

بن‌افزینج

فصلنامه

خبرافیا و یاداری محیط

(نشریه علمی)

سال دهم

شماره ۳۴

بهار ۱۳۹۹

شاپای چاپی: ۲۳۲۲-۳۱۹۷

شاپای الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۸۳

جغرافیا و پایداری محیط

نشریه جغرافیا و پایداری محیط براساس مجوز شماره ۳/۱۸/۱۶۸۳۲۳ به تاریخ ۱۳۹۴/۸/۱۶ کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور (وزارت علوم تحقیقات و فناوری) از شماره پاییز ۱۳۹۴ حائز رتبه علمی شده است.
«این نشریه با همکاری انجمن ایرانی ژئومورفولوژی منتشر می شود.»

زبان نشریه: فارسی

تناوب انتشار: فصلنامه

قالب انتشار: چاپی - الکترونیکی

نوع داوری: دوسو ناشناس

سال: دهم

شماره: ۳۴

فصل: بهار

صاحب امتیاز: دانشگاه رازی

تیراژ: ۳۰۰ نسخه

قیمت: ۱۰۰۰۰۰ ریال

نشانی: کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دفتر فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط.
صندوق پستی: ۹۴۱-۶۷۱۴۴۱۴

دورنگار: ۰۸۳۳۴۲۸۳۹۰۳

تلفن: ۰۹۱۸۵۸۱۷۹۸۹

نشانی وبگاه: <http://ges.razi.ac.ir>

نشانی الکترونیکی نشریه: gse@razi.ac.ir

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

- پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)
- پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
- پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)
- پایگاه مجلات تخصصی نور (Noormags)

سال دهم
شماره ۳۴
بهار ۱۳۹۹
شاپای چاپی: ۳۱۹۷-۲۳۲۲
شاپای الکترونیکی: ۵۶۸۳-۲۶۷۶

صاحب امتیاز: دانشگاه رازی
مدیرمسئول: حسن ذوالفقاری (دانشیار دانشگاه رازی)
سر دبیر: ایرج جباری (دانشیار دانشگاه رازی)

اعضای هیئت تحریریه

- | | |
|-------------------------|---|
| ۱- ساموئل تی. میلر | استاد هواشناسی دانشگاه پلیموس ستیت، نیو هامپشایر، آمریکا |
| ۲- سعید جهانبخش اصل | استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز دانشگاه تبریز |
| ۳- علی محمد خورشید دوست | استاد اقتصاد و مدیریت محیط زیست |
| ۴- محمدرضا رضوانی | استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تهران |
| ۵- میر ستار صدرموسوی | استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دانشگاه تبریز |
| ۶- قاسم عزیزی | استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران |
| ۷- منوچهر فرج‌زاده | استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس |
| ۸- مجتبی قدیری معصوم | استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تهران |
| ۹- فرانسیسکو گوتیرز | استاد ژئومورفولوژی دانشگاه زاراگوزا |
| ۱۰- مجتبی یمانی | استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران |
| ۱۱- سید علی بدری | دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تهران |
| ۱۲- مهدی پورطاهری | دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه تربیت مدرس |
| ۱۳- ایرج جباری | دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه رازی |
| ۱۴- فیروز مجرد | دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه رازی |
| ۱۵- امجد ملکی | دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه رازی |

همکاران علمی این شماره:

محمد احمدی، مرتضی اسمعیل‌نژاد، روح‌اله اوجی، علیرضا ایلدرمی، مسعود جلالی، علی محمد خورشید دوست، فرامرز خوش‌اخلاق، نورالدین رستمی، کاظم رنگزن، غلامرضا سبزقبائی، احد ستوده، جلیل صحرایی، سارا عطارچی، حسین عقیقی، چوقی بایرام کمکی، داود مختاری.

مدیر داخلی و اجرایی: مجید احمدی ملوردی

کارشناس اجرایی: نسرين عزیزی
ویراستار انگلیسی: رؤیا تابعی
ویراستار ادبی و صفحه‌آرا: هدی رضایی

راهنمای تدوین مقالات

۱. نکات قابل توجه نویسندگان پیش از نگارش مقاله

۱-۱. اصول اخلاقی، مندرج در اطلاعات نشریه را به دقت مطالعه فرمایید.

۱-۲. تمامی مقالات ارسالی به نشریهٔ جغرافیا و پایداری محیط، پیش از ورود به فرایند داوری با نرم افزار مشابهت یاب بررسی خواهند شد.

۱-۳. لازم است نویسندگان محترم فرم **تعارض منافع و تعهد نامه** مجله را تنظیم و به همراه فایل اصلی مقاله در قسمت فایل‌های پیوست بارگذاری فرمایند. برای شروع فرایندهای ارزیابی مقاله این فرم الزامی است.

۱-۴. با توجه به قلمرو و چشم‌اندازهای بخش اطلاعات نشریه (در وبگاه) و به‌دلیل تخصصی‌بودن، تنها موضوعات مربوط به یابرداری فضای جغرافیایی، برای فصلنامه پذیرفته می‌شود.

۱-۵. نام و مشخصات نگارندگان به‌طور دقیق نوشته شود و نویسندۀ مسئول، هدایت اصلی نگارش مقاله را برعهده بگیرد.

۱-۶. اگر نویسنده یا نویسندگان در تهیه مقاله از منابع مالی، فکری و اداری سازمان‌ها یا نهادهای خاصی استفاده کرده‌اند، در بخش سیاست‌گذاری (پس از نتیجه‌گیری) به میزان کمک آن‌ها اشاره کنند.

۷-۱. سیاست مالی نشریه به صورت ذیل است، خواهشمند است به آن توجه فرمایید: با توجه به ضرورت مشارکت نویسندگان/نویسندگان محترم در تأمین هزینه‌های آماده‌سازی، چاپ و انتشار نشریه، پس از تأیید هر مقاله برای چاپ، مبلغ

دویست هزار تومان (تا سقف ۱۵ صفحه) دریافت خواهد شد و به ازای هر صفحه اضافه بر آن نیز، مبلغ بیست هزار

تومان دریافت می‌شود. چنانچه مقاله‌ای پس از فرایند داوری، بازپس گرفته شود، معادل ۵۰٪ هزینه داوری دریافت خواهد شد. هزینه یادشده به حساب شماره ۴۷۲۰۳۰۱۰۷۳۳۰۳۰۲۰۵۴۷ با شناسه واریز ۸۲۰۱۰۰۰۴۰۰۱۰۷۳۳۰۳۰۳۰۵۴۷ نزد بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران به نام درآمدهای اختصاصی دانشگاه رازی - مجله جغرافیا و پایداری محیط واریز شود. بدیهی است در صورت واریز نکردن وجه، مقاله از فرایند چاپ کنار گذاشته خواهد شد.

