه آب است. سبزیان و اکبری (۱۴۰۱) در پژوهشی به آینده پژوهی و چالش‌های امنیتی بحران آب خراسان جنوبی پرداخته‌اند که نتایج نشان داد که افزایش جمعیت، جهت‌گیری مصرف‌گرایی و استفاده بی‌رویه نابجا از فناوری‌ها، سبب شده منابع آبی موجود بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن، با سرعت و قدرت بیشتری استخراج گردند. در حال حاضر تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی (که

زیست‌محیطی روبرو هستند که به ناچار سرزمین‌های خود را ترک می‌کنند. بالقوه موازنه زیست‌محیطی را در کشور میزبان به مخاطره می‌اندازند (شریعتمداری و انصاری مقدم ۱۳۹۴).

پالاشس (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی اشتراک آب در حوضه بین‌المللی رودخانه تاگوس، یک رویکرد ژئوپولیتیکی برای توضیح مسائل حاکمیت آب در اسپانیا پرداخته است. این مقاله مروری بر سیاست‌های مختلف، استراتژی‌های سیاسی و درگیری‌های فضایی در مورد مسائل آب در قرن بیست و یکم اسپانیا، با مثالی گویا در مورد مدیریت رودخانه تاگوس ارائه می‌دهد. این حوضه رودخانه بین‌المللی، که بین اسپانیا و پرتغال مشترک است، باید مانند تمام حوضه‌های رودخانه در اتحادیه اروپا، الزامات دستورالعمل چارچوب آب را برآورده کند. قدرت اعطا شده به مناطق اسپانیایی، الگوهای توسعه اقتصادی نامتقارن آنها، و خشکسالی‌های بدتر مرتبط با تغییرات آب و هوایی، یک درگیری آبی ایجاد کرده است. ارتکین (۲۰۲۱) در مقاله‌ای به بررسی اهمیت ژئوپولیتیکی و ژئواستراتژیکی منابع آب در قرن بیست و دوم، نگاهی به جهان امروز در مواجهه با مشکلات آب اقدام کرده است. از نتایج به‌دست آمده در مطالعه، به نظر می‌رسد که مطالعات انجام شده در زمینه مبارزه با کمبود آب، بیش از آنکه راه‌حل مؤثری باشد، به اقدامات سطحی و توصیه‌های اصلی محدود می‌شود. المصیری و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی رویکردی سیستمی برای درک تنش‌های ژئوپولیتیک در خاورمیانه در مواجهه با کمبود آب جهانی پرداخته‌اند. از سیستم دینامیک برای توسعه مدلی برای مدیریت منابع آب استفاده شده است و از طریق مسائل شبیه‌سازی به منظور برجسته کردن سیاست‌های مورد نیاز، بهره‌گیری شده است. این تحلیل بخشی از تفکر و سیاست‌های موجود را تأیید می‌کند و نیاز به همکاری فرامرزی و تأکید بر حوزه‌هایی را که ممکن است به‌طور سنتی به‌عنوان اولویت‌های کلیدی تلقی نشوند، بیشتر نشان می‌دهد (مانند مدیریت تقاضا، در مقابل تداوم عرضه).

سایان و ناگاباتل (۲۰۲۰) در مقاله‌ای با عنوان قدرت نرم، اتلاف‌های گفتمانی و انتقال آب بین حوضه‌ای مطرح شده میان دریاچه چاد و رودخانه کنگو، بیان می‌کنند که در دهه ۱۹۶۰، کاهش سطح آب در دریاچه چاد موضوع مهمی در برنامه‌های سیاسی منطقه ساحلی بوده است. برای چند دهه، هدایت آب از رودخانه کنگو به دریاچه چاد از طریق انتقال آب بین حوضه (IBWT) تنها راه نجات دریاچه چاد در نظر گرفته شده است. بر این اساس، دو پروژه IBWT روی میز گذاشته شده است. اولین، پروژه Transaqua از دهه ۱۹۷۰ در حال توسعه است. این شامل احداث کانال ۲۴۰۰ کیلومتری بین دو حوضه است. پیشنهاد دوم در سال ۲۰۱۱ تهیه شد و مستلزم احداث یک کانال کوتاه‌تر

توجه زیادی در پژوهش‌های داخلی و خارجی قرار داشته است ولی در مقاله حاضر، بررسی پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های غرب استان فارس به روش کمی که نتایج آن در چهار بعد محیط طبیعی، محیط زیست جانوری-گیاهی، محیط زیست انسانی و اقلیم پرداخته شده است دارای جنبه نوآورانه بوده و پژوهشی که این موضوع را مورد توجه قرار داده باشد یافت نشد.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبریز مورد بررسی در این مقاله شامل هندیجان، جراحی و حله می‌باشند که حوضه‌های مشترک در محدوده استان‌های فارس، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد هستند. این حوضه‌ها در غرب استان فارس قرار دارند. حوضه آبریز رودخانه جراحی-هندیجان دارای مساحتی حدود ۴۰۸۰۵ کیلومتر مربع، طول متوسط ۳۶۵ کیلومتر و عرض متوسط ۱۳۷ کیلومتر است. رودخانه جراحی با طول حدود ۴۳۸ کیلومتر در بخش زاگرس مرتفع (۸۰ کیلومتری باختر یاسوج) از ارتفاع ۲۲۰۰ متر از سطح دریا شروع می‌شود، به سوی جنوب تا تالاب شادگان ادامه دارد و شاخه هندیجان از کوه‌های جنوب یاسوج (سپیدار) و اردکان فارس شروع می‌شود و با نام هندیجان به خلیج فارس می‌ریزد. بیش‌ترین ارتفاع ناحیه حدود ۳۴۰۰ متر مربوط به تاقدیس نیر و کم‌ترین ارتفاع مربوط به مدخل رودخانه‌های جراحی و هندیجان به دریای خلیج فارس بوده که کمتر از یک متر است. سنگ‌شناسی ناحیه، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی مزوزوییک در بخش شمالی ناحیه یعنی زاگرس مرتفع و سنوزوییک در بخش میانی و جنوبی منطقه مورد مطالعه است (احسانی و همکاران ۱۳۹۴). حوضه‌های آبریز درجه دو استان به تفکیک حوضه‌های فلات مرکزی و خلیج فارس و دریای عمان مشتمل بر موارد ذیل می‌باشد. (شکل ۱)

دومین منبع آب شیرین در دنیا است) چالش جدی را در بیش‌تر کشورها ایجاد نموده است. باید پذیرفت که با رشد جمعیت جهان در هزاره سوم، ارتقای سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی، صنایع و گسترش کشاورزی، نزاع بر سر آب تشدید می‌یابد به طوری که پیش‌بینی می‌شود در آینده مسئله آب از مهم‌ترین زمینه‌های بروز منازعات و مناقشات محسوب شود. آنچه مسئله آب را به مباحث امنیت پیوند می‌دهد همین تهدیدها هستند. نادری و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل تأثیر عوامل انسانی و محیطی بر تضاد ذی‌نفعان در حوضه آبریز زاینده‌رود، بیان می‌کنند که همزمان با افزایش بحران آب در حوضه‌های آبریز، درگیری‌های بین ذی‌نفعان آن در حال تشدید است. افزایش تضاد در حوضه‌های آبریز می‌تواند ناشی از عوامل مختلف انسانی و طبیعی، از جمله حکمرانی و مدیریت ضعیف منابع و تغییرات اقلیم باشد. نتایج نشان داد که عوامل انسانی از جمله عوامل اجتماعی - فرهنگی، افزایش تقاضا برای آب، سیاست‌های انتقال بین حوضه‌ای آب و عوامل حکمرانی از دیدگاه کارشناسان مرتبط بیشترین تأثیر را در مدیریت تضاد داشتند. همچنین عوامل محیطی نظیر تغییرات اقلیم از جمله کاهش بارش و منابع آب، سبب تشدید تضاد در حوضه شده‌اند. از سوی دیگر، تأثیر عوامل انسانی نظیر حکمرانی و سیاست‌های اخذ شده در بحران آب و تضاد ناشی از آن بسیار تأثیرگذارتر از عوامل طبیعی بوده است. برخی از راهبردها همچون مدیریت راهبردی، انتقال آب بین حوضه‌ای، و افزایش نظارت برای مدیریت تضاد ناشی از بحران آب در حوضه به کار گرفته شده‌اند. از سوی دیگر، تعدادی از مدیران و سیاست‌گذاران معتقدند که برخی راهکارهای اجرا شده نه تنها به کاهش تضاد در حوضه کمکی نکرده‌اند، بلکه سبب افزایش تنش نیز شده‌اند. با بررسی پیشینه‌های پژوهش مرتبط با موضوع مقاله، می‌توان بیان کرد که هر چند موضوع محیط زیست و چالش‌های آن، از مباحث اصلی بوده است که محققان به آن پرداخته‌اند و به ویژه بحران آب و کم‌آبی مورد



شکل ۱- حوضه‌های آبریز درجه دو استان فارس به تفکیک

- روش انجام پژوهش

هدف از پژوهش حاضر تبیین پیامدهای ژئوپولیتیک زیست‌محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس می‌باشد. پرسش اصلی مطرح در این مقاله این است که پیامدهای ژئوپولیتیک زیست‌محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس چگونه است؟ بنابراین انگاره مطرح شده این‌گونه به این سوال پاسخ می‌دهد که پیامدهای ژئوپولیتیک زیست‌محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس، بحرانی و چالش‌زا می‌باشد. پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد. جامعه آماری تحقیق حاضر، ۱۳۸ نفر از افراد کارشناس و نخبه در زمینه جغرافیای

سیاسی و مدیریت منابع آب در سطح استان فارس بوده و حجم نمونه با استفاده از جدول مورگان تعداد ۱۰۲ نفر به‌صورت در دسترس در نظر گرفته شدند. پرسش‌نامه این تحقیق دارای ۴۴ سوال ۵ گزینه‌ای (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) در بخش‌های محیط‌طبیعی با ۱۹ سوال، محیط‌زیست جانوری-گیاهی با ۱۲ سوال، محیط‌زیست انسانی با ۹ سوال و اقلیم با ۴ سوال می‌باشد (جدول ۱). که روایی آن به شیوه صوری، محتوایی و سازه‌ای و پایایی آن بر اساس آلفای کرونباخ به میزان ۰/۸۶ مورد تأیید واقع شده است. داده‌های گردآوری شده بر اساس آزمون‌های فریدمن، تحلیل عاملی تأییدی و معادلات ساختاری با نرم افزار PLS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱- سوالات پرسشنامه

متغیر	ردیف	میزان پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس برای هر یک از گزینه‌ها به چه مقدار است؟
محیط طبیعی	۱	از بین رفتن زیبایی‌های طبیعی محیط (تالاب‌ها و چشمه‌ها و غیره)
	۲	آلودگی منابع آب
	۳	از بین رفتن و خشک شدن چاه‌ها و قنوات
	۴	شور شدن آب
	۵	افزایش سیل
	۶	کاهش اثر پالایندگی منابع آبی
	۷	افزایش استفاده از پساب‌ها
	۸	قطع شدن آب شهری و تبعات بهداشتی آن
	۹	کاهش کیفیت آب آشامیدنی
	۱۰	بهره‌برداری بی‌رویه از منابع تالاب‌ها
	۱۱	تغییر کاربری اراضی و باغ‌ها
	۱۲	آلودگی منابع خاک
	۱۳	نشست زمین
	۱۴	شور شدن خاک
	۱۵	افت راندمان محصولات کشاورزی
	۱۶	از بین رفتن خاک مرغوب کشاورزی
	۱۷	افزایش تعداد روزهای ناسالم
	۱۸	افزایش پدیده گردوغبار
	۱۹	افزایش آلودگی هوا
محیط زیست جانوری-گیاهی	۲۰	از بین رفتن گونه‌های گیاهی
	۲۱	از بین رفتن مراتع بر اثر بی‌آبی و چرای مفرط
	۲۲	افزایش آفات گیاهی
	۲۳	تغییر نظام کشت
	۲۴	کاهش مساحت جنگل‌ها
	۲۵	کاهش فضای سبز شهری
	۲۶	افزایش آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها و غیره
	۲۷	از بین رفتن گونه‌های جانوری

متغیر	ردیف	میزان پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس برای هر یک از گزینه‌ها به چه مقدار است؟
محیط زیست جانوری-گیاهی	۲۸	کاهش پرورش آبزیان در حوضه آبخیز
	۲۹	افزایش تلفات دام
	۳۰	افزایش کشتار دام و تغییرات شدید قیمت گوشت
	۳۱	تغییر مسیر مهاجرت‌های حیات وحش
محیط زیست انسانی	۳۲	از بین رفتن روستاها
	۳۳	از بین رفتن زیرساخت‌ها و مساکن
	۳۴	جابجایی عشایر و دامداران به مناطق بکرتر
	۳۵	افزایش بیماری
	۳۶	مهاجرت‌های گسترده و تبعات محیطی آن
	۳۷	گرایش معیشتی به فعالیت‌های حاشیه‌ای و غیررسمی و تبعات زیستی آن
	۳۸	نزاع و درگیری بر سر منابع آبی
اقلیم	۳۹	افزایش بهره‌برداری از مناطق، بیشتر از ظرفیت آن‌ها
	۴۰	کاهش مناطق دارای قابلیت گردشگری
	۴۱	تغییر اقلیم ناحیه‌ای
	۴۲	افزایش نواحی بیابانی
	۴۳	افزایش دما
	۴۴	افزایش ورزش بادهای تند و گرم

نتایج و بحث

شده‌اند که در جدول ۲ ارائه شده است. باید بیان داشت که برای بررسی میانگین و انحراف معیار هر شاخص، همه گویه‌ها با هم ترکیب شده است و میانگین کلی مدنظر قرار گرفته است.

در ابتدا به بررسی توصیفی متغیرهای پژوهش پرداخته شده است. شاخص‌ها و متغیرهای پژوهش در زمینه پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب در استان فارس به ۴ دسته تقسیم

جدول ۲- آمارهای توصیفی ویژگی‌های شاخص‌های پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب

آماره	میانگین	انحراف معیار	زیرشاخص‌ها
۰/۵۲۹۸	۳/۷۵		محیط طبیعی
۰/۵۰۳۷	۳/۷۸		محیط زیست جانوری-گیاهی
۰/۵۵۲۲	۳/۷۲		محیط زیست انسانی
۰/۴۱۴۳	۳/۸۴		اقلیم

محیط زیست جانوری-گیاهی، محیط طبیعی و محیط زیست انسانی در رتبه‌های بعدی به لحاظ وضعیت بحرانی قرار دارند. در این قسمت با بهره‌گیری از تحلیل مسیر معادلات ساختاری و تحلیل عاملی تأییدی به بررسی میزان تأثیرپذیری هر یک از پیامدها از بحران آب در حوضه‌های آبریز غرب استان فارس پرداخته شده است.

جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد (جدول ۲) که وضعیت هر ۴ شاخص در سطح متوسط به بالا قرار دارد و این نشانگر وضعیت بحرانی حوضه‌های آبریز غرب استان فارس در زمینه پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بوده و از بین آن‌ها شاخص اقلیم نسبت به ۳ شاخص دیگر در وضعیت حادث‌تری قرار دارد. شاخص‌های

روایی همگرا

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار میانگین واریانس استخراج شده برای متغیرهای مکنون بالاتر از ۰/۵ است. بنابراین

می‌توان گفت که روایی همگرایی مدل‌های اندازه‌گیری مطلوب می‌باشد. در این تحقیق جهت تعیین پایایی پرسش‌نامه از دو معیار (ضریب آلفای کرونباخ^۳ و ضریب پایایی مرکب^۴) بر طبق نظر فورنل و لاکر (۱۹۸۱) استفاده شده است.

جدول ۳- مقادیر روایی مربوط به هر یک از متغیرها

متغیر	روایی
اقلیم	۰/۵۲۳
محیط‌زیست انسانی	۰/۵۵۱
محیط‌زیست جانوری-گیاهی	۰/۶۵۳
محیط طبیعی	۰/۵۵۸
پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب	۰/۹۲۱

- پایایی (کرونباخ و مرکب)

ضرایب آلفای کرونباخ تمامی متغیرها در این تحقیق، از حداقل مقدار (۰/۷) بیشتر است. پایایی مرکب برخلاف آلفای کرونباخ که به‌طور ضمنی فرض می‌کند هر شاخص وزن یکسانی دارد، متکی

بر بارهای عاملی حقیقی هر سازه است و بنابراین معیار بهتری را برای پایایی ارائه می‌دهد. پایایی مرکب باید مقداری بیش از ۰/۷ را به‌دست آورد تا بیانگر ثبات درونی سازه باشد (فورنل و لاکر ۱۹۸۱). در جدول ۴ نتایج پایایی ابزار سنجش به‌طور کامل آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر روایی و پایایی مربوط به هر یک از متغیرها

ردیف	متغیر	آلفای کرونباخ	پایایی مرکب
۱	اقلیم	۰/۸۴۰	۰/۸۰۳
۲	محیط‌زیست انسانی	۰/۸۴۶	۰/۸۷۸
۳	محیط‌زیست جانوری-گیاهی	۰/۸۸۶	۰/۹۰۶
۴	محیط طبیعی	۰/۹۰۵	۰/۹۱۳
۵	پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب	۰/۸۲۵	۰/۸۸۵

جدول ۵ بررسی روایی واگرایی مدل پژوهش را نشان می‌دهد. روایی واگرایی اندازه‌ای است که یک سازه به درستی از سایر سازه‌ها با معیار تجربی متمایز می‌شود. این روایی در دو سطح معرف و متغیر مکنون محاسبه می‌شود. در سطح معرف برای محاسبه روایی واگرایی از بارهای عرضی استفاده می‌شود که لازم است بار یک معرف متناظر سازه، بیشتر از همه بارهای آن معرف روی سایر سازه‌ها باشد. در سطح متغیر مکنون از معیار فورنل-لارکر استفاده شد که ریشه دوم میانگین واریانس استخراج شده (AVE)، هر متغیر مکنون باید بیشتر از بالاترین همبستگی آن

سازه با سایر سازه‌های مدل باشد، یعنی مقدار جذر میانگین واریانس استخراجی (AVE) متغیرهای مکنون در پژوهش حاضر که در خانه‌های موجود در قطر اصلی ماتریس قرار گرفته‌اند، از مقدار همبستگی میان آن‌ها که در خانه‌های زیرین و چپ قطر اصلی ترتیب داده شده‌اند بیشتر باشد. منطق این سازه این است که یک سازه باید واریانس بیشتری با معرف‌های خود تا سایر سازه‌ها داشته باشد (فورنل و لاکر ۱۹۸۱). نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تمامی متغیرها، روایی واگرایی قابل قبولی دارند. حال در ادامه مدل درونی (ساختاری) پژوهش بررسی می‌گردد.