۸-۱. نشریه جغرافیا و پایداری محیط آمادگی خود را برای چاپ سه نوع مقاله اعلام می‌کند؛ لذا خواهشمند است پیش‌تر نوع مقاله خود را تعیین کنید تا بتوانید عنوان‌بندی مقاله را براساس آن تنظیم کنید.

۹-۱. بذیرش، مقاله تنها از طریق سایت فصلنامه (<http://ges.razi.ac.ir>) امکان پذیر است.

۱-۱۰. چنانچه نویسنده/ نویسندگان، مقاله‌ای را در مرحله داورِ این نشریه داشته باشند، تا زمان روشن شدن نتیجه داورِ مرحله از پذیرش هم‌زمان مقالات دیگر معذور خواهد بود.

۱-۱. مقاله ارسال شده باید حاصل کار پژوهشی و علمی باشد و نباید در هیچ نشریه داخلی یا خارجی یا مجموعه مقالات خارجی چاپ شده باشد و انتظار می‌رود نویسندگان محترم تا هنگامی که جواب پذیرش یا رد از نشریه دریافت نکرده‌اند، مقاله خود را به نشریه دیگری برای چاپ یا بررسی ارسال نکنند.

۱-۱۲. زبان رسمی نشریه فارسی است؛ باوجود این، پیوست چکیده مبسوط انگلیسی برای همه مقالات ضروری است؛ ازسوی دیگر، چاپ مقالات به زبان انگلیسی نیز قابل بررسی است؛ ولی ازآنجاکه ممکن است فرایند داوری و چاپ این نوع مقالات خیل، طولانی باشد، پیشنهاد می شود پیش از ارسال، با سردبیر نشریه مشورت فرمایید.

۱۳-۱. مقاله باید سلیس، روان و از نظر دستور زبان صحیح باشد و واژه‌ها با دقت کافی انتخاب شده باشد؛ همچنین بار اگر آفبندی، متن، مقاله و تمامی قواعد ادبی (آیین نگارش فارسی) و وب‌استاری ادبی و علمی باید رعایت گردد.

۱-۱۴. حجم مقاله شامل متن، شکل‌ها، جدول‌ها، نقشه‌ها، منابع و چکیده لاتین، با رعایت استانداردهای مجله باید حداکثر از

۱۵ صفحه بیشتر نشود.

۱-۱۵. مقالات برگرفته از پایان نامه و رساله دانشجویان با نام استاد راهنما، مشاور / مشاوران و دانشجو و با مسئولیت استاد

راهنما منتشر می‌شود.

۱۶-۱. مسئولیت صحت و سقم مقاله، به لحاظ علمی و حقوقی برعهده نویسنده یا نویسندگان است.
۱۷-۱. مجله جغرافیا و پایداری محیط، در راستای همگامی با استانداردهای نشر بین‌المللی، بنا را بر داوری هم‌تراز و دسترسی آزاد گذاشته است. در همین راستا این نشریه رویه داوری دوسو ناشناس (Double Blind Peer Review) را برگزیده است.

۲. نکات قابل توجه نویسندگان برای نگارش مقاله

۲-۱. ساختار مقاله

ساختار مقاله را نوع آن تعیین می‌کند. سه نوع عمده مقالات عبارت‌اند از: مقالات پژوهشی، مقالات مروری و مقالات کوتاه. در این نشریه حداکثر تعداد کلمات مقاله‌های پژوهشی ۵۰۰۰، مقاله‌های مروری ۲۵۰۰۰ و مقاله‌های کوتاه ۲۵۰۰ کلمه در نظر گرفته شده است. تعداد منابعی که برای هر مقاله لازم است به ترتیب حداقل ۳۰، ۵۰ و ۵ مورد است. از نظر تعداد جدول‌ها و شکل‌ها تنها مقالات کوتاه محدودیت دارند و آن نیز در مجموع ۳ جدول یا شکل را شامل می‌شود. ساختار همه مقاله‌ها از چکیده، کلیدواژه‌ها، متن اصلی و منابع تشکیل می‌شوند، ولی متن آن‌ها براساس نوع مقاله فرق می‌کند. متن مقاله‌های پژوهشی باید دارای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری باشند، ولی متن اصلی مقالات مروری ساختار مشخصی ندارند؛ با وجود این، لازم است که در آن‌ها طرح مسئله، عنوان‌بندی بحث و نتیجه‌گیری، به‌خوبی و با روایی مشخص صورت گیرد. متن مقالات کوتاه نیز دارای بخش‌های عادی مانند مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث نیستند، ولی باید در آن‌ها طرح مسئله شود و توصیف مشاهدات به‌صورت منظم و پیوسته در قالب نتایج و بحث صورت گیرد.

در نوشتار باید توجه داشت که جملات، پاراگراف‌ها و حتی عنوان‌های مقاله باید از پیوستگی و انسجام برخوردار باشند. این امر به‌ویژه در مقدمه و بحث مقاله باید رعایت شود. شیوه طرح مسئله در مقدمه بسیار مهم است، لازم است نویسنده با سلیقه خود و با تکیه بر پیشینه و مبانی نظری پژوهش، خواننده را مجاب به ضرورت و نوآوری پژوهش خویش نماید. در بحث مقاله با استفاده از همین مبانی و پیشینه، مشاهدات مکمل، تجربیات دیگران، تجزیه و تحلیل‌های آماری و تفسیرهای منطقی به روایی و پایایی پژوهش بپردازد و در صورت امکان نشان دهد که پژوهش وی تا چه اندازه می‌تواند به محیط‌های دیگر تعمیم داده شود و در کدام نواحی می‌تواند کارایی داشته باشد.

در مقاله‌های مستخرج از پایان‌نامه از نگارش هر نوع فرضیه پژوهش یا آزمون آن‌ها در بحث یا نتایج پژوهش پرهیز شود و سعی بر آن باشد تا در سرتاسر مقاله، اهداف پژوهش دنبال شود.

۲-۲. سبک نگارش هریک از عنوان‌های مقالات

به طور کلی متن هر یک عناوین از مفاهیم ویژه‌ای و به منظور خاصی تشکیل می‌شود که نویسنده باید سعی کند در سرتاسر مقاله از خلط مطالب پرهیزد، در هر جزء مطالب مربوط به آن را بیان کند و از حاشیه‌نویسی به‌منظور پرکردن مطالب دوری کند.

۲-۲-۱. چکیده

چکیده به‌طور عمده مشتمل بر موضوع پژوهش، روش و نتایج است و باید در آن از مقدمه‌چینی پرهیز شود.