1. Mean variance extracted
2. Reliability
3. Coefficient of Cronbach's alpha
4. Coefficient of Composite Reliability

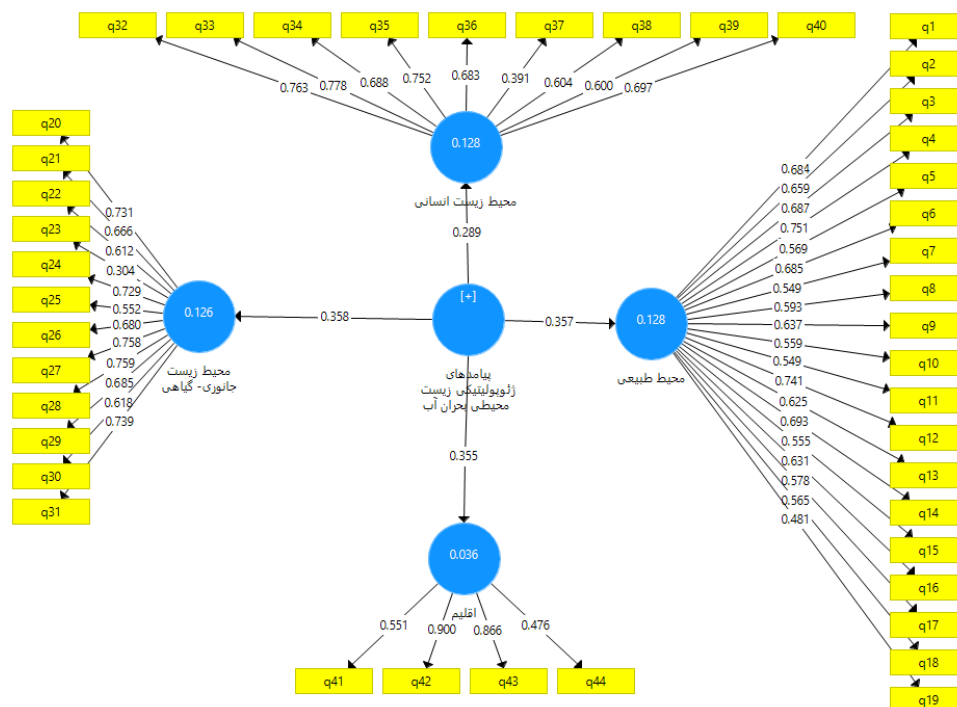
جدول ۵- بررسی روایی واگرایی مدل پژوهش

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰/۷۳۵				
۲	۰/۷۲۳	۰/۷۳۳			
۳	۰/۵۵۵	۰/۶۷۱	۰/۶۷۳		
۴	۰/۴۲۲	۰/۵۰۸	۰/۵۴۴	۰/۵۹۹	
۵	۰/۳۸۹	۰/۳۵۸	۰/۳۵۵	۰/۳۵۷	۰/۵۸۱

(مشاهده شده) است. به عبارت دیگر، مدل‌یابی معادلات ساختاری تکنیک آماری قدرت‌مندی است که مدل اندازه‌گیری (تحلیل عاملی تأییدی) و مدل ساختاری (رگرسیون یا تحلیل مسیر) را با یک آزمون آماری همزمان ترکیب می‌کند. از طریق این فنون پژوهشگران می‌توانند ساختارهای فرضی (مدل‌ها) را رد یا انطباق آن‌ها را با داده‌ها تأیید کنند. به منظور تحلیل مدل مفهومی پژوهش از نرم‌افزار اسمارت پی‌ال‌اس^۵ استفاده شد. شکل ۲ مدل ساختاری نهایی پژوهش با مقادیر بارهای عاملی و ضرایب مسیر (بتا) نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش با استفاده از مدل‌یابی معادلات ساختاری (Smart-PLS)

در این قسمت با بیان فرضیات تحقیق و استفاده از نتایج آزمون مدل ساختاری در پی آزمون فرضیات تحقیق و تحلیل نتایج حاصل هستیم. برای تحلیل و سنجش مدل این تحقیق از تحلیل داده‌ها به‌وسیله مدل معادلات ساختاری استفاده شده است. مدل‌یابی معادلات ساختاری، مدلی آماری برای بررسی روابط خطی بین متغیرهای مکنون (مشاهده نشده) و متغیرهای آشکار



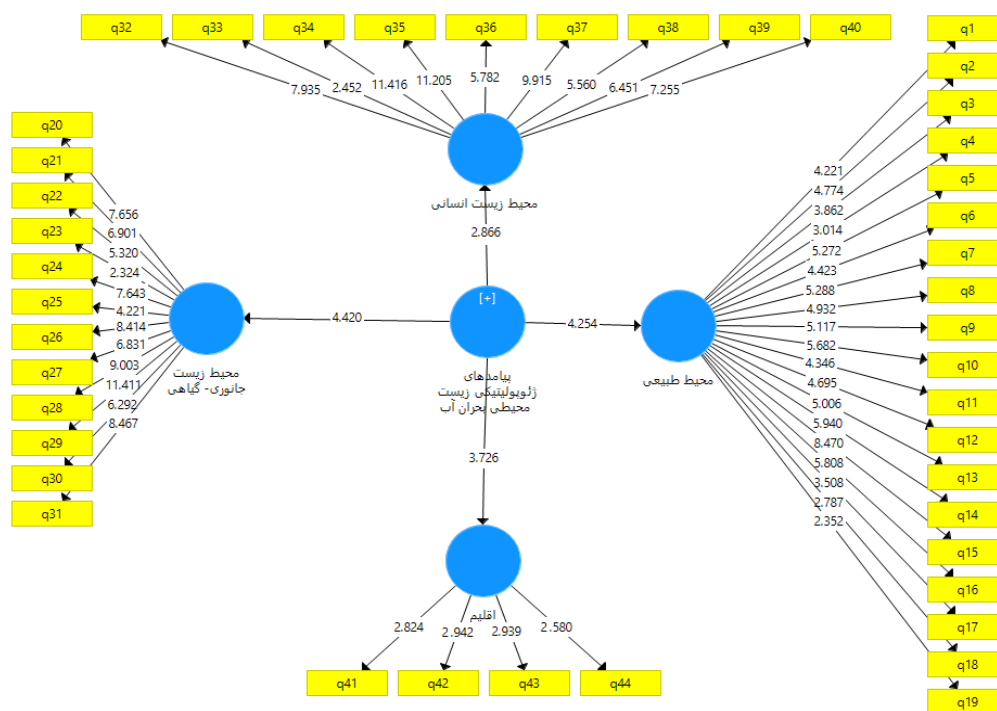
شکل ۲- مدل ساختاری نهایی پژوهش با مقادیر بارهای عاملی و ضرایب مسیر (بتا)

غربی استان فارس پذیرا هست و سپس محیط طبیعی، اقلیم و محیط‌زیست انسانی قرار گرفته‌اند. همچنین ضرایب عاملی نشان

نتایج تحلیل مسیر معادلات ساختاری نشان داد که محیط زیست جانوری-گیاهی بیشترین تأثیر را از بحران آب در حوضه‌های

می‌باشد. در اقلیم، گویه‌های افزایش دما، افزایش نواحی بیابانی و تغییر اقلیم ناحیه‌ای) دارای بیش‌ترین میزان بار عاملی بوده است. در محیط‌زیست انسانی، گویه‌های از بین رفتن زیرساخت‌ها و مسکن، از بین رفتن روستاها، افزایش بیماری، کاهش مناطق دارای قابلیت گردشگری دارای بیش‌ترین میزان بار عاملی بوده است. شکل ۳ مدل ساختاری نهایی پژوهش با مقادیر بحرانی (آماره تی) را نشان می‌دهد.

داد که در محیط‌زیست جانوری-گیاهی، گویه‌های کاهش پرورش آبریزان در حوضه آبریز، از بین رفتن گونه‌های جانوری، تغییر مسیر مهاجرت‌های حیات وحش، از بین رفتن گونه‌های گیاهی و کاهش مساحت جنگل‌ها دارای بیش‌ترین میزان بار عاملی می‌باشند. در محیط‌طبیعی گویه‌های شور شدن آب، آلودگی منابع خاک، شور شدن خاک، از بین رفتن و خشک شدن قنوات و چاه‌ها، کاهش اثر پالایندگی منابع آب و از بین رفتن زیبایی‌های محیط‌طبیعی (تالاب‌ها، چشمه‌ها و غیره) دارای بیش‌ترین میزان بار عاملی



شکل ۳- مدل ساختاری نهایی پژوهش با مقادیر بحرانی (آماره تی)

هم‌خطی بودن بین متغیرها می‌باشد که با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود شرط عدم هم‌خطی برای هر متغیر رعایت شده است.

در بخش مدل درونی، ارتباط بین متغیرهای مکنون پژوهش مورد تحلیل قرار می‌گیرد. اولین معیار برای بررسی مدل درونی، بررسی عدم هم‌خطی بودن متغیرهاست که به این منظور از عامل تورم واریانس (VIF) استفاده می‌شود. (VIF بالاتر از ۰/۵)، نشان‌دهنده

جدول ۶- نتایج شاخص‌های هم‌خطی

VIF	متغیرها
۲/۴۳۶	اقلیم
۱/۵۷۵	محیط‌زیست انسانی
۱/۸۶۱	محیط‌زیست جانوری-گیاهی
۱/۶۰۵	محیط طبیعی
۱/۰۰۰	پیامدهای ژئوپولیتیکای زیست محیطی بحران آب

این شاخص به صورت میانگین R^2 و متوسط شاخص مقادیر اشتراکی به صورت دستی از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$GOF = \text{avrage}(\text{comunalitie}) \times R^2 \quad (۱)$$

این شاخص مجذور ضرب دو مقدار متوسط مقادیر اشتراکی (Comunalitie) و متوسط ضریب تعیین (avrage R Square) است. نتایج برازش کلی مدل با معیار GOF در جدول ۷ نشان داده شده است.

سومین معیار ارزیابی مدل محاسبه شاخص نیکویی برازش مدل در حداقل مجذورات جزیی می‌باشد. در مدل‌سازی معادلات ساختاری به کمک روش PLS بر خلاف روش کواریانس محور شاخصی برای سنجش کلی مدل وجود ندارد. ولی شاخصی به نام نیکویی برازش (GOF) توسط تنهاوس و همکاران (۲۰۰۵) پیشنهاد شد. این شاخص هر دو مدل اندازه‌گیری و ساختاری را مدنظر قرار می‌دهد و به عنوان معیاری برای سنجش عملکرد کلی مدل به کار می‌رود. حدود این شاخص بین صفر و یک قرار بوده و وتزلس و همکاران سه مقدار ۰/۰، ۰/۲۵، ۰/۳۶ را به ترتیب به عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF معرفی نمودند.

جدول ۷ - نتایج برازش کلی مدل با معیار GOF

GOF	Communality	R ²	متغیرهای درون‌زا
	۰/۴۳۶	-	اقلیم
	۰/۴۰۴	۰/۴۲۸	محیط‌زیست انسانی
$GOF = \sqrt{0.428 \times 0.394} = 0.627$	۰/۳۶۵	-	محیط‌زیست جانوری-گیاهی
	۰/۴۶۳	-	محیط طبیعی
	۰/۳۰۱	-	پیامدهای ژئوپولیتیک زیست محیطی بحران آب

مطلوبیت کلی مدل حکایت دارد.

شاخص GOF این مدل، ۰/۶۲۷ به دست آمده است که از

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خشک) به دفعات به وقوع پیوسته و خسارات زیادی در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، به‌خصوص ژئوپولیتیک زیست محیطی و مانند آن به همراه آورده است. بدون تردید، نخستین گام به منظور مقابله مناسب با بحران آب و پیامدهای آن، شناخت و درک دقیق این پدیده و تأثیرات ناشی از آن در ابعاد مختلف است، تا بتوان بر اساس آن، راهبردها و راهکارهای اثربخشی را در این زمینه تدوین کرد و به‌کار گرفت.

در رتبه‌بندی متغیرهای پژوهش مشاهده شد که متغیر اقلیم با میانگین ۲۳/۴۵ در رتبه نخست، متغیر محیط‌زیست گیاهی-جانوری با میانگین ۲۲/۷۵ در رتبه دوم، متغیر طبیعی با میانگین ۲۲/۴۵ در رتبه سوم و متغیر محیط‌زیست انسانی با میانگین ۲۱/۸۴ در رتبه چهارم قرار گرفته است. بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان داشت که برنامه‌های مقابله با بحران آب جزئی از برنامه‌های توسعه هر کشوری است که برای جلوگیری از بحران‌های مختلف به‌خصوص در زمینه‌های

نتایج تحلیل مسیر معادلات ساختاری نشان داد که متغیر محیط‌زیست جانوری-گیاهی بیش‌ترین تأثیر را از بحران آب در حوضه‌های غربی استان فارس پذیرا است. متغیرهای محیط‌طبیعی، اقلیم و محیط‌زیست انسانی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. همچنین آنالیز ضرایب عاملی نشان داد که در محیط‌زیست جانوری-گیاهی، گویه‌های کاهش پرورش آبریان در حوضه آبریز، از بین رفتن گونه‌های جانوری، در محیط‌طبیعی گویه‌های شور شدن آب، آلودگی منابع خاک، شور شدن خاک، از بین رفتن و خشک شدن قنات و چاه‌ها، در اقلیم، گویه‌های افزایش دما، افزایش نواحی بیابانی و تغییر اقلیم ناحیه‌ای و در محیط‌زیست انسانی، گویه‌های از بین رفتن زیرساخت‌ها و مسکن، از بین رفتن روستاها، افزایش بیماری دارای بیشترین میزان بار عاملی بوده است. بر این اساس بحران آب به عنوان بالای طبیعی و انسانی و پدیده‌ای مهم از دیرباز در پهنه وسیع کشورهای مختلف (به ویژه مناطق واقع در اقلیم‌های گرم و

باشد. این امر با در نظر گرفتن نقش تأثیرگذار سرمایه‌های انسانی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی آن انجام می‌پذیرد که با بهبود دانش مسئولین و مردم محلی در زمینه مدیریت بحران آب، بهبود مهارت‌های لازم در مدیریت بحران آب و راهکارهای تخصصی و بهره‌گیری از متخصصین در این زمینه می‌تواند تحقق پیدا نماید. نتایج به‌دست آمده از این قسمت با نتایج تحقیق مختاری‌هشی و مرادی (۱۴۰۰) که در مقاله‌ای با عنوان تبعات زیست‌محیطی بحران آب در ایران پرداخته‌اند، همسو بوده و بیان می‌کنند که ایران از نظر موقعیت جغرافیایی در کمربند خشک کره‌زمین قرار گرفته است که این امر موجب کمبود طبیعی آب در کشور شده است. همچنین با نتایج تحقیق نصرآبادی (۱۳۹۴) که بیان می‌کنند ایران مشابه بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان در دهه‌های اخیر کمبود جدی در منابع آب را تجربه کرده و در حال حاضر با بحران آب مواجه است، مطابقت دارد. علاوه بر پدیده‌های محیطی و طبیعی همچون خشکسالی‌ها، تغییر الگوهای اقلیمی، افزایش دما و تبخیر و تعرق، بحران آب ایران ریشه در رشد فزاینده و توزیع نامتعادل جمعیت، سوءمدیریت منابع آب، ناکارآمدی بخش کشاورزی، بخشی‌نگری مدیران، رشد لجام‌گسیخته شهرنشینی و نبود فرهنگ مناسب مصرف و ارزش واقعی آب دارد.