۲-۲-۲. کلیدواژه‌ها

کلیدواژه‌ها حاوی سه تا پنج واژه مهم مرتبط با متغیرهای پژوهش یا موضوع است که نگارنده می‌خواهد با جستجوی پژوهشگران دیگر در اینترنت، به کمک این واژگان مقاله‌اش نمایش داده شود.

۲-۲-۳. مقدمه

در مقدمه، مبانی نظری همراه با پیشینه به‌گونه‌ای منسجم، یکپارچه و پیوسته بیان می‌شود تا درنهایت بتواند موضوع و

مسئله مورد نظر پژوهش و آنچه در بوتۀ ابهام است را مشخص کند. هدف نویسنده در نگارش این بخش از مقاله چینش پشت سرهم نقل قول‌ها به‌طور مجزّا و نامربوط به‌هم نیست؛ بلکه هدف روایت یک جریان و بیان خلأ موجود است.

۲-۴. مواد و روش‌ها

نویسنده در روش پژوهش باید از بیان کلیات و تعاریف مربوط به روش پژوهش بپرهیزد و به‌تفصیل توضیح دهد که چگونه داده‌ها را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کرده است تا هدف یا اهداف پژوهش (یا حلّ خلأ علمی که در مقدمه بیان شد) را برآورد کند. این توضیحات باید به‌قدری دقیق باشد که هر خواننده‌ای در صورت نیاز بتواند مرحله به مرحله آن‌ها را انجام داده و به همان نتیجه‌ای برسد که نگارنده به آن رسیده است. منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند در این بند معرفی شود، ولی نویسنده می‌تواند در صورت ضرورت برای توضیحات تفصیلی، عنوان مستقلی به‌نام «**معرفی منطقه مورد بررسی**» باز کند و این عنوان را در محل مناسب که به‌طور معمول پیش از مواد و روش‌ها است، قرار دهد.

۲-۵. نتایج

در بخش نتایج، تنها باید مواردی بیان شود که درباره اهداف پژوهش است. از بیان روش پژوهش یا پیشینه یا هر موضوعی که ذهن خواننده را از موضوع دور می‌کند پرهیز شود. اگر نتایج پژوهش خیلی گسترده هستند، آن‌ها را به‌طور منظم طبقه‌بندی کرده و ذیل عنوان‌های مناسب، درباره آن‌ها توضیح دهید. در توضیحات خود از جدول‌ها و نمودارهای مناسب استفاده کنید و نتایج آماری را به زبان جغرافیا ترجمه کنید.

۲-۶. بحث

بحث مقاله به‌دلیل سنگین‌بودن آن و نیاز به تفکری عمیق و شاید وقت‌گیر، به‌طور معمول در معرض خطر است. در این بخش، به استناد مشاهدات بیشتر، مبانی نظری علم، سابقۀ پژوهش‌ها و تجربیات گذشتگان و همچنین تجزیه و تحلیل‌های آماری یا هر تحلیلی که نویسنده فکر می‌کند مناسب است و باید نشان داده شود که نتایج پژوهش تا چه حد به واقعیت نزدیک‌اند. در متن مقاله نوشتن این مطلب که با پژوهش دیگری همسویی دارد یا ندارد، مناسب نیست و این مسئله را تحلیل نویسنده باید نشان دهد نه ادعای وی؛ به‌عبارتی، نویسنده باید بکوشد با مقایسۀ پژوهش‌های متعدّد نشان دهد که واگرایی‌ها و همگرایی‌های بین پژوهش‌وی با دیگران در کجاست و به چه دلیل رخ داده است.

۲-۷. نتیجه‌گیری

بخش پایانی متن مقاله، نتیجه‌گیری است. این مبحث چکیده یا تکرار نتایج پژوهش نیست؛ بلکه نویسنده در این بخش به استناد بحثی که انجام داده است، حکم قطعی خود را به‌صورت کلی صادر می‌کند؛ به‌عبارتی، اکنون نتایج پژوهش نویسنده از صافی ارزیابی‌ای به‌نام بحث گذشته‌اند و برد اثرگذاری و کاربرد آن مشخص شده است و نتیجه‌گیری بهترین مبحثی است که نویسنده فرصت می‌یابد تا نتیجه به‌دست‌آمده و میزان اثرگذاری آن را گزارش کند. اگر نویسنده براساس تجربه‌ای که به‌دست آورده است احساس کند می‌تواند پژوهش خود را به‌شیوۀ خاصی ارتقا داده و حجم تعمیم‌پذیری آن را گسترش دهد یا به مدل‌های جدیدی دست یابد یا حلّ مسئله‌ای را بهبود بخشد، می‌تواند پیشنهادی خود را در نتیجه‌گیری ارائه دهد.

۲-۸. سپاسگزاری

چنانچه نویسنده یا نویسندگان در تهیه مقاله از منابع مالی سازمان یا نهادهای خاصی استفاده کرده‌اند، یا قصد تشکر و قدردانی از کسانی را دارند که در نگارش مقاله از آن‌ها یاری گرفته‌اند، باید در بخش سپاسگزاری به این مطلب اشاره کنند.

۲-۹. منابع پایانی

نشریۀ جغرافیا و پایداری محیط برای استناددهی یا شیوۀ ارجاع، سبک انجمن روان‌شناسی آمریکا که به‌اختصار APA (American Psychological Association) گفته می‌شود را به‌منزله معیار انتخاب کرده است فایل شیوه‌نامه را می‌توانید از اینجا دریافت کنید. در این شیوه، در متن ابتدا نام مؤلف یا مؤلفان و سپس سال انتشار آورده می‌شود و اگر نقل قول مستقیم باشد، شماره صفحه نیز پس از آن قید می‌شود. ارجاع، بسته به لحن بیان نویسنده ممکن است در شروع یا پایان

جمله یا متن آورده شود.

برای اهداف این نشریه، منابع مورد استفاده در متن مقاله در دو مجموعه فارسی و انگلیسی در آخر مقاله آدرس داده می‌شوند: در مجموعه اول منابع فارسی به همان زبان فارسی آورده می‌شود و در مجموعه دوم منابع فارسی برای استفاده انگلیسی زبان ها ترجمه می‌شود و در آخر آنها نیز عبارت (In Persian) آورده می‌شود.

نکته: خواهشمند است برای ترجمه منابع فارسی، به چکیده انگلیسی مقاله، صفحه عنوان انگلیسی کتاب، صفحه عنوان انگلیسی پایان‌نامه و... مراجعه کنید یا از مترجم کمک بگیرید. برنامه "Google Translate" پاسخ مناسبی به شما نمی‌دهد.

۲-۱۰. چکیده مبسوط

چکیده مبسوط انگلیسی و فارسی در حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه به انتهای مقاله اضافه شود. این چکیده، باید خلاصه‌ای از مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و درنهایت واژگان کلیدی باشد.
"Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusion, Keywords"

۲-۳. شکل ظاهری مقاله

۲-۳-۱. حروف چینی مقاله باید در برنامه Word (۲۰۰۳ یا ۲۰۰۷)، در کاغذ A4 و با رعایت حاشیه سه سانتی‌متر از چپ و راست، چهار سانتی‌متر از بالا و دو سانتی‌متر از پایین باشد و فاصله میان سطرها یک سانتی‌متر (single) باشد.

۲-۳-۲. لازم است متن فارسی مقاله با قلم B Nazanin 13 و متن لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته شود. متن چکیده با قلم B Nazanin 10 Bold و دو سانتی‌متر تورفتگی از هر طرف نوشته شود. عنوان اصلی مقاله با قلم B Titr 14 و سایر عنوان‌ها با قلم B Nazanin 14 Bold تنظیم شوند. عنوان جدول‌ها، شکل‌ها و نمودارها با قلم B Nazanin 10 Bold باشد؛ متن جدول‌ها و زیرنویس‌های فارسی با قلم B Nazanin 10 و زیرنویس‌های لاتین با قلم Times New Roman 10 نوشته شوند. منابع پایانی فارسی با قلم B Nazanin 12 و منابع لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته شوند؛ همچنین لازم است اعداد داخل جدول‌ها فارسی باشند.

۲-۳-۳. اعداد در متن فارسی باید به فارسی و در متن لاتین به انگلیسی نوشته شوند.

۲-۳-۴. معادل فارسی اصطلاحات انگلیسی در متن نوشته و انگلیسی آن را در اولین ارجاع به‌صورت زیرنویس ارائه شود.

۲-۳-۵. استفاده از اختصارات انگلیسی و فارسی در متن مقاله بی‌مانع است؛ اما باید معادل فارسی و انگلیسی کامل آن در اولین باری که در متن آمده است، به‌صورت زیرنویس نوشته شود.

۲-۴. شکل‌ها و جدول‌ها

در تنظیم جدول‌ها، منحنی‌ها، شکل‌ها و تصاویر، رعایت نکات زیر الزامی است:

۲-۴-۱. در ترسیم نقشه‌ها سعی شود همه اصول کارتوگرافی رعایت شود. مختصات، مقیاس، راهنما، جهت نقشه و به‌ویژه عناوین عوارض مهم متن نقشه باید به‌صورت خوانا در آن درج شوند، به‌گونه‌ای که حتی پس از کوچک‌شدن نقشه، از وضوح آن‌ها کاسته نشود.

۲-۴-۲. متن شکل‌ها باید به‌صورت رنگی یا سیاه و سفید و با کیفیت مناسب و مطلوب تهیه شده (رزولوشن ۳۰۰ dpi) و شماره و عنوان آن‌ها در پایین آورده شود.

۲-۴-۳. عکس‌ها باید واضح، مطالب آن‌ها خوانا و دارای مقیاس باشند. ذکر مأخذ عکس‌ها یا شکل‌هایی که از منابع دیگر اقتباس شده‌اند الزامی است.

۲-۴-۴. قلم و اندازه آن به‌ویژه در مورد راهنما و متن نقشه‌ها و نمودارها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که پس از کوچک‌شدن مقیاس شکل، برای چاپ نیز خوانا باشند.

۲-۴-۵. نمودارها به‌طور ساده ترسیم شوند، راهنمای عددی نمودارها باید فارسی باشد و از ترسیم نمودارهای چندبُعدی خودداری شود.

۲-۴-۶. همه عنوان‌ها، اعداد، واحدها و مقیاس‌ها در جدول‌ها، شکل‌ها و سایر قسمت‌های مقاله باید به فارسی باشند.

واحدهای استفاده شده نیز براساس سیستم متریک ذکر شوند.

۲-۴-۷. ارائه تصویری جدولها، معادلات، مرجعها یا نوشتههای مستقیم روی شکلها امکان ویرایش را از ویراستار سلب می کند؛ از این رو لازم است این موارد به صورت تایپ شده در متن آورده شوند.

۲-۵. شیوه ارجاع به منابع

۲-۵-۱. منابع مورد استفاده نباید از سی منبع کمتر باشد. ترجیحاً به منابعی که در ده سال اخیر چاپ شده اند (نه منابع قدیمی تر) ارجاع داده شود.

۲-۵-۲. تنها منابعی باید در پایان مقاله ذکر شوند که در متن نیز استفاده شده باشند و از ذکر منابع مشابه و کم اهمیتیت خودداری شود.

۲-۵-۳. در ارجاعات درون متنی، نام نویسندگان انگلیسی به فارسی نوشته شوند و در اولین ارجاع، معادل انگلیسی آنها زیرنویس شود.

۲-۵-۴. در پایان مقاله، نخست منابع فارسی و به دنبال آن منابع خارجی، به صورت مقاله، کتاب، مرجع اینترنتی و... (براساس نمونه های زیر)، به ترتیب حروف الفبای فارسی یا انگلیسی تنظیم شوند. منابع های با سال متفاوت انتشار، نگارنده (گان) به ترتیب صعودی سال انتشار و مربوط به یک سال با افزودن حروف «الف»، «ب»، «پ» و ... یا «a»، «b»، «c» و غیره پس از سال انتشار آورده شوند.

۲-۵-۵. آدرس هر منبعی که در متن آورده شده است باید در آخر مقاله نیز بیاید.

۲-۵-۶. نحوه ارجاع به منابع در داخل متن باید به این ترتیب باشد:

– کتاب و نقل قول های مستقیم: نام خانوادگی نویسنده، سال انتشار: شماره صفحه؛ مانند (علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۲)

– مقاله: نام خانوادگی نویسنده (گان)، سال انتشار؛ الف: تعداد نویسندگان یک نفر باشد (علیجانی، ۱۳۸۴)؛ ب: تعداد نویسندگان دو نفر باشد: (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۴)؛ ج: تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشد: (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۵-۷. شیوه نگارش مشخصات منابع، در انتهای مقاله باید بر اساس شیوه نامه APA و مانند مثال های زیر باشد:

نوع منبع: کتاب	الگوی کلی	نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج نویسی). محل انتشار: ناشر.
	مثال فارسی	روستایی، شهرام و جباری، ایرج (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی مناطق شهری. تهران: سمت.
نوع منبع: کتاب ترجمه شده	الگوی کلی	نام خانوادگی، نام (تاریخ انتشار ترجمه). نام کتاب (به صورت کج نویسی). مترجم: نام و نام خانوادگی مترجم. محل انتشار ترجمه: ناشر.
	مثال فارسی	شلتن، مارلین (۱۳۹۰). هیدروکلیما تولوژی. مترجم: حسن ذوالفقاری. کرمانشاه: دانشگاه رازی.
نوع منبع: مقالات مجلات	الگوی کلی	نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم (سال انتشار). عنوان مقاله. نام مجله (به صورت کج نویسی)، سال یا دوره (به صورت کج نویسی) (شماره)، صفحه آغاز مقاله- صفحه پایان مقاله. شناسه رقومی مقاله یا DOI (در صورت دارا بودن)
	مثال فارسی	ذوالفقاری، حسن؛ رحیمی، حمید؛ اوجی، روح... (۱۳۹۶). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران. جغرافیا و پایداری محیط، ۷ (۲۲)، ۱-۲۰.