زیست‌محیطی به‌کار می‌رود اما زمانی که بحران آب به وقوع بپیوندد تمامی ابعاد پایداری تحت تأثیر قرار خواهند گرفت به گونه‌ای که تأثیرات آن بر اقتصاد جوامع کاملاً آشکار می‌گردد و ابعاد زیست‌محیطی نیز شکننده خواهد بود که تأثیرات آن را می‌توان بر سایر ابعاد توسعه پایدار مشاهده کرد. به عبارت دیگر وقوع بحران آب چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی را برای مناطق مختلف از جمله آسیب دیدن زمین و مزارع و باغات و محیط‌زیست شهری و روستایی و مشکل کمبود آب، افزایش فشار و استرس به زنان و کودکان و افزایش جرم و جنایت به بار می‌آورد. اما گسترده‌ترین اثرات بحران آب، اثرات تحمیل شده بر بخش‌های زیست‌محیطی در زمینه‌های کشاورزی، دامداری، جنگل و مرتع و غیره می‌باشد. اقتصاد خانوارهای مناطق مختلف که وابستگی قابل‌توجهی به بخش کشاورزی دارد با کاهش ظرفیت‌های اقتصادی این بخش، اقتصاد خانواده به مخاطره افتاده و پیامدهای بعدی را مثل بیکاری، کمبود درآمد و مهاجرت گسترده جوانان و غیره در پی خواهد داشت. یکی از راه‌های کاهش ابعاد آسیب‌پذیری جوامع مختلف در برابر بحران آب، بهبود سرمایه انسانی و مدیریت آن در این جوامع است، که می‌تواند یکی از راهکارهای اصولی جهت مدیریت، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار

References

1. Al-Masri Raya A, Theodoros S, Stylianos K, Vasiliki L, Theo T. A Systems Approach to Understanding Geopolitical Tensions in the Middle East in the Face of a Global Water Shortage. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*. 2021; 10(4): 1-23.
2. Bayat M. Environmental Diplomacy and the Issue of Water Crisis. the Second National Conference on Healthy Environment and Sustainable Development in the Light of Citizenship Rights, Challenges and Strategies. 2022; Shiraz. [In Persian].
3. Bellware, K. Global Water Shortage Risk Is Worse Than Scientists Thought. *HuffPost*. Retrieved 2020;10-20
4. Dolby, S. Sources and Future Environmental Wars. Translated by Faeza Bahri, Tehran. *Report of Conversation Monthly*. 2004; 3 (10). [In Persian].
5. Ertekin, B A. The Geopolitical and Geostrategic Importance of Water Resources Towards the Twenty-Second Century: a Look at Today's World Confronting Water Problems. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*. 2021; 60(32): 787-818.
6. Ehsani J, Ariyan M, Ghorshi M. Tectonic signs of active tectonics in Abriz Sarhi-Handijan basin (Maron-Zohre rivers) in south-western Iran. *Earth Sciences Quarterly*. 2014; 24(95): 218-211. [In Persian].
7. Grey D, Sadoff, C W. Sink or Swim? Water Security for Growth and Development. *Water Policy*. 2007; 9(6): 545-571.
8. Hamidi S, Mozdkhah E. Türkiye and Hydro-Hegemonism in the Middle East; A Strategy for Regional order in Mesopotamia Geopolitics. *Mesopotamia Political Studies*. 2022; 1(1): 31-54. [In Persian].
9. Kazemi H. Climate Changes, Water Crisis and Social and Political Conflicts in the Middle East. *Journal of Defense Policy*. 2022; 31(120): 217-255. [In Persian].
10. Marefat H, Kayani V. Analysis of the Role of Iran's Water Geopolitics with Local Conflicts. *National Conference on Water, Culture and Humanities Research*. 2019; Birjand. [In Persian].

11. Mokhtari Heshi H. Environmental Consequences of the Water Crisis in Iran. *Space Political Analysis Quarterly*. 3(2): 116-131. [In Persian].
12. Moreau defarge Ph. *Introduction a la Geopolitique*. Translated by Seyyed Hamed Raziei. Tehran. Farhang Maser Publications; 2012. [In Persian].
13. Naderi L, Karmi Dehkordi I, Badsar M, Moghaddis M. Analysis of the Impact of Human and Environmental Factors on the Conflict of Stakeholders in the Zayandeh Rood Watershed. *Rural Research Quarterly*. 2022; 13(1): 68-84. [jrur.2022.332129.1689/10.22059](https://doi.org/10.22059/jrur.2022.332129.1689/10.22059) [In Persian].
14. Nasrabadi I. Environmental Evidence of Iran's Water Crisis and some Solutions. *Social and Cultural Strategy Quarterly*. 2014; 4(15): 65-89. [In Persian].
15. Nosrati H R, Kaviani Rad M, Sasanpour, F. Analyzing the Concept of Water Security from the Perspective of Political Geography and Geopolitics. *International Quarterly of Geopolitics*. 2019; 15(53): 23-59. [In Persian].
16. Palacios, D S. Sharing Water in the International Tagus River basin: a Geopolitical Approach to Explaining Water Governance Issues in Spain, Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional. 2023; DOI: 10.17561/at.23.6965.
17. Sabzban S, Akbari M. The Future of Research and Security Challenges of South Khorasan Water Crisis, the First International Conference and the Second National Conference on Modeling and New Technologies in Water Management. 2022; Birjand. [In Persian].
18. Saidi J, Sadeghi Dehcheshme S. Analysis of Scenarios of Security Consequences of Water Crisis in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Geography (Scientific Quarterly of the Geographical Society of Iran)*. 2023; 21(76): 181-210. [In Persian].
19. Sandalow D. The Geopolitics of Renewable Energy. SSRN Working Paper Series. 2017
20. Sayan R. C., Nagabhatla N. Of the Power, Discourse Coalitions, and the Proposed Interbasin Water Transfer Between Lake Chad and the Congo River, *semantics scholar*. 2020. 22(11).
21. Shariatmadari A, Ansari Moghadam D. 2014, The Challenge of Water Crisis and Environment in Iran and World. National Conference on Water Shortage Crisis and Ways Out. 2015; Hamadan. [In Persian].
22. Vörösmarty CJ, Green P, Salisbury J, Lammers, RB. (-07-14). *Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth*. Science. 2000; 284-288.
23. Zandifar S. Investigating the Causes of the Drying up of Springs in the Catchment Area of the Zohre-Jarhi River. *Iranian Journal of Nature*. 2019; 14 (1): 9-16. [In Persian].



Structural Explanation of the Environmental Geopolitical Consequences of the Water Crisis in the Watersheds of Western Fars Province

Abolfazl Nazari

Ph.D.Student of Political Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Hojat Mahkouei*

Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Amir Gandomkar

Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Ali Shamsoddini

Department of Urban Planning, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Extended Abstract

Received: 14 Jun 2024

Accepted: 07 Aug 2024

Keywords: Water Crisis, Consequences, Structural Explanation, Environmental, Geopolitics

Introduction: Human's relationship with the natural environment without water reserves or accessible resources can only be a one-sided and rootless relationship for humans. This importance has caused some Geopoliticians to believe that most of the conflicts and regional wars in the world will be due to water scarcity and crisis. In fact, the only reason is not limited resources, but other factors such as periodic droughts, excessive use of resources, hydrological conditions, social factors such as population growth, migration, lack of proper culture of consumption and mismanagement of resources, inability of responsible institutions. In order to provide water transfer services and ... also have a great impact on it.

Materials and Methods: The purpose of the current research is to explain the environmental geopolitical consequences of the water crisis in the catchment basins of western Fars province. This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of method. The statistical population of this research is 138 experts and elite people in the field of political geography and water resources management in Fars province, and the sample size was considered to be 102 people using Morgan's table.

Results and Discussion: Research variables in the field of environmental geopolitical consequences of water crisis in Fars province are divided into 4 categories including natural environment, animal-plant environment, human environment, climate. The comparison table of the averages shows that the status of all 4 indicators is in the medium to high level and this indicates the critical situation of the watersheds in the west of Fars province in terms of environmental geopolitical consequences and among them the climate index is in a more acute situation than the other 3 indicators. The indicators of animal-plant environment, natural environment and human environment are in the next ranks in terms of critical situation. In this part, by using the path analysis of structural equations and confirmatory factor analysis, the influence of each of the consequences of the water crisis in the catchment basins of the west of Fars province has been investigated.

Conclusion: The results of the path analysis of structural equations showed that the animal-plant environment is most affected by the water crisis in the western areas of Fars province, followed by the natural environment, climate and human environment. Also, factor coefficients showed that in the animal-plant environment, the items reduction of aquaculture in the catchment area, loss of animal species, In the natural environment, the issues water salinization, pollution of soil resources, soil salinization, destruction and drying of canals and wells, In climate, the items increase in temperature, increase in desert areas and regional climate change and in the human environment, items destruction of infrastructure and houses, destruction of villages, increase in disease had the highest factor load.

Corresponding author: Hojat Mahkouei

Address: Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. **Tel:** +989177047435

Email: hojat_59_m@yahoo.com

Citation: Nazari A, Mahkouei H, Gandomkar A, Shamsoddini A. Structural Explanation of the Environmental Geopolitical Consequences of the Water Crisis in the Watersheds of Western Fars Province. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(6): 43-58.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.

تعیین مقادیر و برآورد ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در پاییز و زمستان در شمال غرب
شهر تهران با نرم افزار EPA-IRIS

گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
گروه محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران
گروه محیط زیست، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

ارسلان کرامت
شهرزاد خرم نژادیان*
فرید غلامرضا فهیمی
سمیرا قیاسی

چکیده مبسوط

مقدمه: شهر تهران بدلیل ساختار جغرافیایی و جمعیت در معرض عوامل متعدد آلودگی قرار دارد. در این پژوهش میزان بنزن و اتیل بنزن در فصل پاییز و زمستان در محدوده برخی بزرگراه‌های پرتردد تهران اندازه‌گیری شد. انتشار ترکیبات آلی فرار ناشی از سوزاندن سوخت فسیلی ریسک سرطان‌زایی آن نیز بررسی گشت و با مطالعات پیشین مقایسه شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

مواد و روش‌ها: ۱۰ ایستگاه در بزرگراه‌های شمال غرب تهران برای سنجش میزان بنزن و اتیل بنزن مشخص شد. اندازه‌گیری در صبح، ظهر و عصر صورت گرفت. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی با استفاده از نرم افزار IRIS-EPA انجام شد. اندازه‌گیری غلظت بنزن، تولوئن، اتیلن و زایلین (BTEX) با استفاده از روش ۱۵۰۱ موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH 1501)، که از لوله‌های جاذب زغال فعال (SKC) برای نمونه‌برداری استفاده می‌کند، انجام شد.

نتایج و بحث: بالاترین ریسک سرطان‌زایی بنزن در ایستگاه اتوبان شیخ فضل‌الله نوری و بالاترین ریسک اتیل بنزن نیز در همین ایستگاه بود. نسبت مخاطرت بدست آمد که HI کمتر از ۱ بود.

نتیجه‌گیری: در فصل پاییز و زمستان بنزن و اتیل بنزن دارای $HQ \leq 1$ بود که حد قابل قبول برای مواد غیرسرطان‌زا می‌باشد. ریسک سرطانی برای ساکنین و افراد شاغل نشان داد که با وجود بالا بودن میزان بنزن، خطر سرطان‌زایی و جهش‌زایی در مدت آزمایش وجود نداشت. با توجه به اینکه بیشتر افراد به‌صورت گذرا از اتوبان‌ها استفاده می‌کنند خطر چندانی عابران را تهدید نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات آلی فرار، آلودگی هوا، سرطان‌زایی، سلامت

نویسنده مسئول: شهرزاد خرم نژادیان

نشانی: گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
تلفن: ۰۹۳۵۷۹۷۰۹۷۸ | پست الکترونیکی: khoramnejad@damavandiau.ac.ir
استاد: کرامت ارسلان، خرم نژادیان شهرزاد، غلامرضا فهیمی فرید، قیاسی سمیرا. تعیین مقادیر و برآورد ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در پاییز و زمستان در شمال غرب شهر تهران با نرم افزار EPA-IRIS. فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۶(۲): ۵۹-۶۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

منبع آن‌ها در محیط شهری از وسایط نقلیه، سوختن پسماند، گرمایش و غیره می‌باشد (فرناندز و همکاران ۲۰۰۲). سرطان‌زایی بنزن در انسان و حیوانات تایید شده است (بهرامی و همکاران ۲۰۱۱). اثر تولوئن و اتیل بنزن بر روی مغز و سیستم عصبی می‌باشد و زایلین بر پوست و سیستم تنفسی اثر منفی دارد. BTX در هوای تنفسی سرطان‌زاست (میری و همکاران ۲۰۱۶). در مطالعاتی که بر روی کارگران پمپ‌بنزین که در معرض تولوئن و بنزن بوده‌اند انجام شده است سوزش گلو، خواب آلودگی، بیحالی و سستی عضلات گزارش شده است (شاکلینگ و همکاران ۲۰۲۱). اندازه‌گیری این ترکیبات در خون و ادرار نشان می‌دهد که کارگر تا چه حد در معرض این ترکیبات بوده است (طاهری و همکاران ۲۰۲۲). بنزن می‌تواند کم خونی آپلاستیک ایجاد کند (امولد و همکاران ۲۰۱۳). بنزن سرطان‌زا می‌باشد که در افرادی که به‌صورت شغلی در معرض این ترکیب بوده‌اند دیده شده است (تاراس و همکاران ۲۰۱۹). دی‌متیل بنزن، همچنین به‌عنوان زایلین شناخته می‌شود، یک ترکیب آلی، فرار، معطر و قابل اشتعال با سه ایزومر است. پارا زایلین، ارتو زایلین و متا زایلین که با موقعیت‌های مختلف گروه‌های متیل متمایز می‌شود. این ترکیب معمولاً در بنزین هواپیما و اتومبیل استفاده می‌شود که از طریق مصرف بنزین وارد محیط می‌شود. مسمومیت با زایلین می‌تواند از طریق استنشاق، بلع یا قرار گرفتن در معرض پوست رخ دهد. اثرات نامطلوب قرار گرفتن در معرض زایلین برای سلامتی شامل رینیت، سردرد، مشکلات کلیوی و کبدی، آلرژی‌های پوستی، تاول‌ها و یووئیت است (کرامت و همکاران ۲۰۲۳).

زمان ماند بنزن در هوا بستگی به وجود سایر آلاینده‌ها و شرایط محیطی دارد (سکار و همکاران ۲۰۱۹). بنزن جذب پوستی، تنفسی و گوارشی دارد. به نظر می‌رسد که جذب بنزن در محیط‌های شهری و غیرصنعتی بیشتر تنفسی می‌باشد. در این تحقیق که در فصول سرد سال که شاهد بیش‌ترین آلودگی هوای تهران می‌باشد، مقادیر بنزن و اتیل بنزن در صبح، ظهر و عصر اندازه‌گیری شد. اتوبان‌های حکیم، شهید فهمیده و همت غرب محدوده مطالعاتی این پژوهش می‌باشد که در این پژوهش ریسک سرطان‌زایی این ترکیبات بررسی گردید.

امروزه ریسک بیماری‌هایی مانند سرطان به واسطه آلودگی هوا افزایش یافته است. وجود منوکسیدکربن، ترکیبات گوگرد و ازت، ذرات معلق، ترکیبات آلی فرار و غیره که توسط اتومبیل‌ها به هوا وارد می‌شود بر روی سلامت افراد اثر می‌گذارد و بیماری‌های مختلفی ایجاد می‌نماید (ویلارونوا ۲۰۱۵). ترکیبات آلی فرار VOCs دارای منشأ طبیعی و انسان ساخت هستند (کامپن ۲۰۰۷). ترکیبات آلی فرار در دمای اتاق بصورت بخار در می‌آیند و بعلت فرار بودن به سرعت وارد محیط می‌گردند این ترکیبات در هوای مناطق صنعتی و شهرهای بزرگ دیده می‌شوند و برای سلامت مضر می‌باشند. این مواد با اکسیدهای نیتروژن واکنش می‌دهند و آلاینده‌های ثانویه سمی ایجاد می‌کنند (حیدرزاده و همکاران ۲۰۲۰). شهر تهران در زمره شهرهای آلوده جهان قرار دارد. آلودگی این کلانشهر ناشی از حمل و نقل، کارخانجات، ترافیک و جمعیت زیاد می‌باشد (میرعلیزاده فرد و همکاران ۲۰۲۴). آلودگی هوا در بیشتر کلان‌شهرها وجود دارد. شهر تهران در برخی فصول بار آلودگی هوای زیادی را تحمل می‌کند. شهر تهران در قسمت شمالی توسط کوه‌ها احاطه شده است. با توجه به اینکه جهت باد غالب در این شهر از جنوب غرب به شمال شرق می‌باشد راهی برای خروج آلاینده‌ها وجود ندارد. سهم عمده آلودگی هوای تهران مربوط به وسایط نقلیه می‌باشد و صنایع این شهر در رتبه بعدی قرار دارند. ترافیک شهری عامل افزایش آلودگی هوا می‌باشد (الله آبادی و همکاران ۲۰۲۲). این امر به‌خاطر ترکیبات جایگزین سرب در بنزین می‌باشد که غنی از ترکیبات آروماتیک می‌باشند (مختاری و همکاران ۲۰۱۶). وسایط نقلیه موتوری که از بنزین و گازوییل استفاده می‌کنند عامل اصلی ورود ترکیبات آلی فرار به هوای شهرهای بزرگ می‌باشند (کاراگ و همکاران ۲۰۱۹). ارزیابی میزان قرارگیری در معرض آلاینده‌های هوا در مناطق شهری و اثر آن بر سلامت انسان اهمیت بسزایی دارد (کاکس ۲۰۰۳). در بررسی‌های انجام شده در کشور هند در شهرهای دهلی، کلکته و بمبئی میزان ترکیبات آلی فرار در هوای شهر زیاد است (مسیح و همکاران ۲۰۱۶).