Lee, J. A., Gill, T. E., Mulligan, K. R., Dominguez Acosta, M., & Perez, A. E. (2009). Land use/land cover and point sources of the 15 December 2003 dust storm in southwestern North America. <i>Geomorphology</i> , 105 (1–2), 18–27. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.016	مثال انگلیسی	
نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده (تاریخ انتشار). عنوان پایان‌نامه/ رساله (به صورت کج‌نویسی). پایان‌نامه مقطع رشته، نام دانشگاه.	الگوی کلی	نوع منبع:
احمدی ملاوردی، مجید (۱۳۹۲). اصلاح و واسنجی شاخص LFH جهت پهنه‌بندی سیل رودخانه قره‌سو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی.	مثال فارسی	پایان‌نامه و رساله
نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده (تاریخ انتشار). نام مقاله. در: نام ویراستار، نام مجموعه (به صورت کج‌نویسی)، (صص شماره صفحات). محل انتشار: ناشر.	الگوی کلی	نوع منبع:
شریف‌زاده، رضا (۱۳۷۷). اصول مدیریت بحران در حوادث غیر مترقبه و بلایای طبیعی. در: محمود حسینی، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مهندسی زلزله شریان‌های حیاتی، (صص. ۳۴۳–۳۴۹). تهران: مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.	مثال فارسی	مجموعه مقالات
نام سازمان یا نهاد (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج‌نویسی). محل انتشار: ناشر.	الگوی کلی	نوع منبع:
شهرداری شیراز (۱۳۹۵). آخرین تقسیمات کشوری شهرستان شیراز. شیراز: استانداری فارس.	مثال فارسی	کتاب منتشر شده در سازمان‌ها یا نهادها
نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده (در صورت وجود تاریخ انتشار). عنوان مطلب مورد استفاده (به صورت کج‌نویسی). برگرفته از: آدرس اینترنتی.	الگوی کلی	نوع منبع:
مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران (۱۳۹۶). گزارش وضعیت خشکسالی هواشناسی کشور سال زراعی ۹۶–۱۳۹۵. برگرفته از: http://ndc.irimo.ir/far/index.php	مثال فارسی	وبگاه اینترنتی
در صورت استفاده از سایر منابع اطلاعاتی از شیوه‌نامه APA استفاده کنید.		

گفتار سردبیر

با شیوع بیماری «کووید ۱۹» در اواخر سال ۲۰۱۹ میلادی (اواخر پاییز سال ۱۳۹۸) هماهنگ و همگام با دیگر متخصصین از حوزه‌های مختلف علمی، اظهار نظرها و تحلیل‌های علمی از سوی جامعه جغرافی‌دانان نیز آغاز شد. با جدی‌شدن بحران، وزارت علوم از پژوهشگران کمک عملی درخواست نمود و نشریه جغرافیا و پایداری محیط نیز به احترام این دعوت، از جغرافی‌دانان برای مدیریت این بحران یاری طلبید و به دولت خاطرنشان کرد که این مجموعه چگونه می‌تواند در مدیریت علمی بحران با آن‌ها همگام شود؛ ولی این همکاری به پشتوانه اراده جدی دولت نیاز داشت که محقق‌نشدن آن، فرصت‌ها را از جامعه گرفت. نشریه جغرافیا و پایداری محیط با اعتقاد به توانمندی‌های جغرافیا در هر مقطعی از بحران، این‌بار از جامعه جغرافیایی کشور به گونه دیگری دعوت به عمل می‌آورد تا شعارهای خود را به واقعیت تبدیل کنند.

اکنون که در متن انتشار ویروس کرونا قرار گرفته‌ایم و ناپایداری فضای جغرافیایی کشور به وسیله انتشار این ویروس تشدید می‌شود، با توجه به شرایط خاص طبیعی (اقلیمی، ژئومورفولوژی و اکولوژیک) و به‌ویژه انسانی (سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی) کشورمان ممکن است شرایط بحرانی‌تر در راه باشد که با پیش‌بینی آن بتوانیم با کمترین آسیب از آن عبور کنیم و دست‌کم خود را بی‌قید و شرط در برابر حوادث آینده تسلیم نکنیم. باید دانست چه چیزی اتفاق افتاده و چه چیزی در شرف وقوع است که در خیلی از کشورهای کم‌رشد، باوجود اقدامات نه‌چندان محکم، تعداد مبتلایان رو به کاهش می‌گذارد؟ علل جغرافیایی نوسانات تعداد مبتلایان در جهان، منطقه و شهرهای کشور خودمان چیست؟ تصمیمات سیاسی و اقتصادی چه نقشی در این رویدادها ایفا می‌کند؟

این‌ها ساده‌ترین پرسش‌هایی هستند که پاسخ آن‌ها در دستان توانمند جغرافی‌دانان ماهر کشورمان که سال‌ها را برای اثبات خود کوشیده‌اند، قرار دارد و شگفتا بررسی شماره اخیر نشریات داخلی کشور مانند نشریه بین‌المللی علوم و مدیریت محیطی نشان می‌دهد که بیشتر مقالات آن به «کوید ۱۹» اختصاص یافته و حتی پراکندگی فضایی و مکانی این بیماری و الگوهایی که به‌دست آمده نیز، به شیوه کاملاً جغرافیایی بررسی شده است. در هر حال، امید می‌رود جغرافی‌دانان این فرصت را غنیمت شمرده و با نشان‌دادن عملی توانمندی‌های خود در مشارکت در مدیریت مخاطرات محیطی از زیر بار مسئولیت سنگینی که سال‌ها با شعار کاربردی‌بودن جغرافیا در برابر نسل جوان جغرافیا ایجاد کرده‌اند، سربلند و بافتخار بیرون بیایند. در این راستا نشریه جغرافیا و پایداری محیط با افتخار آمادگی خود را برای پذیرش و چاپ این‌نوع مقالات اعلام می‌دارد.

فهرست مطالب

- بررسی پایداری تأثیر مجاورت و تقابل سیستم‌های ژئومورفیک لندفرم‌های آبی و بادی پلایای پترگان...۱۰
مریم ربیعی، مهدی ثقفی، محمدعلی زنگنه اسدی، ابوالقاسم امیراحمدی
- ارزیابی و پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در شهر رشت.....۲۱
افسانه قاسمی، جمیل امان‌اللهی
- پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شورزار دشت قزوین.....۳۷
افشین یوسف گمرکچی، مهدی اکبری، علیرضا حسن‌اقلی، مهدی یونسی
- نقشه‌سازی مشارکتی پهنه استفاده مردمی دهستان دنا در مجاورت منطقه حفاظت‌شده دنا.....۵۳
سیده آل محمد، احمدرضا یاوری، بهرام ملک‌محمدی، اسماعیل صالحی، محمدجواد امیری
- شبیه‌سازی عددی اثرات ثانویه اقدامات طراحی‌شده کنترلی جزیره حرارتی شهری در تابستان بر کیفیت هوا در کلان‌شهر تهران.....۶۹
ولی‌اله شیخی، حسین ملکوتی، سرمد قادر
- بررسی تغییرپذیری زمانی - مکانی شاخص سبزی‌نگی آستانه جنگل‌های بلوط استان لرستان در پاسخ به تغییرات بارش.....۹۳
زهرا علیرضایی، امیر گندمکار، مرتضی خداقلی، علیرضا عباسی
- تحلیل سری زمانی فرونشست زمین در غرب استان تهران (دشت شهریار) و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل‌سنجی راداری.....۱۰۹
رامین پاپی، سارا عطارچی، مسعود سلیمانی



بررسی پایداری تأثیر مجاورت و تقابل سیستم‌های ژئومورفیک لندفرم‌های آبی و بادی پلایای پترگان

مریم ربیعی^۱، مهدی ثقفی^{۲*}، محمدعلی زنگنه اسدی^۱، ابوالقاسم امیراحمدی^۱

^۱گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۲گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
تاریخچه مقاله: دریافت ۵ خرداد ۱۳۹۸ پذیرش ۹ مهر ۱۳۹۸ دسترسی آنلاین ۲۰ اسفند ۱۳۹۸	
کلیدواژه‌ها: لندفرم‌های آبی، تپه‌های ماسه‌ای، تقابل، پلایا، پترگان.	
استناد: ربیعی، مهدی، محمدعلی، امیراحمدی، زنگنه اسدی، محمدعلی، ابوالقاسم (۱۳۹۹). تأثیر مجاورت و تقابل سیستم‌های ژئومورفیک لندفرم‌های آبی و بادی پلایای پترگان. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۴ (۱)، ۱-۲۰. doi: 10.22126/GES.2020.4082.2029	تقابل طبیعی میان دو سیستم ژئومورفیک آبی و بادی در حاشیه غربی پلایای پترگان شرایط متعادل و پایدار محیطی را ایجاد کرده درحالی‌که مداخلات انسانی در یکی از این سیستم‌ها زمینه بروز ناپایداری محیطی و گسترش مخاطرات را فراهم می‌آورد. در نوشتار پیش رو پس از تعیین قلمرو لندفرم‌های آبی و بادی، مورفولوژی و منشأیابی اشکال بادی به‌روش گام‌به‌گام انجام و ژئومورفولوژی اشکال آبی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی، مطالعه و طبقه‌بندی شده است. واکنش مورفوتکتونیک سیستم‌های آبرفتی در تقابل با سیستم‌های بادی منطقه با استفاده از شاخص‌های نئوتکتونیک محاسبه و بررسی شده است. درنهایت با استفاده از شاخص‌های جهت حرکت، سرعت جابه‌جایی، زاویه تماس و تغییرات گستره لندفرم‌های آبی و بادی که در دو زمان متفاوت از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده، انواع تقابل و چگونگی مجاورت ممکن بین آن‌ها در منطقه تعیین و تحلیل شده است. براساس نتایج طی ده سال حدود ۱۱/۳٪ از قلمرو لندفرم‌های آبی به لندفرم‌های بادی تبدیل شده است. ازاین‌رو سیستم‌های بادی بر سیستم‌های آبی منطقه غلبه یافته‌اند. غلبه سیستم‌های بادی از راه ایجاد انحراف و مسدودشدن جریان آب و جاری‌شدن آن روی سواحل کانال به‌واسطه حرکت تپه‌های ماسه‌ای بروز کرده و در موارد متعددی گودال‌های آبگیر و کانال‌های بسیاری در مسیر کانال اصلی رودخانه به‌وجود آمده است. سیستم‌های آبرفتی دائمی در منطقه رفتاری پایدار و چرخه‌ای دارند؛ به‌طوری‌که طی فصل‌ها با فعالیت سیستم‌های بادی تا حدی غلبه سیستم‌های آبی کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج طی دوره ده سال، تنها ۱/۸٪ از قلمرو لندفرم‌های بادی در منطقه به لندفرم‌های آبی تبدیل شده است. این نوع تقابل را در امتداد رودخانه دائمی تجنود که از میان تپه‌های ماسه‌ای دامنه شرقی کوه خواجه عبور می‌کند، می‌توان مشاهده کرد.

مقدمه

بیش از ۳۰٪ از سطح زمین زیر پوشش مناطق بیابانی است. گرچه در این مناطق ساکنان زیادی زندگی نمی‌کنند، ولی بیشتر اوقات از فعالیت‌های اقتصادی و فرهنگی متمایزی برخوردار هستند. نقش عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی در بروز بیابان‌زایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر به شکل غیر قابل برگشت رخ می‌دهد از اواسط دهه ۱۹۷۰ مورد مطالعه بوده است (راسموسن^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). توسعه و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای یکی از مظاهر اصلی تخریب زمین و بیابان‌زایی به‌ویژه در مرکز و جنوب شرق ایران است، به‌طوری‌که اثرات شدیدی بر توسعه اقتصادی و اجتماعی منطقه دارد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۵). تخریب زمین‌ها در این مناطق به‌طور ویژه با توسعه اشکال ژئومورفیک فرسایش بادی و تپه‌های ماسه‌ای همراه است. مهم‌ترین ویژگی تپه‌های ماسه‌ای حرکت آن‌ها است که میزان و جهت آن به عواملی مانند رژیم باد، مورفومتری تپه و شرایط محیطی وابسته است (لیوینگستون و وارن^۲، ۱۹۹۶). براساس شواهد، نرخ حرکت تپه‌های ماسه‌ای برای برخی از انواع بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۱ متر در سال (هاوولم و کوکورک^۳، ۱۹۸۸) و برای برخی دیگر تا بیش از ۸۰ متر در سال (هاسترناس^۴، ۱۹۶۷) متفاوت است.