بنزن، تولوئن و ایزومرهای زایلین که BTX گفته می‌شوند در هوای تنفسی بسیاری از صنایع شیمیایی دیده می‌شوند (ساستریک و همکاران ۲۰۱۶). بنزن، تولوئن و زایلین در زمره مواد سمی یا بالقوه سمی طبقه‌بندی شده‌اند (کاستابیل و همکاران ۲۰۰۶). BTX بر اثر احتراق ناقص سوخت فسیلی ایجاد می‌گردد که

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از طریق کروماتوگرافی گازی Agilent 6890N آنالیز شدند.

ارزیابی ریسک سرطان‌زایی با استفاده از برنامه RAIS-EPA محاسبه گر (RSL (Regional screening level) انجام شده است.

دو سناریو برای ریسک سرطان‌زایی در نظر گرفته شد:

- ۱- افرادی که به‌صورت میانگین ۸ ساعت در روز به مدت ۳۰ سال در محل حضور دارند یا به‌عبارت دیگر حضور شغلی دارند.
- ۲- افرادی که در تمام عمرشان بطور متوسط ۱ ساعت از هوای منطقه استنشاق کرده‌اند و افرادی که در منازل این منطقه ساکن هستند.

ریسک سرطان‌زایی با استفاده از نرم افزار IRIS-epa محاسبه شده است. نرم افزار IRIS EPA با شناسایی و توصیف خطرات سلامتی مواد شیمیایی موجود در محیط، به حفظ سلامت افراد کمک می‌کند. این ارزیابی می‌تواند یک ماده شیمیایی، گروهی از مواد شیمیایی مرتبط یا مخلوط پیچیده را مورد ارزیابی ریسک قرار دهد. ارزیابی‌های IRIS مقادیر سمیت یک ماده و یا اثرات سلامتی ناشی از قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی را ارائه می‌دهد.

جدول ۱ مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در شمال غرب تهران را نشان می‌دهد. این نقاط مراکز پرتردد و گره‌های ترافیکی می‌باشند. انتخاب نقاط ارزیابی BTX بر اساس حجم ترافیک و نزدیکی به مناطق با ترافیک سنگین بود. نمونه‌گیری در ساعات اوج مصرف در شهر تهران، به‌ویژه از ساعت ۶ تا ۸ صبح، ۱۲ تا ۱۴ و از ساعت ۱۶ تا ۱۸ و هر دوره دو ساعت انجام شد. این نمونه‌گیری در زمستان و پاییز ۱۴۰۱ انجام شد. ۱۰ نقطه برای نمونه‌گیری انتخاب شد. غلظت بنزن، تولوئن، اتیلن و زایلن (BTEX) با استفاده از روش ۱۵۰۱ موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH 1501) که از لوله‌های جاذب زغال فعال SKC برای نمونه‌برداری استفاده می‌کرد، اندازه‌گیری شد. به منظور جمع‌آوری نمونه‌های هوا از لوله‌های کربنی نصب شده عمودی استفاده شده است. در مجموع ۱۵۰ میلی‌گرم زغال چوب نارگیل به دو قسمت ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرمی در لوله‌های جمع‌آوری شده بود. این قطعات از پشم‌شیشه و فوم‌پورتان ساخته شده‌اند که قسمت بزرگ‌تر برای جمع‌آوری گازهای فرار استفاده می‌شود در حالی که قطعه کوچک‌تر زمانی استفاده می‌شود که قسمت بزرگ‌تر نتواند همه گازها را جذب کند. این مطالعه با استفاده از پمپ نمونه‌برداری هوای قابل حمل مدل ۲۲۴-EX۴۴، SKC با دی ۱۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه بر روی لوله‌های زغالی انجام شد.

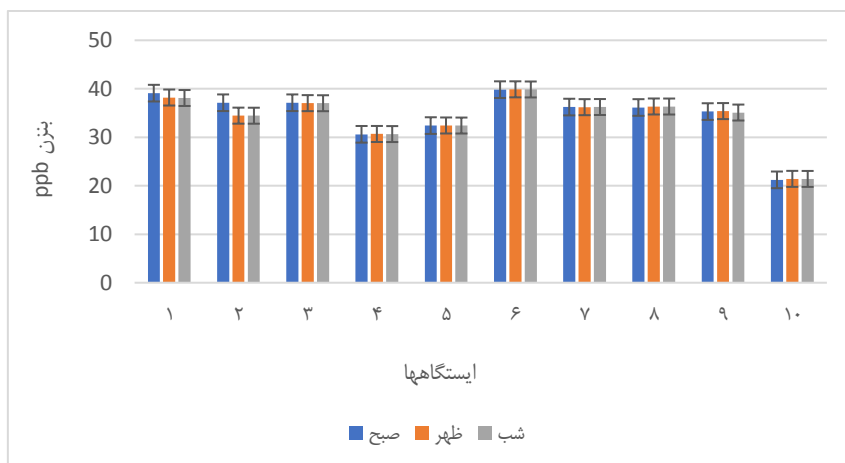
جدول ۱ - مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری

ردیف	محل نمونه برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	بزرگراه حکیم، نبش خیابان گیشا	۳۵/۷۴۰۹۳۷	۵۱/۳۷۴۸۴۸
۲	بزرگراه حکیم، نبش چمران	۳۵/۷۴۲۶۴۴	۵۱/۳۸۳۲۱۶
۳	بزرگراه حکیم، بعد از بزرگراه آزادگان	۳۵/۷۵۳۸۵۹	۵۱/۲۷۸۷۳۹
۴	بزرگراه همت، نبش بلوار آیت‌الله کاشانی	۳۵/۷۵۳۸۵۹	۵۱/۲۷۸۷۳۹
۵	بزرگراه همت، نبش بزرگراه باکری	۳۵/۷۵۳۳۳۷	۵۱/۲۹۲۳۶۵
۶	بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، نبش بزرگراه جناح	۳۵/۷۱۳۰۶۶	۵۱/۳۳۴۷۲۲
۷	بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، بین بزرگراه جناح و بزرگراه ستاری	۳۵/۷۱۵۲۵۳	۵۱/۳۲۰۵۷۶
۸	بزرگراه شهید فهمیده، بعد از بزرگراه باکری، نبش شیشه مینا	۳۵/۷۱۶۲۴۶	۵۱/۲۸۷۲۷۴
۹	بزرگراه حکیم، تونل رسالت	۳۵/۷۴۴۰۴۸۰۰۷	۵۱/۴۰۵۵۷
۱۰	بزرگراه حکیم، بلوار آزادگان	۳۵/۷۴۱۰۷۶	۵۱/۳۹۷۰۸۱

نتایج و بحث

عصر را نشان می‌دهد. مطابق آزمایشات میزان بنزن در صبح و عصر بیشتر بوده است.

شکل ۱ مقادیر بنزن در فصل پاییز در سه نوبت صبح، ظهر و

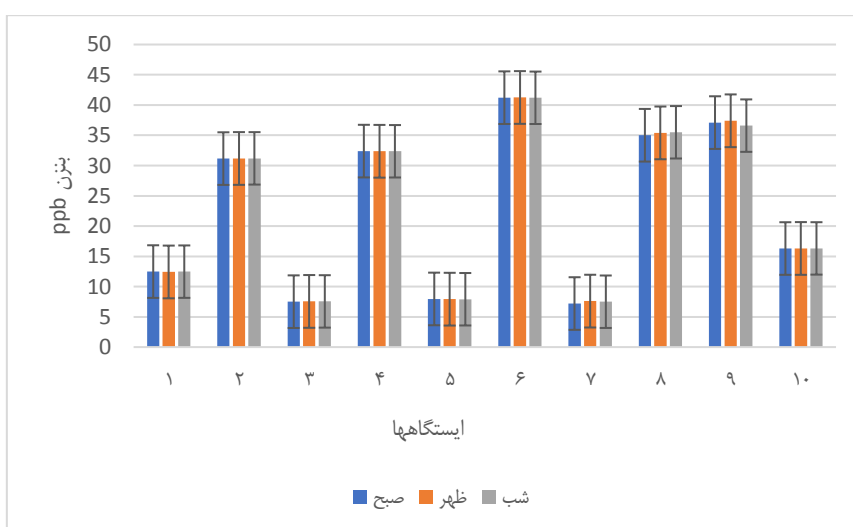


شکل ۱ - مقادیر بنزن در فصل پاییز

۳۹/۱ ppb در تقاطع شیخ فضل‌الله و جناح بوده است که این امر بدلیل ترافیک زیاد، نزدیکی به فرودگاه ترمینال غرب و پمپ بنزین می‌باشد.

شکل ۲ مقادیر بنزن در فصل زمستان را نشان می‌دهد. ایستگاه ۶ بیشترین مقادیر و ایستگاه ۳ کم‌ترین مقادیر را برای بنزن نشان می‌دهند.

آزمایشات نشان می‌دهد میزان بنزن در صبح و عصر نسبت به ظهر بیشتر بوده است. می‌توان نتیجه گرفت که با خنک‌تر شدن هوا میزان بنزن افزایش می‌یابد و کمتر بودن مقادیر در ظهر را می‌توان به تابش خورشیدی و گرم شدن لایه‌های هوا نسبت داد. وزش باد در طول اتوبان می‌تواند به تغییر غلظت کمک کند (باکاس و سیسکان ۲۰۰۳). بیش‌ترین میزان بنزن در فصل پاییز

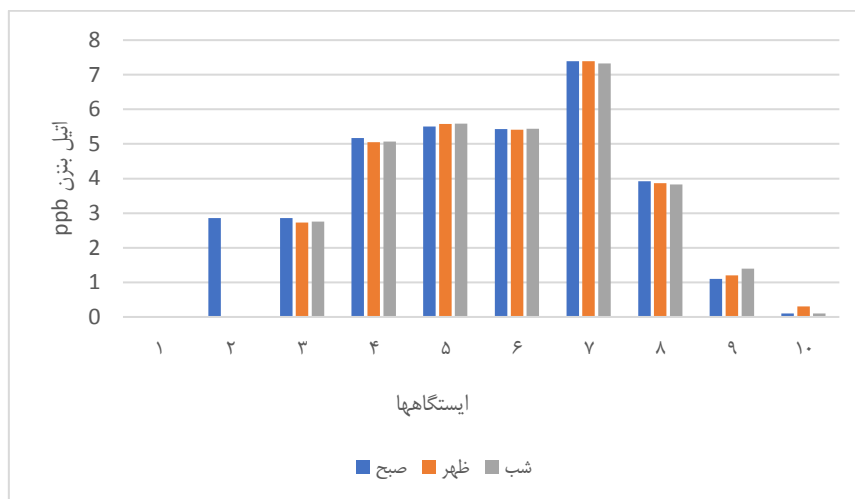


شکل ۲ - مقادیر بنزن فصل زمستان

ظهر در این نقاط به وجود فضای سبز انبوه و ایجاد تلاطم هوا نسبت داد و مانند فصل پاییز می‌توان گفت که در ظهر لایه‌های هوا بر اثر تابش خورشید گرم‌تر شده و اختلاط بیشتری رخ داده است. اما وارونگی هوای صبح‌گاهی به دلیل سرمای شبانه می‌تواند علت افزایش مقادیر در صبح باشد. شرایط جوی پایدار، سرد بودن هوا و پایین بودن سرعت باد سبب ایجاد لایه اینورژن می‌شود (مرک و همکاران ۲۰۱۶). ترافیکی که در عصر و پایان ساعات اداری در تهران وجود دارد سبب افزایش مقادیر بنزن و اتیل بنزن می‌گردد.

شکل ۳ مقادیر اتیل بنزن در فصل پاییز را نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر اتیل بنزن در ایستگاه ۷ اندازه‌گیری شده است. ایستگاه ۱ کم‌ترین مقادیر را نشان داده است.

ایستگاه ۶ که بالاترین میزان آلودگی را نشان می‌دهد در مجاورت یکی از پر رفت و آمدترین میدانیان تهران قرار دارد، وجود پمپ‌بنزین و ترمینال سبب افزایش میزان ترکیبات BTX در این منطقه شده است. در نزدیکی پمپ بنزین‌ها میزان مقادیر BTEX بیشتر می‌باشد و افرادی که در نزدیکی این اماکن زندگی می‌کنند احتمال ابتلا به سرطان در آن‌ها بیشتر است که این امر در مطالعه‌ای که در کشور پرتقال صورت گرفته است بررسی شده است (اینفانت ۲۰۱۷). در مناطق شهری میزان غلظت ترکیبات BTEX در نزدیکی پمپ‌بنزین‌ها بیشتر است (باروس و همکاران ۲۰۱۹). بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، بین بزرگراه جناح و بزرگراه ستاری بیشترین میزان این ماده را نشان می‌دهد و کمترین میزان در اتوبان حکیم دیده می‌شود. می‌توان گفت کاهش این میزان در

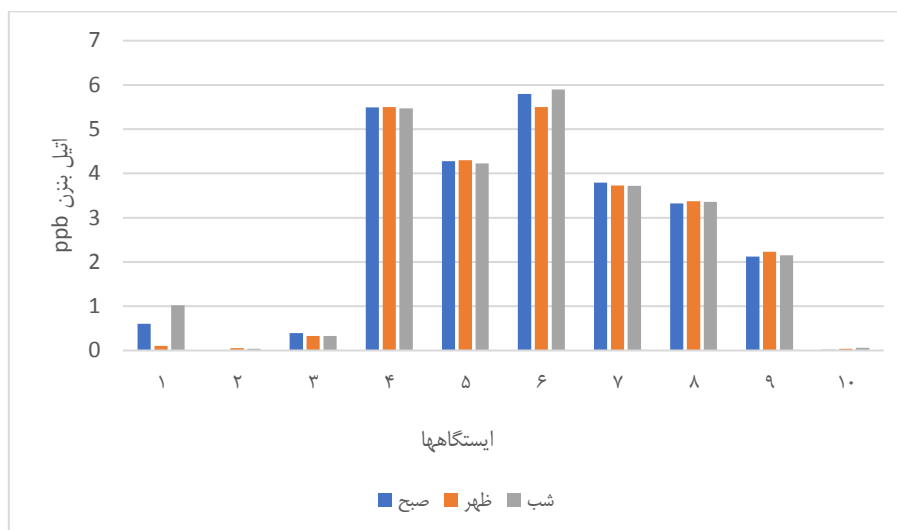


شکل ۳ - مقادیر اتیل بنزن در فصل پاییز

منطقه پونک تهران انجام شده است، پژوهش‌گران دریافتند میزان آلودگی هوا در مناطق مختلف تهران به خصوصیات توپوگرافی زمین، پایداری جوی و عمق لایه‌های هوا، شرایط آب و هوایی منطقه، شدت تولید آلاینده‌ها در روزهای مختلف و غیره بستگی دارد (میرعلیزاده و همکاران ۲۰۲۴).

شکل ۴ مقادیر اتیل بنزن فصل زمستان را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقادیر در ایستگاه ۱۰ و کم‌ترین مقادیر در ایستگاه ۲ و ۱۰ اندازه‌گیری شده‌اند.

بالاترین میزان اتیل بنزن ۷/۳۹ ppb متعلق به ایستگاه شیخ فضل‌الله می‌باشد نزدیکی به ترمینال و پمپ‌بنزن و ترافیک بالا علت این افزایش است. انتشار ترکیبات BTX به منبع، نحوه انتقال و فرآیندهای محیطی بستگی دارد. دما، رطوبت، جریان هوا و غیره بر روی پراکنش این مواد اثر دارد. مقادیر در ایستگاه ۱ بسیار کم می‌باشند این امر را می‌توان به جابجایی هوا، ارتفاع بالاتر نسبت به سایر نقاط در این منطقه و وجود فضای سبز در محل نسبت داد. در پژوهشی که با هدف بیان کردن رابطه بین میزان اختلاط در جو و میزان آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در



شکل ۴ - مقادیر اتیل بنزن فصل زمستان

با مقایسه فصول پاییز و زمستان مشخص می‌گردد که میزان ترکیبات بنزن و اتیل بنزن در پاییز در همه ایستگاه‌ها بیشتر می‌باشد، می‌توان این را به کمتر بودن میزان بارش در پاییز نسبت داد.

ارزیابی ریسک بهداشتی از ابزارهای مهم در سیستم مدیریت HSE می‌باشد که محاسبه ریسک بیماری در افرادی که در معرض آلاینده‌های خاص قرار دارند را امکان‌پذیر نموده است. جدول ۲ ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن را برای افرادی که در محیط باز کار می‌کنند در نرم افزار IRIS نشان می‌دهد.

نیش بزرگراه جناح بیشترین مقدار را نشان می‌دهد که به علت ترافیک بالا در این ناحیه است. بعد از ظهر مقادیر بیشتر است که به علت ترافیک بیشتر در عصر و تجمع آلاینده‌ها در طول روز می‌باشد. میزان ترکیبات بنزن و اتیل بنزن در جو تابعی از شرایط سینوپتیکی است (دیمتریو و کازامونز، ۲۰۲۰). تراکم اتیل بنزن در شب زیاد شده و در نقاطی که در ساعات دیگر روز مقادیر کم بودند افزایش قابل توجهی دیده می‌شود. خنک تر بودن هوا در این مناطق را می‌توان علت آن دانست. علاوه بر آن، در شب تجمع و ترافیک در بلوار آزادگان و نزدیکی تونل رسالت بیشتر می‌باشد.

جدول ۲ - ریسک سرطان‌زایی بنزن برای افرادی که در محیط باز کار می‌کنند

سطح غریبالگری (ug or fibers/m ³)	SL غیر سرطان‌زایی THI = 0.1 (۳ug or fibers/m)	SL سرطان‌زایی TR = 1E - 06 (ug/m ³)	ماده شیمیایی
۱/۷۵E + ۰۰ ca**	۰/۱E + ۱/۴۶	۱/۷۵ E+۰۰	Benzene
۵/۴۵E + ۰۰ ca*	۴/۸۷E + ۰۲	۵/۴۵ E+۰۰	Ethylbenzene

برای ساکنین منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۳ ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن را

جدول ۳ - ریسک سرطان‌زایی بنزن برای ساکنین منطقه

سطح غریبالگری (ug or fibers/m ³)	SL غیر سرطان‌زا THI=0.1 (۳ug or fibers/m)	SL سرطان‌زا TR=1E-06 (ug/m ³)	ماده شیمیایی
۳۶۰E-۰۱ ca**	۳/۱۳E+۰۰	۳/۶۰E-۰۱	بنزن
۱,۱۲E+ ۰۰ ca*	۱/۰۴E+۰۲	۱/۱۲E+۰۰	اتیل بنزن

بنزن سریع تخریب می‌گردد، نیمه عمر بنزن در هوا ۲ روز می‌باشد (هوک و همکاران ۲۰۰۸).
توصیف داده‌ها توسط برنامه EPA، در نرم‌افزار Excel انجام شد، طبق جدول ۴ و ۵ بیش‌ترین ریسک سرطان‌زایی مربوط به بنزن می‌باشد و کم‌ترین ریسک مربوط به اتیل بنزن است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد در زمان‌های ابتدایی مواجهه با ترکیبات BTEX بیش‌ترین میزان جذب تنفسی صورت می‌گیرد (مورایاما ۲۰۰۶). جهت و سرعت باد نقش مهمی در پراکنش و تجمع این مواد دارد (لین و همکاران ۲۰۰۴). با افزایش دما و تابش خورشید

ریسک سرطان و سهم خطر HQ از مسیر تنفسی > مسیر پوستی > مسیر بلعی

جدول ۴ ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در فصل پاییز را نشان می‌دهد. این جدول ریسک استنشاق این مواد را نشان می‌دهد.

سازمان بهداشت جهانی WHO، حدود قابل قبول HQ را به شرح ذیل اعلام کرده است:

$$HQ \leq 1 = \text{حد قابل قبول برای مواد غیر سرطان‌زا}$$

$$HQ > 1 = \text{احتمال بالای اثرات سوء بهداشتی}$$

جدول ۴ - ریسک سرطان‌زایی در فصل پاییز

ماده شیمیایی	تنفسی %HQ	ریسک تنفسی %	تنفسی %HQ	ریسک تنفسی %
بنزن	۷۸/۴	۹۷/۱	۱/۱	۰/۰۰۰۰۹۵۳
اتیل بنزن	۰/۲	۲/۹	۰/۰۰۳۱۱	۰/۰۰۰۰۲۸۹
ریسک کل HI*	۱۰۰	۱۰۰	۱/۴	۰/۰۰۰۰۹۸۲

جدول ۵ ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در فصل زمستان را نشان می‌دهد. این جدول ریسک استنشاق بنزن و اتیل بنزن را نشان می‌دهد.

به‌علاوه با در نظر گرفتن حدود قابل قبول HQ از سوی سازمان بهداشت جهانی WHO، و بررسی داده‌های جدول ۴ ملاحظه می‌شود که در فصل پاییز بنزن و اتیل بنزن دارای $HQ \leq 1$ بوده است که حد قابل قبول برای مواد غیر سرطان‌زا می‌باشد.

جدول ۵ - ریسک سرطان‌زایی در فصل زمستان

ماده شیمیایی	تنفسی %HQ	ریسک تنفسی %	تنفسی %HQ	ریسک تنفسی %
بنزن	۸۶/۲	۹۴/۹	۰/۷۳۶	۰/۰۰۰۰۶۴
اتیل بنزن	۰/۴	۵/۱	۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۰۰۰۳۴۴
ریسک کل HI*	۱۰۰	۱۰۰	۰/۸۵۴	۰/۰۰۰۰۶۷۴

سرطان‌زایی فلزات سنگین در غرب تهران انجام شده بود HQ سرطان‌زایی را نشان می‌داد (کریمی و همکاران ۲۰۲۲). در تحقیقی که بر روی صنایع فولاد انجام شده است میزان بالای بنزن خطر سرطان‌زایی برای ساکنین مناطق مجاور کارخانه را زیاد نشان می‌دهد (امیدی و همکاران ۲۰۱۸).

پژوهش حاضر با پژوهش میرعلیزاده و همکاران که در سال ۱۳۹۶، با هدف بررسی خطر سلامت آلاینده‌های PM10 و PM2.5 در منطقه پونک تهران انجام گرفت و نشان داد

طبق داده‌های جدول ۵ در فصل زمستان هیچ‌کدام از پارامترها بالای ۱ نمی‌باشد، به علاوه با در نظر گرفتن حدود قابل قبول HQ از سوی سازمان بهداشت جهانی WHO، و بررسی نتایج آزمایشات ملاحظه می‌شود که در فصل زمستان بنزن و اتیل بنزن دارای $HQ \leq 1$ بوده است که حد قابل قبول برای مواد غیر سرطان‌زا می‌باشد. این امر می‌تواند به علت بارش و وزش باد در روزهای قبل از نمونه‌برداری باشد. طبق استانداردها این مقادیر جهش‌زا نیز نمی‌باشند. در پژوهشی که در مورد ریسک

سرطان در سنین مختلف شود، همخوانی دارد (میرعلیزاده و همکاران ۲۰۲۴)

و بسیاری از ادارات نیز به صورت دورکاری فعالیت می‌کردند. از این رو میزان آلودگی در این دوره کمتر از سال‌های قبل و بعد بوده است. از آزمون t مستقل برای بررسی تفاوت معنی‌داری در مناطق اندازه‌گیری استفاده شد. سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵ بود پس تفاوت معنی‌داری در نقاط مختلف وجود نداشت. فرض بر این بود که غلظت BTX در مرکز و شمال غرب تهران، با خطر سرطان‌زایی و سهم HQ ارتباط معناداری دارد. برای بررسی از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. مشاهده شد که سطح معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵ بود، پس غلظت BTX در مرکز و شمال غرب تهران، با خطر سرطان‌زایی و سهم HQ ارتباط معناداری نداشت. با توجه به بالاتر بودن میزان BTX در نزدیکی پمپ‌بنزین‌ها، پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آتی بررسی ریسک سرطان‌زایی ترکیبات بنزنی برای شاغلین در این قسمت بررسی گردد.

غلظت‌های متوسط و همچنین غلظت‌های حداکثر آلودگی هوا توسط ذرات معلق می‌تواند منجر به افزایش میزان خطر ابتلا به

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شهر تهران در فضای هلالی شکل کوه‌ها استقرار یافته است و هوای تهران نسبت به مناطق مجاور از پایداری بیشتری برخوردار است. سکون هوا در فصول سرد و هنگام وارونگی هوا سبب تجمع شدید آلاینده‌ها در این کلان‌شهر می‌گردد. در این پژوهش میزان بنزن و اتیل بنزن در فصل پاییز و زمستان اندازه‌گیری شده است. قسمت‌هایی از بزرگراه‌ها که ترافیک بیشتری داشتند، آلودگی بیشتری از لحاظ بنزن و اتیل بنزن از خود نشان دادند. با اندازه‌گیری ریسک سرطان‌زایی توسط نرم‌افزار IRIS-EPA مشخص گردید که در فصل زمستان بنزن و اتیل بنزن دارای $HQ \leq 1$ بوده است که حد قابل قبول برای مواد غیر سرطان‌زا می‌باشد. ریسک سرطان‌زایی برای ساکنین و شاغلین در این دوره اندازه‌گیری، وجود نداشت. این امر را به این صورت می‌توان توجیه کرد که در دوره نمونه‌برداری این پژوهش به‌خاطر همه‌گیری بیماری کرونا مدارس و دانشگاه‌ها بصورت مجازی برگزار می‌شد

References

1. Abdulrahman, B., Hosien, M., Marzieh, S., & Farideh, G. (2011). Determination of Benzene, Toluene and Xylene (BTX) Concentrations in Air Using HPLC Developed Method Compared to Gas Chromatography. International journal of occupational hygiene, 3, 12-17.
2. Allahabady, A., Yousefi, Z., Ali Mohammadpour Tahamtan, R., & Payandeh Sharif, Z. (2022). Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) concentration at gas stations. Environmental Health Engineering and Management. doi 10.34172/EHEM.2022.04
3. Bakeas EB, Siskon PA. Dispersion of volatile hydrocarbons in urban street canyons. J Air Waste Manag Assoc 2003;53(4): 493-504. DOI: 10.1080/10473289.2003.10466166
4. Barros N, et al. Environmental and biological monitoring of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) exposure in residents living near gas stations. J Toxic Environ Health A. 2019;82(9):550-563. DOI: 10.1080/15287394.2019.1634380
5. Costabile, F., Bertoni, G., Desantis, F., Wang, F., Weimin, H., Fenglei, L., & Allegrini, I. (2006). A preliminary assessment of major air pollutants in the city of Suzhou, China. Atmospheric Environment, 40, 6380-6395. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.056
6. Cox, R.M. (2003) The Use of Passive Sampling to Monitor Forest Exposure to O3, NO2 and SO2: A Review and Some Case Studies. Environmental Pollution, 126, 30-311. DOI: 10.1016/s0269-7491(03)00243-4
7. Dimitriou K, Kassomenos P. Background concentrations of benzene, potential long range transport influences and corresponding cancer risk in four cities of

8. central Europe, in relation to air mass origination. *J Environ Manage.* 2020 May 15;262:110374. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110374>
9. Fernandes, M.B., Brickus, L.S., Moreira, J.C., & Cardoso, J.N. (2002). Atmospheric BTX and polyaromatic hydrocarbons in Rio de Janeiro, Brazil. *Chemosphere*, 47 4, 417-25. DOI: 10.1016/s0045-6535(01)00319-8
10. Florentina V, Alberto N, Araceli T, José A, Beatriz Cabañas & Ernesto Martínez (2016) Ambient levels of volatile organic compounds and criteria pollutants in the most industrialized area of central Iberian Peninsula: intercomparison with an urban site, *Environmental Technology*, 37:8, 983-996, doi: 10.1080/09593330.2015.1096309.
11. Garg, A., Gupta, N., & Tyagi, S. (2019). Study of seasonal and spatial variability among Benzene, Toluene, and p-Xylene (BTp-X) in ambient air of Delhi, India. *Pollution*, 5(1), 135-146. doi : 10.22059/poll.2018.260934.469
12. Hedayatzadeh F, Hassanzadeh N. Occurrence, Probable Source, and Health Risk Assessment of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene Compounds in Ambient Urban Atmosphere in Ahvaz, Iran . *Arch Hyg Sci* 2020;9(2):152-167. Doi: 10.29252/ArchHygSci.9.2.152. dor : 20.1001.1.22519203.2020.9.2.4.3
13. Hsieh PY, Shearston JA, Hilpert M. Benzene emissions from gas station clusters: a new framework for estimating lifetime cancer risk. *J Environ Health Sci Eng.* 2021 Jan 7;19(1):273-283. doi: 10.1007/s40201-020-00601-w. eCollection 2021 Jun.
14. https://epa-prgs.ornl.gov/cgi-bin/chemicals/csl_search
15. Infante PF. Residential proximity to gasoline stations and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol.* 2017;185(1):1-4. <https://doi.org/10.1093/aje/kww130>
16. Keramat, A., Khoramnejadian, Sh., Fahimi, F gh. (2024) Assessment of BTX Concentrations Along Hakim Expressway: A Case Study from Milad Tower to Resalat Tunnel. *Anthropogenic Pollution*, 7(2), 1-7. <https://doi.org/10.57647/j.jap.2023.0702.20>
17. Koppmann, R. (Ed.) (2007), *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*, Blackwell, Oxford, U. K., doi:10.1002/9780470988657
18. Marć M, Bielawska M, Simeonov V, Namieśnik J, Zabiegała B. The effect of anthropogenic activity on BTEX, NO₂, SO₂, and CO concentrations in urban air of the spa city of Sopot and medium-industrialized city of Tczew located in North Poland. *Environ Res.* 2016 May;147:513-24. Doi: 10.1016/j.envres.2016.03.014. Epub 2016 Mar 15. PMID: 26990845.
19. Masih, A.K., Lall, A.S., Taneja, A., & Singhvi, R. (2018). Exposure levels and health risk assessment of ambient BTX at urban and rural environments of a terai region of northern India. *Environmental pollution*, 242 Pt B, 1678-1683 . . DOI: 10.1016/j.envpol.2018.07.107
20. Masih, A; Lall, A S; Taneja, A; Singhvi, R.(2018). Exposure levels and health risk assessment of ambient BTX at urban and rural environments of a terai region of northern India. *Environmental Pollution*, ISSN: 0269-7491, Vol: 242, Issue: Pt B, Page: 1678-1683. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.07.107
21. Miralizadeh Fard, S. R., Khoram Nejadian, S., & Rashidi, Y. (2024). Health risk assessment of air particulate pollutants (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Tehran, A case study of Poonak. *Journal of Natural Environment*, 76(4), 675-687.[in Persian] . doi : 10.22059/jne.2023.356444.2536.[in Persian] (1) .
22. miralizadeh fard, S. R., Khoramnejadian, S., Rashidi, Y. Investigating the relationship between daily and monthly concentrations of urban air pollutants with the mixing depth in Poonak station by Using AERMOD model. *Journal of Environmental Science Studies*, 2021; 6(2): 3587-3595.[in Persian] (2) .
23. Miri, M., Rostami Aghdam Shendi, M., Ghaffari, H.R., Ebrahimi Aval, H., Ahmadi, E., Taban, E., Gholizadeh, A., Yazdani Aval, M., Mohammadi, A., & Azari, A. (2016). Investigation of outdoor BTEX: Concentration, variations, sources, spatial distribution, and risk assessment.

- Chemosphere, 163, 601-609 .. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2016.07.088
24. Mokhtari M, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A, Niknazar H. Ambient Variations of Benzene and Toluene in Yazd, Iran, Using Geographic Information System. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2016; 26 (138) :131-139 [In Persian] .
 25. MuRAYAMA, R., Goto, S., Nakajima, D., Fujimaki, H., Watanabe, I., Arashidani, K., & Uchiyama, I. (2006). Measurements of exposure concentrations of benzene, toluene and xylene, and amounts of respiratory uptake. *Journal of UOEH*, 28(2), 173-183.
 26. Lin, T. Y., Sree, U., Tseng, S. H., Chiu, K. H., Wu, C. H., & Lo, J. G. (2004). Volatile organic compound concentrations in ambient air of Kaohsiung petroleum refinery in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 38(25), 4111-4122.
 27. Omid, F, Fallahzadeh, R A, Dehghani, F, Herati, B, Barati Chamigi, S, and Ghoribi, V. (2018). Cancer and non -carcinogenic risk assessment of volatile organic compounds (BTEX) using Monte Carlo's simulation technique in a steel industry. *Work Health and Safety*, 8 (3), 299-308.[in Persian]
 28. Scott M. Arnold, Juergen Angerer, Peter J. Boogaard, Michael F. Hughes, Raegan B. O'Lone, Steven H. Robison & A. Robert Schnatter (2013) The use of biomonitoring data in exposure and human health risk assessment: benzene case study, *Critical Reviews in Toxicology*, 43:2, 119-153, DOI: 10.3109/10408444.2012.756455
 29. Sekar, A., Varghese, G.K., & Ravi Varma, M. (2019). Analysis of benzene air quality standards, monitoring methods and concentrations in indoor and outdoor environment. *Heliyon*, 5:11, e02918. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02918
 30. Sostaric A, Stojic A, Stojic SS, Grzetic I. Quantification and mechanisms of BTEX distribution between aqueous and gaseous phase in a dynamic system. *Chemosphere* 2016;144:721-7. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.042>
 31. Sunisa Ch, Pornnapa S, Norbert K & Herman A (2021) Exposure to benzene and toluene of gasoline station workers in Khon Kaen, Thailand and adverse effects, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27:7, 1823-1837. <https://doi.org/10.1080/10807039.2021.1910010>
 32. Taheri, E , Yousefinejad ,S, & Dehghani , F,(2022) Investigation of some effective factors on urinary metabolites in biological monitoring of benzene, toluene, and xylene compounds, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, DOI: 10.1080/03067319.2022.2097871
 33. Teras LR, Diver WR, Deubler EL, Krewski D, Flowers CR, Switchenko JM, Gapstur SM. Residential ambient benzene exposure in the United States and subsequent risk of hematologic malignancies(2019). *Int J Cancer*. 15;145(10):2647-2660. DOI: 10.1002/ijc.32202



Determine and estimate the carcinogenic risk of benzene and ethyl benzene in the fall and winter in the west of Tehran with EPA-IRIS software

Arsalan Keramati
Shahrzad Khoramnejadian*
Farid GholamrezaFahimi
Samira Ghiasi

Department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran.
Department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran.
Department of Environment, Tunkabon Branch, Islamic Azad University, Tunkabon, Iran
Department of Environment, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Received: 06 Aug 2024

Accepted: 17 Sep 2024

Keywords: Volatile organic compounds, air pollution, carcinogenicity, health

Introduction: The city of Tehran is exposed to numerous contaminants due to its geographical structure and population. In this study, the amount of benzene and ethyl benzene was measured in the autumn and winter season in some of the highways of Tehran. The absence of volatile organic compounds caused by fossil fuel burning of its carcinogenic risk was also investigated and compared with previous studies.