میدان‌های تپه‌ماسه‌ای تنها از اشکال فرسایش بادی پوشیده نیست، به‌طوری‌که در مناطق خشک کنونی تقابل فعالیت لندفرم‌های آبی و بادی به‌طور کامل مشهود است (بولارد و لیوینگستون^۵، ۲۰۰۲). این رابطه متقابل بیشتر به‌صورت به‌کارگیری مجدد رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای به‌وسیله فرایندهای بادی است (ال باز^۶ و همکاران، ۲۰۰۰؛ مارولیس^۷ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ویگا و اسپالتی^۸، ۲۰۰۷). سیستم‌های رودخانه‌ای دائمی، فصلی و موقتی در بسیاری از مناطق خشک وجود دارد و بسیاری از آن‌ها تعاملات پیچیده و طولانی‌مدتی با نظام‌های فرسایش بادی در مناطق خشک از جمله تپه‌های ماسه‌ای دارند. ارتباط متقابل بین فرایندهای آبرفتی و فرایندهای بادی و واکنش آن‌ها به تغییرات آب‌وهوایی در مناطق مختلف نیمه‌خشک دنیا در مطالعات بسیاری بررسی شده است (بل‌نپ^۹ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ویلیامز^{۱۰}، ۲۰۱۵؛ هان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۶). براساس این، سیستم‌های آبرفتی رودخانه‌های دائمی یا فصلی به‌طور معمول بین شکل‌های ژئومورفیک تپه‌های ماسه‌ای فعال توسعه می‌یابند، به‌طوری‌که می‌توانند محدوده فعالیت تپه‌های ماسه‌ای را با مرزهایی کاملاً مشخص یا تدریجی محدود کنند. این سیستم‌ها به‌طور معمول ذخایر قابل توجهی از رسوبات را تولید می‌کنند که برای ساخت‌وساز تپه‌های ماسه‌ای جدید استفاده می‌شوند. در این میان، سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای که در شکل گسترده خود با جادا را به‌وجود می‌آورند، از منابع قابل توجه رسوبی برخوردار هستند.

باوجود اینکه تپه‌های ماسه‌ای، کانال‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها از جنبه مورفولوژی، از دو منشأ کاملاً متفاوت آبی و بادی هستند؛ ولی از جمله شاخص‌ترین اشکال ژئومورفولوژی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند. وجود ذرات قابل حرکت با باد و رژیم بادی مناسب دو شرط اولیه برای ایجاد تپه‌های ماسه‌ای است؛ به‌طوری‌که در

1- Rasmussen

2- Livingstone & Warren

3- Havholm & Kocurek

4- Hastenrath

5- Bullard & Livingstone

6- El-Baz

7- Maroulis

8- Veiga & Spalletti

9- Belnap

10- Williams

11- Han

تقابل این دو لندفرم همواره مخروط‌افکنه‌ها و کانال‌های آبرفتی به‌مثابه یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده ماسه برای تشکیل تپه‌های ماسه‌ای محسوب می‌شوند. درخصوص تقابل بین کانال‌های آبرفتی و تپه‌های ماسه‌ای در مناطق خشک پژوهش‌های محدودی انجام شده است (لانگفورد^۱، ۱۹۸۹؛ توث^۲، ۲۰۰۰؛ استنستریٹ و استول هافن^۳، ۲۰۰۲؛ استرومبک^۴ و همکاران، ۲۰۰۵)، این درحالی است که تقابل بین مخروط‌افکنه‌ها و سیستم‌های فرسایش بادی بسیار کمتر بررسی شده است (کلمنسن و آبراهامسن^۵، ۱۹۸۳؛ گاردنر^۶ و همکاران، ۲۰۰۶).

هدف از نوشتار پیش رو بررسی عوامل مهم و مؤثر طبیعی در ارتباط متقابل بین لندفرم‌های آبی و بادی و طبقه‌بندی انواع روابط متقابل و تأثیر آن بر تکامل این لندفرم‌ها است. به‌طوری‌که درنهایت براساس نوع روابط موجود و میزان غلبه لندفرم‌های آبی و بادی بر یکدیگر در منطقه مورد بررسی، روند طبیعی گسترش، تثبیت یا کاهش محدوده‌های بیابانی که در قالب فرایندهای طبیعی بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی صورت می‌گیرد، شناسایی شود.

معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه در شهرستان زیرکوه استان خراسان جنوبی به مرکزیت شهر حاجی‌آباد و در مجاورت مرز افغانستان قرار دارد (شکل ۱). وسعت حوضه آبریز مورد بررسی حدود ۴۳۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۱۵۰ کیلومتر مربع آن دشت و بقیه در بخش غربی و شمال غرب منطقه مورد مطالعه از ناهمواری‌ها تشکیل شده است.

بارش متوسط سالانه منطقه براساس داده‌های ایستگاه افین برابر با ۱۰۰/۷ میلی‌متر و درجه حرارت متوسط سالانه آن ۱۴/۲ سانتی‌گراد است. براساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، آب‌وهوای منطقه از نوع نیمه‌خشک سرد است. مهم‌ترین رودخانه‌های منطقه عبارت‌اند از: دارج، آهنگران، تجنود، شاهرخت، بمرود و محمدآباد. شبکه هیدرولوژی منطقه به چاله انتهایی با عنوان پلایای پترگان که در بخش شرقی واقع است، منتهی می‌شود این موضوع بیانگر محصوربودن سیستم هیدرولوژی این منطقه است.

منطقه مورد بررسی در زون ایران مرکزی واقع شده و به‌طور کلی سه واحد سنگی متفاوت در آن رخنمون دارد که به پالئوسن - ائوسن نسبت داده می‌شوند. واحد زیرین شامل سنگ‌آهک قاعده‌ای است که به‌سوی بالا و جانبی به‌تدریج به مارن و ماسه‌سنگ تبدیل می‌شود. واحد فوقانی شامل رسوبات قرمزرنگی است که به اواخر ائوسن پیشین تا ائوسن پسین نسبت داده شده و به‌نام لایه‌های قرمز ائوسن معروف است. سومین واحد از سنگ‌های آذرین - رسوبی تشکیل شده که آن را مربوط به ائوسن پسین و الیگوسن پیشین دانسته‌اند. رسوبات آبرفتی کواترنر، شنزارها و تپه‌های ماسه‌ای بیشترین گسترش را در منطقه دارند.

مواد و روش‌ها

در نوشتار پیش رو دو گروه از اشکال ژئومورفیک با مورفوزنر کاملاً متفاوت آبی و بادی مورد توجه است. حدود و موقعیت قلمرو لندفرم‌های آبی و بادی به‌ویژه کانال جریان‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها و انواع اشکال ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه از استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره لندست با استفاده از پردازش بصری تعیین و به‌صورت میدانی بازبینی شد. نتایج بررسی‌ها در این بخش به‌صورت نقشه ژئومورفولوژی منطقه با تأکید بر لندفرم‌های مورد نظر ارائه شده است.