Materials and Methods: 10 stations on northwestern Tehran highways were identified to measure benzene and ethyl benzene. Cancer risk assessment was performed using IRIS-EPA software. The BTEX concentration was measured using the method of 1501 National Institutes of Career Safety and Health (NIOSH 1501), which used SKC coal absorbent pipes for sampling.

Results and Discussion: The highest cancer risk of benzene at the Sheikh Fazlullah Nouri highway station and the highest risk of ethyl benzene was at the same station.

Conclusion: In the autumn and winter, benzene and ethyl benzene had $1 \geq HQ$. Cancer risk for residents and employees showed that despite the high levels of benzene, there was no risk of carcinogenicity and mutation during the test. Given that most people use highways; it does not threaten much of pedestrians.

Corresponding author: Shahrzad Khoramnejadian

Address: Department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran. **Tel:** +989357970978

Email: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

Citation: Keramati A, Khoramnejadian Sh, Gholamreza Fahimi F, Ghiasi S. Determine and estimate the carcinogenic risk of benzene and ethyl benzene in the fall and winter in the west of Tehran with EPA-IRIS software. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(6): 59-69.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



تحلیل زیست محیطی و عددی اثرات تغییرات تراز آب زیرزمینی بر پایداری جبهه حفاری در تونل سازی با روش TBM-EPB: تأثیرات قطر تونل و فشار وارد بر ماشین حفاری

محمدحسین احمدی

امیر وکیلی*

روزبه آقامجیدی

عضو گروه عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران
عضو گروه عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران
عضو گروه عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه روش های مختلفی جهت حفر تونل در محیط های شهری وجود دارد. عواملی چون سطح مقطع تونل، میزان پیشروی، میزان سرمایه مورد نیاز، مدت انجام پروژه و مهم تر از همه نوع خاک و سنگ و وضعیت آب زیرزمینی، نقش اساسی در انتخاب روش حفاری در محیط های شهری را دارند. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر بررسی عددی میزان تأثیر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی بر فشار وارد بر جبهه حفاری با تغییر قطر حفاری تونل ها می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹

مواد و روش ها: در این مطالعه سه حالت کلی مورد بررسی قرار گرفته است در حالت اول فقط یک تونل اجرا گردیده و تونل ها در نزدیکی پاشنه شمع اجرا گردیده است. در حالت دوم دو تونل اجرا گردیده و موقعیت تونل ها در نزدیکی پاشنه شمع می باشد و در نهایت در حالت سوم هر دو تونل در نزدیکی وسط شمع اجرا گردیده است. به همین منظور در این مطالعه میزان تغییرات نشست در خاک ناشی از اجرای تونل های دوقلو در سه حالت ذکر شده مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج و بحث: نتایج تحقیق نشان داد که شدت افزایش بیشینه نشست به میزان قابل توجهی به قطر حفاری وابسته است. به گونه ای که در حفاری با قطر ۵ متر، بیشینه نشست حدود ۱۱ میلی متر است و این مقدار با افزایش ۹ درصدی به ۱۲ میلی متر در قطر حفاری ۷ متر می رسد. اگر تونل با قطر ۱۲ متر حفاری شود، بیشینه نشست نسبت به حالت حفاری با قطر ۵ متر، حدود ۴۴ درصد افزایش یافته و به ۱۶ میلی متر می رسد.

نتیجه گیری: در تمامی حالت های مدل سازی، با نزدیک شدن تراز آب زیرزمینی به سطح زمین، بیشینه نشست کاهش می یابد. در صورتی که تراز آب زیرزمینی در کف مدل باشد، افزایش قطر حفاری باعث تغییر محل بیشینه نشست در راستای عمق نخواهد شد و این نشست در تاج تونل باقی خواهد ماند. در نهایت، با افزایش قطر حفاری، نیاز به فشار بیشتر برای پایداری جبهه حفاری تونل نیز افزایش می یابد. نکته مهمی که در این پژوهش قابل مشاهده است، این است که نشست طولی در فاصله ای برابر با مجموع سر بار و قطر تونل، از جبهه حفاری به کمتر از یک میلی متر می رسد و می توان نتیجه گرفت که طول ناحیه تحت تأثیر حفاری تونل به سطح تراز آب زیرزمینی و قطر حفاری وابسته نیست.

واژه های کلیدی: تغییرات تراز

آب زیرزمینی، فشار جبهه حفاری، تغییر قطر حفاری، نرم افزار آباکوس، بررسی زیست محیطی

نویسنده مسئول: امیر وکیلی

نشانی: گروه عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران | تلفن: ۰۹۱۷۷۰۲۹۳۳۲ | پست الکترونیکی: amir.vakili@iau.ac.ir

استناد: احمدی محمدحسین، وکیلی امیر، آقامجیدی روزبه. تحلیل زیست محیطی و عددی اثرات تغییرات تراز آب زیرزمینی بر پایداری جبهه حفاری در تونل سازی با روش TBM-EPB: تأثیرات قطر تونل و فشار وارد بر ماشین حفاری. ۱۴۰۳؛ ۶(۲): ۸۱-۷۰.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



جابجایی‌ها افزایش می‌یافت. رضایی و نورزاده (۱۳۹۳) به بررسی حداقل فشار جبهه حفاری در تونل‌های انتقال آب دز به قمرود با استفاده از روش‌های EPB و TBM پرداختند. نتایج نشان داد که به دلیل خصوصیات ضعیف ژئومکانیکی تونل، مقادیر جابجایی در بخش اول بیشتر بوده که نشان از انتخاب صحیح نوع دستگاه حفاری دارد. صادقی و سنایی (۱۳۹۴) به بررسی تعیین فشارهای تعادلی زمین در جبهه حفاری تونل پرداختند. نتایج نشان داد که فشار بیش از حد می‌تواند منجر به بالا آمدن سطح خاک یا از هم‌گسیختگی آن شود، در حالی که فشار کم موجب نشست خاک و لغزش جبهه می‌گردد. شلابی (۲۰۱۷) به بررسی اثرات نشست ناشی از حفاری تونل‌های دوقلو به روش TBM-EPB در شهر استانبول پرداخت. فانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی نشست زمین ناشی از اجرای تونل‌های موازی با فاصله محدود و چینش‌های هندسی مختلف در روش حفاری NATM پرداختند. این مطالعه نشان داد که نحوه چینش تونل‌ها نسبت به یکدیگر و فاصله آن‌ها، بر روی نشست حداکثری زمین، کاهش حجم خاک و پروفیل نشست عرضی سطح زمین تأثیرگذار است. چهاد و شهرور (۲۰۰۸) به بررسی اندرکنش تونل‌های دوقلو و تأثیر جانمایی نسبی و فرآیند اجرای این تونل‌ها پرداختند و نتایج نشان داد که فرآیند اجرای تونل‌ها تأثیر چشم‌گیری بر نشست زمین دارد. چانابساواراج و ویسوانات (۲۰۱۳) در مدل‌سازی عددی به بررسی تأثیر جانمایی نسبی تونل‌های دوقلو پرداختند و نشان دادند که اجرای تونل‌ها به صورت عمودی بیشترین نشست سطحی زمین را به همراه دارد. الانوار و البتال (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر زاویه و فاصله اجرای تونل جدید بر تونل موجود پرداختند و نشان دادند که در صورتی که تونل‌ها تحت زاویه کمتر از ۳۰ درجه نسبت به یکدیگر و با فاصله بیشتر از ۲ قطر اجرا شوند، تأثیر قابل توجهی بر تغییر شکل شعاعی تونل موجود نخواهند داشت. بایومی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اندرکنش تونل‌های دوقلو در خاک بیروت با مدل‌سازی عددی غیرخطی پرداختند و نشان دادند که فاصله بین تونل‌ها تأثیر قابل توجهی بر ممان خمشی پوشش بتنی و نشست سطح زمین دارد، به ویژه زمانی که تونل‌ها به صورت عمودی اجرا می‌شوند. ژو و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی رفتار شکست تونل‌های مترو تحت فشار آب موضعی پرداختند و نشان دادند که فاصله ایمن بین منبع آب و تونل‌ها و درجه تأثیر آب‌شستگی بر روی تونل‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. سان ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی نشست القایی زمین ناشی از حفاری در مجاورت مناطق با تراز آب بالا پرداختند و نشان دادند که فشار آب حفره‌های تأثیر زیادی بر پایداری جبهه

توجه به گسترش سریع مناطق شهری، ساخت تونل‌های زیرزمینی به امری ضروری تبدیل شده است که با چالش‌های قابل توجهی از لحاظ زمین‌شناسی، به‌ویژه در شهرهایی که بر روی بسترهای ناپایدار بنا شده‌اند، همراه است. در چنین محیط‌هایی، حفر تونل، چه با روش‌های سنتی و چه با تکنیک‌های مکانیزه تمام مقطع مانند دستگاه‌های حفاری تونل (TBM)، با مخاطرات زیادی روبرو است. پایداری جبهه تونل در طول عملیات حفاری اهمیت بسیاری دارد زیرا فشار نگهداری ناکافی می‌تواند منجر به ریزش جبهه تونل و نشست سطح زمین شود، در حالی که فشار بیش از حد ممکن است باعث بالا زدگی سطح زمین گردد. یکی از پارامترهای اساسی در ساخت تونل‌های شهری با استفاده از دستگاه‌های TBM، روش تعادلی فشار زمین (EPB) است که با اعمال فشار متعادل، پایداری جبهه تونل را حفظ می‌کند. اعمال فشار نادرست، چه خیلی زیاد و چه خیلی کم، می‌تواند به ترتیب منجر به ریزش جبهه تونل یا بالا زدگی زمین شود که نتیجه آن توقف در عملیات حفاری، نشست یا بالا زدگی سطح زمین، آسیب به سازه‌های اطراف تونل و افزایش هزینه‌های پروژه است. در حفاری تونل با دستگاه TBM، نگهداری شعاعی و آب‌بندی توسط سپر یا غلاف و پوشش بتنی انجام می‌شود. با این حال، استفاده از چنین روش‌های مکانیکی در جبهه تونل عملاً غیرممکن است و باید از روش‌های نگهداری غیرمستقیم استفاده کرد. هدف اصلی در طول حفاری تونل، حفظ استحکام جبهه تونل است تا تغییر شکل‌ها به حداقل برسد. برای دستیابی به این هدف، فشار باید به گونه‌ای اعمال شود که پایداری جبهه تامین گردد. روش‌های مختلفی بر اساس مکانیزم‌های خرابی توسعه یافته‌اند که به صورت تجربی، تحلیلی و عددی تعیین فشار تعادلی را ممکن می‌سازند. از نظر تئوریک، روش‌های مختلف حفاری با ایجاد تعادل بین فشار خاک و فشار هیدرواستاتیک در جبهه تونل، از نشست خاک جلوگیری می‌کنند. نکته مهم در نگهداری جبهه حفاری، اعمال فشار صحیح به جبهه تونل است. مطالعات و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است. لیو و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه مشابهی بر روی اندرکنش تونل‌های موازی در سیدنی انجام دادند و از مدل‌سازی عددی برای تحلیل نتایج استفاده کردند. حسینی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی جابجایی‌های زمین اطراف تونل‌ها ناشی از حفاری با دستگاه‌های EPB در خط ۳ متروی تهران پرداختند. نتایج نشان داد که بیشینه نشست سطحی در این بخش ۲/۵ سانتی‌متر بود که ۰/۵ سانتی‌متر بیشتر از حد مجاز بود. همچنین جابجایی‌های افقی در داخل توده خاک نیز مشاهده شد که با افزایش عمق، این

کاهش سطح آب وجود دارد که می‌تواند بر دسترسی به منابع آب زیرزمینی برای استفاده شهری تأثیر بگذارد. علاوه بر این، استفاده از مواد شیمیایی یا روان‌کننده‌ها در عملیات TBM می‌تواند در صورت مدیریت نادرست، به آلودگی آب زیرزمینی منجر شود. نشست سطحی زمین، که به عنوان یکی از پیامدهای رایج حفاری تونل شناخته می‌شود، خطرات قابل توجهی برای زیرساخت‌های شهری به همراه دارد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، فشار ناکافی یا بیش‌ازحد در جبهه تونل در طول حفاری می‌تواند منجر به نشست یا بالازدگی زمین شود که به نوبه خود می‌تواند به سازه‌های سطحی مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها و تأسیسات زیربنایی آسیب برساند. در مناطق شهری پرجمعیت، حتی حرکات جزئی زمین نیز می‌تواند خسارت‌های بزرگی به همراه داشته باشد که منجر به تعمیرات هزینه‌بر و تعهدات قانونی احتمالی می‌شود. بنابراین، باید سیستم‌های پایش محیطی برای شناسایی علائم اولیه نشست ایجاد شود تا امکان مداخله به موقع فراهم گردد. با توجه به اهمیت فزاینده توسعه پایدار و حفاظت از محیط‌زیست شهری، نمی‌توان اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های تونل‌سازی، به‌ویژه در شرایط زمین‌شناسی چالش‌برانگیز را نادیده گرفت. حفاری تونل‌های شهری، به‌ویژه در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا و خاک‌های ناپایدار، چندین خطر زیست‌محیطی مانند آلودگی خاک، اختلال در سیستم‌های آب زیرزمینی و آسیب به سازه‌های سطحی را به دنبال دارد. این اثرات نیازمند ارزیابی‌های دقیق اثرات زیست‌محیطی (EIA) و اجرای راهبردهای کاهش هستند.

حفاری تونل دارد. با توجه به بررسی ادبیات پژوهش، مشخص شد که تاکنون تحقیق مستقلی در مورد تاثیر تراز آب زیرزمینی و اثرات اندرکنش تونل‌ها بر یکدیگر انجام نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن اثرات تراز آب زیرزمینی و اندرکنش حفاری تونل‌های مجاور یکدیگر، میزان نشست که مهمترین پارامتر طراحی و پایداری تونل می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

– ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

با توجه به اهمیت فزاینده توسعه پایدار و حفاظت از محیط‌زیست شهری، نمی‌توان اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های تونل‌سازی، به‌ویژه در شرایط زمین‌شناسی چالش‌برانگیز را نادیده گرفت. حفاری تونل‌های شهری، به‌ویژه در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا و خاک‌های ناپایدار، چندین خطر زیست‌محیطی مانند آلودگی خاک، اختلال در سیستم‌های آب زیرزمینی و آسیب به سازه‌های سطحی را به دنبال دارد. این اثرات نیازمند ارزیابی‌های دقیق اثرات زیست‌محیطی (EIA) و اجرای راهبردهای کاهش هستند. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی در تونل‌سازی شهری، امکان اختلال در سیستم‌های آب زیرزمینی است. عملیات حفاری تونل می‌تواند الگوهای جریان آب زیرزمینی را تغییر داده و باعث تغییر در سطح آب و امکان آلودگی آن شود. به عنوان مثال، در زمان حفر تونل در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا، خطر

جدول ۱- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی حفاری تونل‌های شهری

نوع اثر زیست‌محیطی	توضیحات	میزان اهمیت
تأثیر بر سیستم‌های آب زیرزمینی	تغییر الگوهای جریان آب زیرزمینی، کاهش سطح آب و احتمال آلودگی آب زیرزمینی	بسیار بالا
نشست سطح زمین	خطر نشست یا بالازدگی زمین که می‌تواند به سازه‌های سطحی آسیب برساند	بالا
آلودگی خاک	تولید پسماند حفاری و خطر نشت مواد شیمیایی به خاک	متوسط
تأثیرات صوتی و لرزش	نویز و لرزش‌های ناشی از عملیات حفاری که ممکن است به ساکنین و سازه‌های مجاور آسیب برساند	متوسط
آلودگی هوا	انتشار گرد و غبار و ذرات معلق در هوا که کیفیت هوا را کاهش می‌دهد	پایین

جدول ۲- اقدامات کاهش‌دهنده اثرات زیست‌محیطی در حفاری تونل‌های شهری

نوع اثر زیست‌محیطی	اقدامات کاهش‌دهنده	اثر پیش‌بینی شده
تأثیر بر سیستم‌های آب زیرزمینی	استفاده از سیستم‌های آب‌بندی پیشرفته و مانیتورینگ مستمر سطح آب زیرزمینی	کاهش خطر کاهش سطح آب زیرزمینی
نشست سطح زمین	پایش مستمر نشست زمین و تنظیم دقیق فشار جبهه تونل	کاهش خطر نشست و بالازدگی
آلودگی خاک	مدیریت صحیح پسماند حفاری و استفاده از مواد غیرمضر در عملیات TBM	کاهش خطر آلودگی خاک

نوع اثر زیست محیطی	اقدامات کاهش دهنده	اثر پیش‌بینی شده
تأثیرات صوتی و لرزش	استفاده از تجهیزات کاهنده نویز و لرزش، و زمان‌بندی عملیات در ساعات کم‌ترافیک	کاهش نویز و لرزش
آلودگی هوا	استفاده از سیستم‌های مهار گرد و غبار و نظارت بر کیفیت هوا در اطراف محل حفاری	کاهش آلودگی هوا

ژئوتکنیک زمین انتخاب می‌گردند. بعد از حفاری تونل نیاز به یک سیستم پوشش بتنی پیش‌ساخته دارد که لاینینگ تونل نامیده می‌شود. این قطعات به نام سگمنت در یک کارخانه مجزا با استفاده از قالب‌های مخصوص و فرآوری بخار با مقاومت بالا تا ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، تولید و جهت نصب به داخل تونل انتقال می‌یابند. بر این اساس پارامترهای پیشنهادی مطابق جدول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۱ و ۲ نشان‌دهنده اهمیت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اعمال اقدامات پیشگیرانه برای کاهش این اثرات در طول عملیات حفاری تونل‌های شهری هستند. با استفاده از این رویکرد، می‌توان آسیب‌های زیست‌محیطی را به حداقل رساند و به توسعه پایدار شهری کمک کرد.

– روش‌های حفاری تونل‌های زیر زمینی

برای انجام حفاری در روی کله حفار به یک سری ابزار برش مورد نیاز می‌باشد که جنس و نوع این ابزارهای برشی متناسب با شرایط

جدول ۳ – پارامترهای ژئوتکنیکی لایه خاک

پارامتر	لایه خاک	مقدار
مدول الاستیسیته	Mpa	۴۵
ضریب پواسن	-	۰/۳۲
وزن مخصوص خشک	$\frac{kg}{m^3}$	۲۰۰۰
زاویه اصطکاک	degree	۲۶
چسبندگی	$\frac{kg}{m^2}$	۲۳۰۰

جدول ۴ – خصوصیات مصالح بتنی

پارامتر	پوشش بتنی	مقدار
مدول الاستیسیته	Mpa	۳۳۰۰
ضریب پواسن	-	۰/۲۱
وزن مخصوص	$\frac{kg}{m^3}$	۲۶۰۰

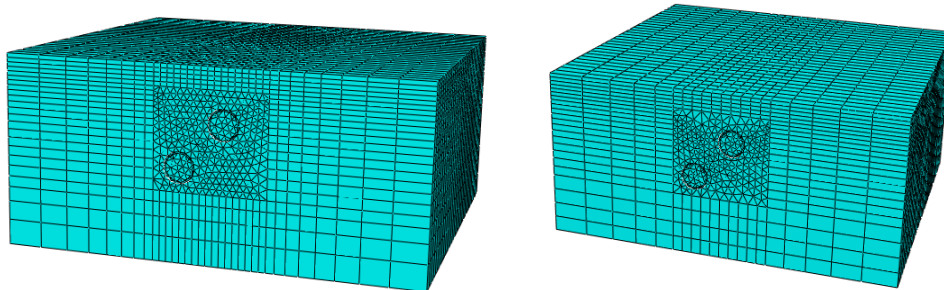
مطالعه‌ای بر روی پارامترهای موثر بر مدل‌سازی عددی تونل انجام دادند. آن‌ها فاصله مرزهای جانبی و کف را بر اساس قطر حفاری و سربار مورد بررسی قرار داده‌اند.

با توجه به نظریه هوک-براون در صورتی که اندازه ابعاد مدل تا ۴ برابر اندازه فضای زیرزمینی باشد اثر شرایط مرزی بر روی توزیع تنش‌ها و کرنش‌های اطراف فضای زیرزمینی قابل صرف‌نظر کردن است. از طرفی پانگ و همکاران (۲۰۰۵)

- مش بندی مدل

برای مدل‌سازی خاک در مدل از دو نوع المان استفاده شده است. در این مدل از المان‌های ۸ گرهی و نقاط انتگرالی کاهش یافته

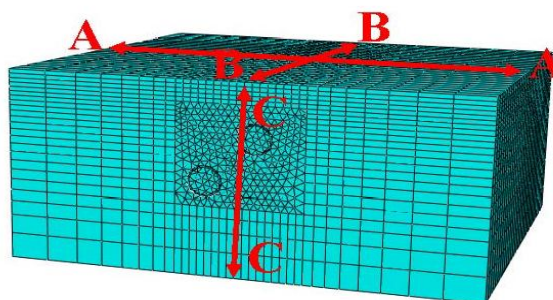
(C3D8R) و المان ۶ گرهی گوه‌ای (C3D6) استفاده شده است. تعداد مش‌های استفاده شده ۱۲۴۵ عدد می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- حالت‌های مختلف مش‌بندی آزمایشی جهت مدل‌سازی تونل‌ها

تغییرات نشست در طول عمق زمین نیز مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۲ مسیره‌های پایش مشاهده می‌گردد. مسیره‌های نشان داده در شکل ۲ نیز با توجه به این مسئله در نظر گرفته

شده‌اند. ذکر این نکته لازمست که مسیر پایش C-C از مرکز مدل عبور می‌کند.

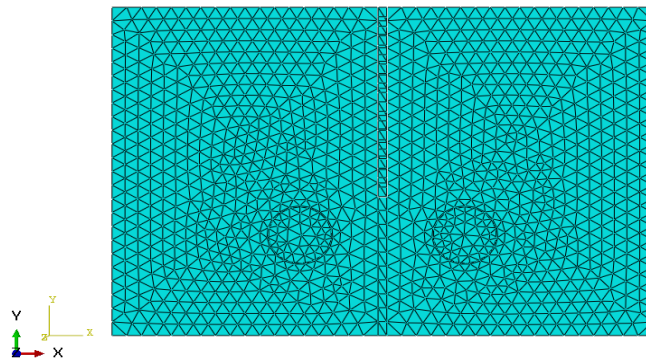


شکل ۲- مسیره‌های پایش شده در مدل تحلیل شده

- صحت‌سنجی مدل‌سازی

به منظور بررسی و صحت‌سنجی مدل ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس از مدل آزمایشگاهی ساخته شده توسط ان‌جی و همکاران (۲۰۱۳) استفاده گردید. در این مدل آزمایشگاهی تاثیر تونل‌های دوقلو اجرا شده بر شمع‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مدل بر روی ماسه خشک مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور در این مطالعه سه حالت کلی مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در حالت اول فقط یک تونل اجرا گردیده و تونل‌ها در نزدیکی پاشنه شمع اجرا گردیده است و در حالت دوم دو تونل

اجرا گردیده و موقعیت تونل‌ها در نزدیکی پاشنه شمع می‌باشد و در نهایت در حالت سوم هر دو تونل در نزدیکی وسط شمع اجرا گردیده است. به همین منظور در این مطالعه میزان تغییرات نشست در خاک ناشی از اجرای تونل‌های دوقلو در سه حالت ذکر شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور بررسی صحت‌سنجی مدل مورد نظر به صورت دویبعدی و با استفاده از اطلاعات مقاله مورد نظر مدل‌سازی گردید. در شکل ۳ مدل ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس نشان داده شده است. براساس مقایسه مدل‌ها مشخص شد که بیشینه نشست در مدل فیزیکی و عددی در هر دو حالت مورد بررسی دارای اختلاف کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.



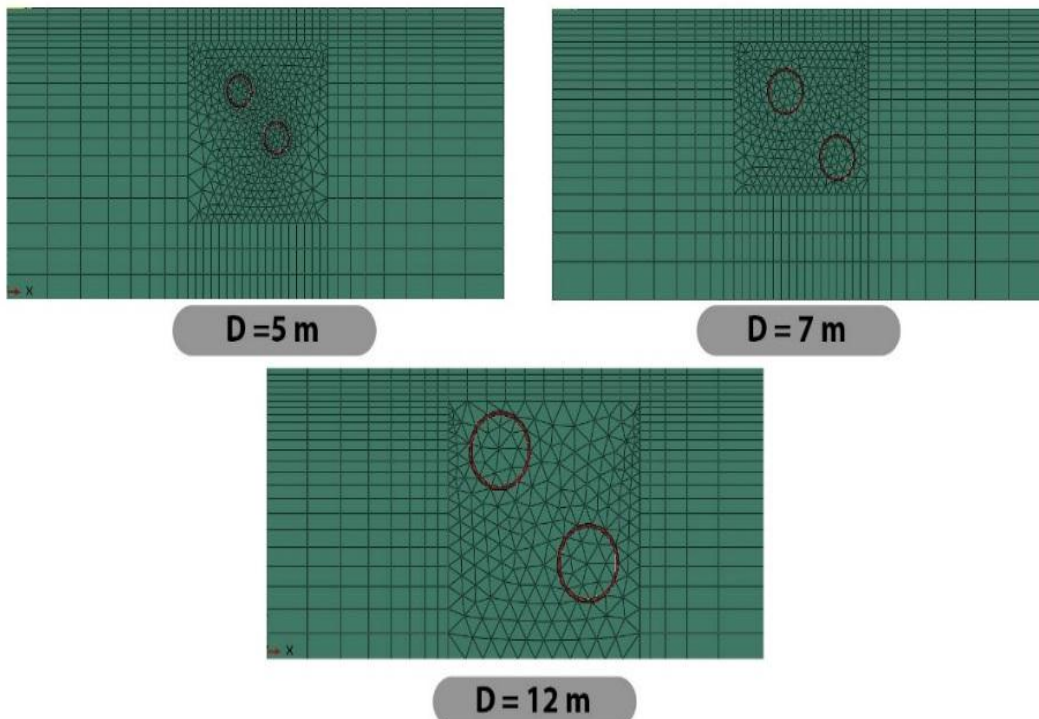
شکل ۳- مدل ساخته شده در نرم افزار آباکوس

نتایج و بحث

گرفت. در شکل ۴ مدل‌های مورد بررسی بر اساس میزان قطر حفاری تونل‌ها بر حسب پارامتر D نشان داده شده است.

– اثر تغییر قطر حفاری تونل‌ها

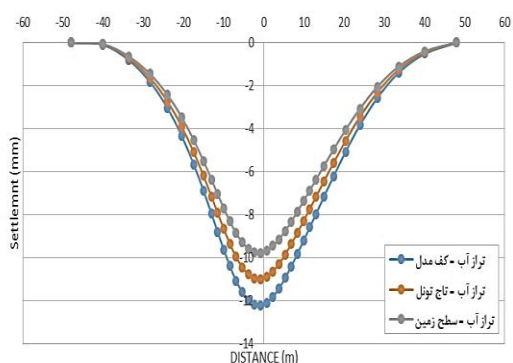
منظور بررسی تاثیر تغییر قطر حفاری تونل‌ها، مساله به ازای ۳ قطر متفاوت ۵ متر، ۷ متر (مدل پایه) و ۱۲ متر مورد بررسی قرار



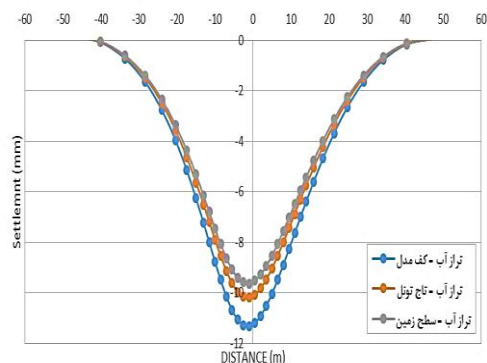
شکل ۴ – مدل‌های مورد بررسی بر اساس میزان قطر حفاری تونل‌ها بر حسب پارامتر D

قطر حفاری تونل‌ها بیشینه نشست افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان مشاهده نمود که با نزدیک شدن تراز آب زیرزمینی به سطح زمین در تمامی حالت‌ها بیشینه نشست نیز کاهش می‌یابد.

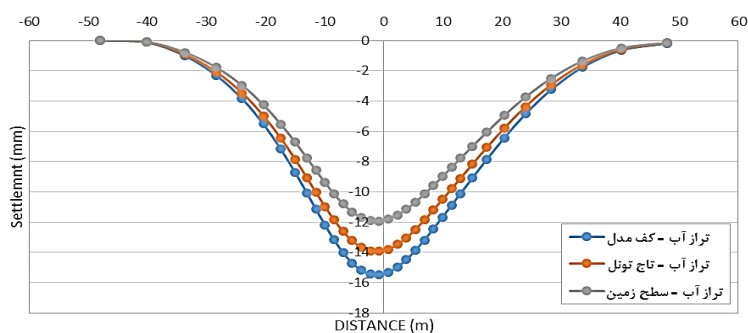
در شکل‌های ۵ الی ۷ منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم و به ازای قطرهای مختلف اجرای تونل‌ها در ترازهای مختلف آب زیرزمینی و در مسیر A-A نمایش داده شده است. با توجه به اشکال ۵ الی ۷ می‌توان بیان نمود که با افزایش



شکل ۶- منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم و به ازای قطر حفاری ۷ متر در ترازهای مختلف آب زیرزمینی و در مسیر A-A



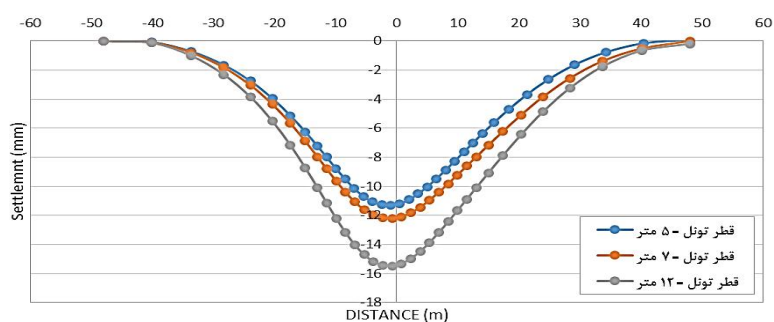
شکل ۵- منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم و به ازای قطر حفاری ۵ متر در ترازهای مختلف آب زیرزمینی و در مسیر A-A



شکل ۷- منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم و به ازای قطر حفاری ۱۲ متر در ترازهای مختلف آب زیرزمینی و در مسیر A-A

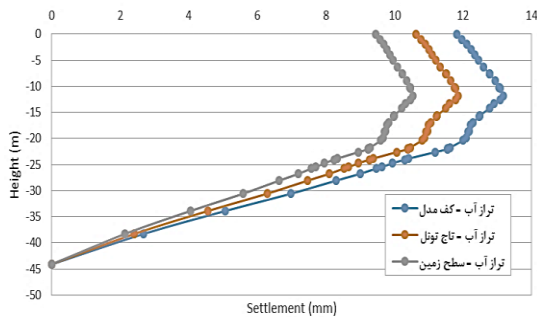
حفاری قرار دارد. به عنوان مثال، حفاری با قطر ۵ متر منجر به بیشینه نشست حدود ۱۱ میلی‌متر می‌شود. با افزایش ۹ درصدی قطر حفاری به ۷ متر، این میزان به ۱۲ میلی‌متر می‌رسد. در حالی که اگر تونل با قطر ۱۲ متر حفاری شود، بیشینه نشست تقریباً ۴۴ درصد بیشتر از حالت حفاری با قطر ۵ متر خواهد بود و به ۱۶ میلی‌متر می‌رسد.

در شکل ۸، منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم، برای قطرهای مختلف تونل و با فرض قرار داشتن تراز آب زیرزمینی در کف مدل، در مسیر A-A نمایش داده شده است. با توجه به این نمودار، مشاهده می‌شود که با افزایش قطر حفاری، بیشینه نشست نیز افزایش می‌یابد. همچنین باید به این نکته توجه داشت که میزان افزایش بیشینه نشست به شدت تحت تأثیر قطر



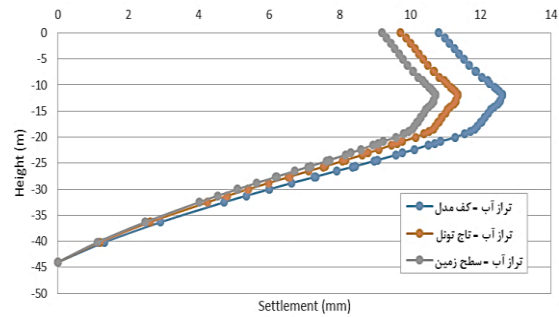
شکل ۸ - منحنی نشست عرضی در سطح زمین پس از حفاری تونل دوم و به ازای قطرهای مختلف اجرای تونل ها و در تراز آب زیرزمینی در کف مدل و در مسیر A-A

که در تمامی حالت‌های مورد بررسی نمودارها دارای رفتار یکسانی بوده و در تاج تونل بیشینه نشست در راستای عمق رخ می‌دهد. همچنین می‌توان بیان نمود که در تمامی حالت‌ها با نزدیک شدن تراز آب زیرزمینی به سطح زمین بیشینه نشست کاهش می‌یابد.

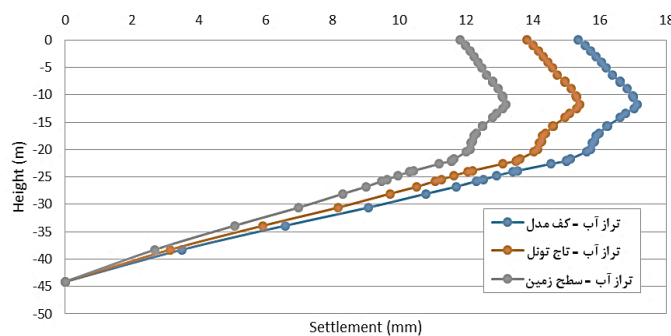


شکل ۱۰ - تغییرات نشست مقطع محور تونل در عمق خاک پس از حفاری تونل دوم به ازای قطر حفاری تونل‌ها برابر ۷ متر و در ترازهای مختلف آب زیر زمینی در مسیر C-C

در شکل‌های ۹ تا ۱۱ تغییرات نشست مقطع محور تونل در عمق خاک پس از حفاری تونل دوم به ازای قطرهای مختلف اجرای تونل‌ها و در ترازهای مختلف آب زیرزمینی در مسیر C-C نمایش داده شده است. با توجه به شکل‌های ۹ الی ۱۱ می‌توان بیان نمود



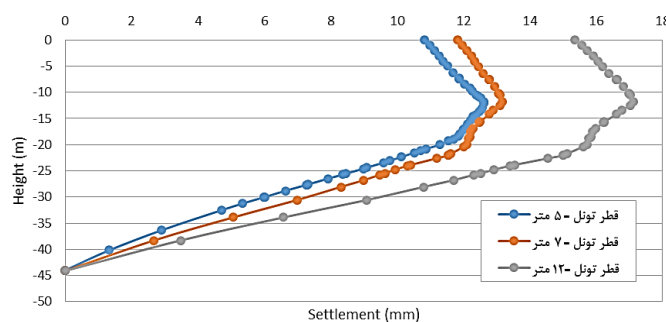
شکل ۹ - تغییرات نشست مقطع محور تونل در عمق خاک پس از حفاری تونل دوم به ازای قطر حفاری تونل‌ها برابر ۵ متر و در ترازهای مختلف آب زیر زمینی در مسیر C-C



شکل ۱۱ - تغییرات نشست مقطع محور تونل در عمق خاک پس از حفاری تونل دوم به ازای قطر حفاری تونل‌ها برابر ۱۲ متر و در ترازهای مختلف آب زیر زمینی در مسیر C-C

می‌دهد. همچنین ذکر این نکته لازم است که با افزایش قطر حفاری تونل‌ها بیشینه نشست افزایش می‌یابد.

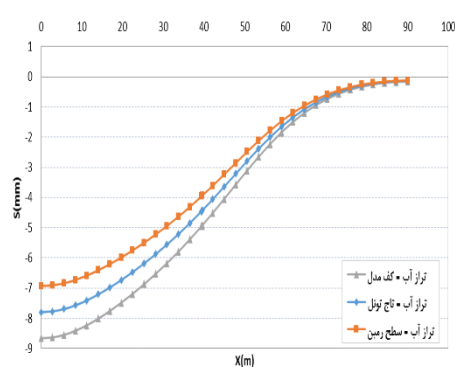
با توجه به شکل ۱۲ می‌توان بیان نمود، در صورتی که تراز آب زیرزمینی در کف مدل باشد، با افزایش قطر حفاری تونل‌ها محل بیشینه نشست در راستای عمق تغییری نداشته و در تاج تونل رخ



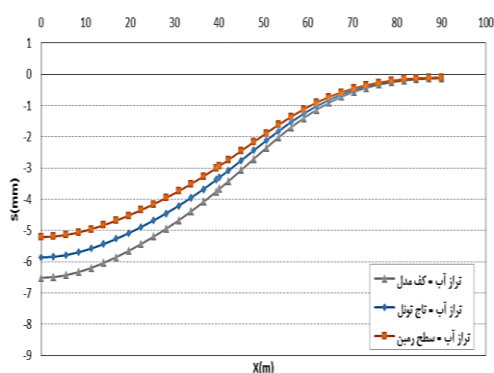
شکل ۱۲- تغییرات نشست مقطع محور تونل در عمق خاک پس از حفاری تونل دوم به ازای قطرهای مختلف اجرای تونل‌ها و در تراز آب زیر زمینی در کف مدل ، در مسیر C-C

تونل از جبهه حفاری تونل به کمتر از یک میلی‌متر می‌رسد و می‌توان بیان نمود که در حفاری تونل‌ها، طول ناحیه‌ای که تحت تأثیر حفاری تونل قرار می‌گیرد به سطح تراز آب زیر زمینی و قطر حفاری تونل ها وابسته نمی‌باشد.

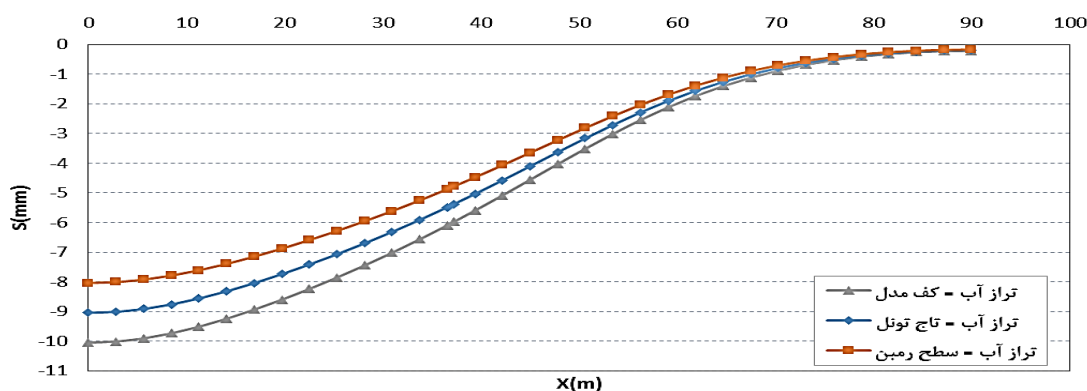
در با توجه به شکل های ۱۴ الی ۱۶ می‌توان بیان نمود که با قطر حفاری تونل‌ها بیشینه نشست افزایش می‌یابد و در نتیجه فشار مورد نیاز برای پایداری جبهه حفاری تونل نیز افزایش می‌یابد. نکته مهمی که در این اشکال می‌توان مشاهده نمود این مسئله است که نشست طولی در فاصله‌ای به میزان مجموع سربار و قطر



شکل ۱۴- نشست طولی به ازای قطر اجرای تونل‌ها برابر ۷ متر و ترازهای مختلف آب زیرزمینی در مسیر B-B



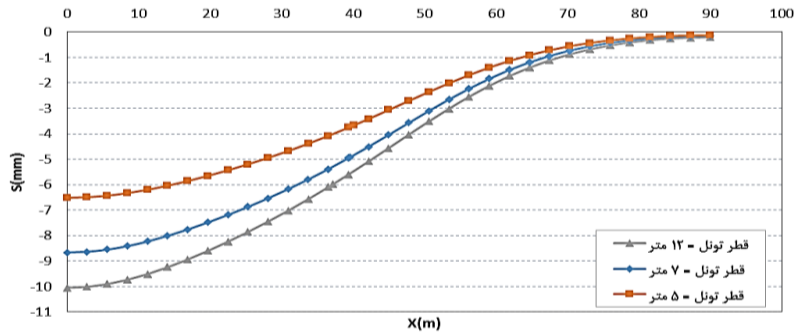
شکل ۱۳- نشست طولی به ازای قطر اجرای تونل‌ها برابر ۵ متر و ترازهای مختلف آب زیرزمینی در مسیر B-B



شکل ۱۵- نشست طولی به ازای قطر اجرای تونل‌ها برابر ۱۲ متر و ترازهای مختلف آب زیرزمینی در مسیر B-B

باشد، بیشینه نشست برابر با ۶/۵ میلی‌متر بوده و به ازای قطر حفاری ۱۲ متر در حدود ۴۲ درصد افزایش یافته و به عدد ۱۰ میلی‌متر می‌رسد.

با توجه به شکل ۱۶ می‌توان بیان نمود، در حالتی که تراز آب زیرزمینی در کف مدل است، با افزایش قطر حفاری تونل‌ها، بیشینه نشست افزایش می‌یابد. به طوری که به ازای قطر تونل برابر ۵ متر در صورتی که جبهه حفاری تونل اول در وسط مدل



شکل ۱۶- نشست طولی به ازای قطرهای مختلف اجرای تونل‌ها تراز آب زیرزمینی در کف مدل جدول ۵ نشان‌دهنده تغییرات بیشینه نشست به ازای قطرهای مختلف حفاری است. با افزایش قطر، بیشینه نشست به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

جدول ۵ - تغییرات بیشینه نشست بر اساس قطر حفاری

قطر حفاری (متر)	بیشینه نشست (میلی‌متر)	تغییرات (%)
۵	۱۱	-
۷	۱۲	۹
۱۲	۱۶	۴۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مقدار با افزایش ۹ درصدی به ۱۲ میلی‌متر در قطر حفاری ۷ متر می‌رسد. اگر تونل با قطر ۱۲ متر حفاری شود، بیشینه نشست نسبت به حالت حفاری با قطر ۵ متر، حدود ۴۴ درصد افزایش یافته و به ۱۶ میلی‌متر می‌رسد. در تمام حالت‌های مورد بررسی، نمودارها دارای رفتار مشابهی هستند و بیشینه نشست در تاج تونل در راستای عمق رخ می‌دهد. همچنین، می‌توان گفت که در تمامی حالت‌ها، با نزدیک شدن تراز آب زیرزمینی به سطح زمین، بیشینه نشست کاهش می‌یابد. در صورتی که تراز آب زیرزمینی در کف مدل باشد، افزایش قطر حفاری باعث تغییر محل بیشینه نشست در راستای عمق نخواهد شد و این نشست در تاج تونل باقی خواهد ماند. در نهایت، با افزایش قطر حفاری، نیاز به فشار بیشتر برای پایداری جبهه حفاری تونل نیز افزایش می‌یابد. نکته مهمی که در این پژوهش قابل مشاهده است، این است که نشست طولی در فاصله‌ای برابر با مجموع سربار و قطر تونل، از جبهه حفاری به کمتر از یک میلی‌متر می‌رسد و می‌توان نتیجه گرفت که طول ناحیه تحت تأثیر حفاری تونل به سطح تراز آب زیرزمینی و قطر حفاری وابسته نیست.

توجه به گسترش سریع مناطق شهری، ساخت تونل‌های زیرزمینی به امری ضروری تبدیل شده است که با چالش‌های قابل توجهی از لحاظ زمین‌شناسی، به‌ویژه در شهرهایی که بر روی بسترهای ناپایدار بنا شده‌اند، همراه است. در چنین محیط‌هایی، حفر تونل، چه با روش‌های سنتی و چه با تکنیک‌های مکانیزه تمام مقطع مانند دستگاه‌های حفاری تونل (TBM)، با مخاطرات زیادی روبه‌رو است. پایداری جبهه تونل در طول عملیات حفاری اهمیت بسیاری دارد. زیرا فشار نگهداری ناکافی می‌تواند منجر به ریزش جبهه تونل و نشست سطح زمین شود. در حالی که فشار بیش از حد ممکن است باعث بالا زدگی سطح زمین گردد. تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش قطر حفاری تونل‌ها، مقدار بیشینه نشست نیز افزایش می‌یابد. همچنین، مشاهده شد که نزدیک شدن تراز آب زیرزمینی به سطح زمین، منجر به کاهش بیشینه نشست در تمامی حالت‌ها می‌گردد. زمانی که تراز آب زیرزمینی در کف مدل قرار دارد، با افزایش قطر حفاری، بیشینه نشست افزایش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که شدت افزایش بیشینه نشست به میزان قابل توجهی به قطر حفاری وابسته است. به گونه‌ای که در حفاری با قطر ۵ متر، بیشینه نشست حدود ۱۱ میلی‌متر است و

References

1. Abo-Alanwar MM, Elbatal SA. Influence of Alignment and Spacing of Constructing a New Circular Tunnel on an Existing One. *IJETT*. 2021;42.
2. Bayoumi A, Abdallah M, Hage Chehade F. Non-Linear Numerical Modeling of the Interaction of Twin Tunnels-Structure. *World Academy of Science*. 2021.
3. Channabasavaraj W, Visvanath B. Influence of Relative Position of the Tunnels: A Numerical Study on Twin Tunnels. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 2013.
4. Hage Chehade F, Shahrour I. Numerical Analysis of the Interaction Between Twin Tunnels: Influence of the Relative Position and Construction Procedure. *unn. Undergr. Space Technol*. 2008; 23:210-214.
5. Hosseini S, Shahryar K, Monjazi M. Prediction of Ground Displacements Around Tunnels Due to EPB Machine Excavation (Case Study: Line 3 of Tehran Metro). *J. Eng. Geol*. 2019;5(2):1250-1235.
6. Negro A, Queiroz BIP. Prediction and Performance of Soft Ground Tunnels. In *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*. Tokyo, Japan: Balkema; 2013. p. 409-418.
7. Pang CH, Yong KY, Dasari GR. Some Considerations in Finite Element Analysis of Tunneling. In *Proceedings of Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future*. London: Taylor & Francis Group; 2005. p. 1149-1154.
8. Qian F, Tai Q, Zhang D, Wong LNY. Ground Surface Settlements Due to Construction of Closely-Spaced Twin Tunnels with Different Geometric Arrangements. *Tunn. Undergr. Space Technol*. 2016; 51:144-151.
9. Rezai N, Nourzadeh A. Calculation of Minimum Pressure in Tunnel Excavation Using EPB and TBM Methods (Case Study: Dez Water Transfer Tunnel to Qomrud). *Proceedings of the Third Congress and Exhibition of Dams and Tunnels in Iran, Tehran*. 2014.
10. Shalabi FI. Interaction of Twin Circular Shallow Tunnels in Soils, Parametric Study. *Open Journal of Civil Engineering*. 2017; 7:100-115.
11. Sun Z, Zhang D, Li A, Lu S, Tai Q, Chu Z. Model Test and Numerical Analysis for the Face Failure Mechanism of Large Cross-Section Tunnels Under Different Ground Conditions. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022; 130:104735.
12. Zhu S, Que X, Zhu Z, Han B. Improved Polygonal Constitutive Model for Columnar Jointed Basalt and Its Application in Tunnel Stability Analysis. *unn. Undergr. Space Technol*. 2023; 142:105449.



Environmental and Numerical Analysis of the Effects of Groundwater Level Changes on Face Stability in Tunnel Construction Using the TBM-EPB Method: The Impacts of Tunnel Diameter and Pressure on the Excavation Machine.

Mohamadhossein Ahmadi Member of civil department , Faculty of Enginnering, Beyza branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.
Amir Vakili* Member of civil department , Faculty of Enginnering, Beyza branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.
Roozbeh Aghamajidi Member of civil department, Faculty of Civil, Sepidan branch, Islamic Azad University, Sepidan, Iran

Extended Abstract

Received: 03 Aug 2024

Accepted: 19 Sep 2024

Keywords: changes in underground water level, drilling front pressure, drilling diameter change, Abaqus software

Introduction: Nowadays, there are various methods for digging tunnels in urban environments. Factors such as the cross-section of the tunnel, the amount of progress, the amount of capital required, the duration of the project, and most importantly the type of soil and rock and the condition of the underground water, play a fundamental role in choosing the drilling method in urban environments. Based on this, the aim of this research is to numerically investigate the effect of changes in the underground water level on the pressure on the excavation front by changing the diameter of the tunnels.

Materials and Methods: In this study, three general cases have been examined. In the first case, only one tunnel was executed and the tunnels were executed near the heel of the pile. In the second case, two tunnels were executed and the position of the tunnels is near the heel of the pile, and finally, in the third case, both tunnels were executed near the middle of the pile. For this purpose, in this study, the changes in soil settlement due to the implementation of twin tunnels in the three mentioned cases has been investigated.

Results and Discussion: The results of the research showed that the intensity of the maximum settlement increase is significantly dependent on the drilling diameter; In a drilling with a diameter of 5 meters, the maximum settlement is about 11 mm, and this value reaches 12 mm with an increase of 9% in a drilling diameter of 7 meters. If the tunnel is dug with a diameter of 12 meters, the maximum settlement increases by 44% and reaches 16 mm compared to the case of digging with a diameter of 5 meters.

Conclusion: In all modeling modes, as the groundwater level approaches the ground surface, the maximum settlement decreases. If the underground water level is at the bottom of the model, increasing the drilling diameter will not change the location of the maximum settlement along the depth, and this settlement will remain at the crown of the tunnel. Finally, with the increase of the drilling diameter, the need for more pressure for the stability of the tunnel excavation front also increases. An important point that can be seen in this research is that the longitudinal settlement at a distance equal to the sum of the overhead and the diameter of the tunnel reaches less than one millimeter from the excavation front, and it can be concluded that the length of the area affected by the tunnel excavation reaches the level of the underground water level. And the drilling diameter is not dependent.

Corresponding author: Amir Vakili

Address: Member of civil department , Faculty of Enginnering, Beyza branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

Tel: +989177039232 **Email:** amir.vakili@iau.ac.ir

Citation: Ahmadi M, Vakili A, Aghamajidi R. Environmental and Numerical Analysis of the Effects of Groundwater Level Changes on Face Stability in Tunnel Construction Using the TBM-EPB Method: The Impacts of Tunnel Diameter and Pressure on the Excavation Machine. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(6): 70-81.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.