1- Langford

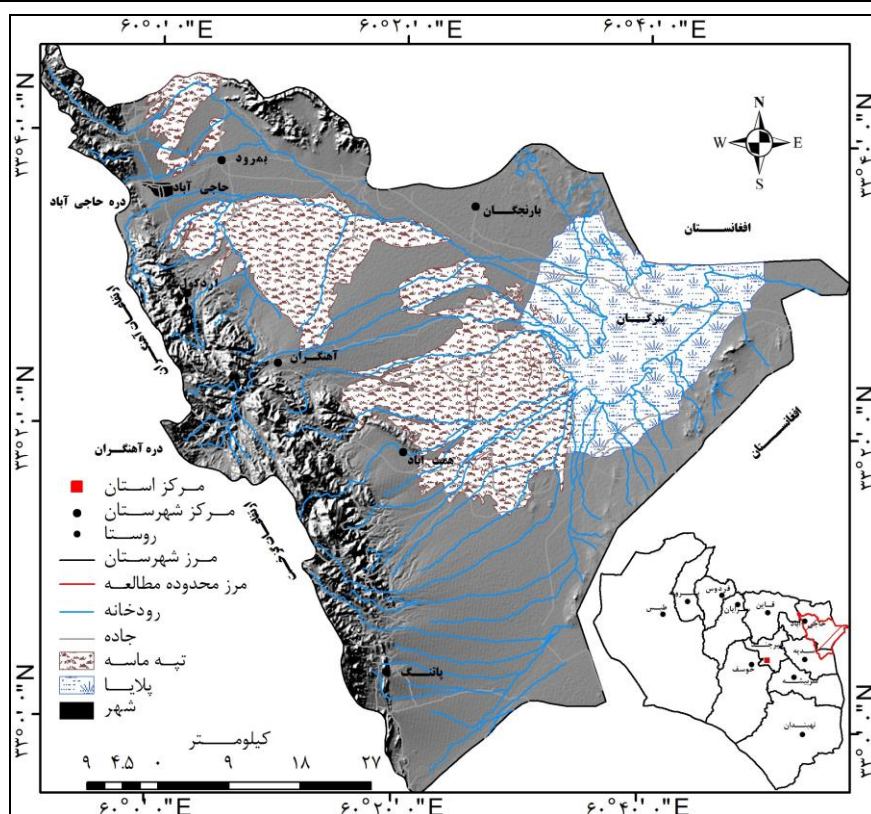
2- Tooth

3- Stanistreet & Stollhofen

4- Strömbäck

5- Clemmensen & Abrahamsen

6- Gardner



شکل ۱. نقشه سایه روشن موقعیت و توزیع جغرافیایی پدیده‌های طبیعی و انسانی منطقه مورد بررسی

برای شناسایی چگونگی تقابل و مجاورت سیستم‌های آبی و بادی در ابتدا مورفولوژی لندفرم‌های بادی به‌ویژه تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است؛ سپس با استفاده از روش گام‌به‌گام که به‌دلیل کامل و بومی بودن، بیشتر پژوهشگران ایرانی برای منشأیابی اشکال ماسه‌ای از آن استفاده می‌کنند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۰)، طی دو مرحله تپه‌های ماسه‌ای منطقه منشأیابی شده است. در مرحله اول موقعیت مناطق برداشت طی چهار مرحله: ۱- بررسی و مطالعه بادهای منطقه؛ ۲- بررسی نظرات ساکنان و کارشناسان با پرسش‌نامه استاندارد به تعداد سی نمونه؛ ۳- بررسی شکل ظاهری عمومی اشکال تپه‌ماسه‌ای و ۴- بررسی و مقایسه تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، تعیین شده است. در مرحله دوم، نقاط حساس به فرسایش که در تأمین رسوب بادی نقش بیشتری دارند، مکان‌یابی و نقاط برداشت مشخص شده است. برای این منظور از شاخص‌هایی شامل مطالعه ژئومورفولوژی منطقه برداشت، مطالعه گرانولومتری رسوبات اشکال ماسه‌ای به‌روش الک خشک (مشهدی و احمدی، ۱۳۸۹)، بررسی مرفوسکوپي عناصر اشکال ماسه‌ای، بررسی کانی‌شناسی عناصر اشکال ماسه‌ای و ارتباط ژنتیکی آن‌ها، استفاده شده است. در این بخش برای بررسی‌های گرانولومتری، کانی‌شناسی و مورفوسکوپي تعدادی نمونه رسوب و خاک سطحی گرفته شده (شکل ۲)، به‌گونه‌ای که درمجموع از تپه‌های ماسه‌ای، ۲۱ نمونه رسوب و از لندفرم‌های تأمین‌کننده، ۱۹ نمونه گرفته و بررسی شده است. نتایج این بخش منشأ تپه‌های ماسه‌ای منطقه را نشان می‌دهد.

گروه دوم، اشکال ژئومورفیک لندفرم‌های آبی هستند که در این بخش نیز مطالعه آن‌ها بر مبنای نقشه ژئومورفولوژی انجام شده است. بیشتر این لندفرم‌ها کانال‌های رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌ها هستند. در این قسمت، با تکیه بر محاسبه شاخص‌های هندسی کانال رودخانه‌ها شامل عرض، عمق و نسبت عرض به عمق، الگوی کانال رودخانه‌های منطقه بررسی شده است. برای این منظور تعداد ۳۵ نمونه مقطع عرضی از کانال یکی از شاخص‌ترین

رودخانه‌های منطقه (تجنود) به‌صورت میدانی و با استفاده از دستگاه تعیین مختصات جهانی تهیه شده است (شکل ۲). محاسبات مورفومتری اشکال ماسه‌ای ایجادشده در بستر و ساحل کانال رودخانه‌ها و اشکال آبرفتی مخروط‌افکنه‌ای موجود در منطقه نیز با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی انجام شده است. در این بخش با توجه به نقش مورفوتکتونیک فعال در تغییر شکل و جابه‌جایی لندفرم‌های آبی و در نهایت تپه‌های ماسه‌ای، شاخص‌های مورفوتکتونیک فعال شامل سینوسیته جبهه کوهستان، ناهنجاری‌های مسیر شبکه آبراهه‌ها با استفاده از شاخص آر.دی.ای.^۱ (اتبهر^۲ و همکاران، ۲۰۰۴) مبتنی بر شاخص گرادیان طولی رودخانه (هک^۳، ۱۹۷۳) و شاخص هیپسومتری بدون بُعد، بررسی شده است.

پس از بررسی اشکال حاصل از سیستم‌های ژئومورفیک آبی و بادی به‌منظور بررسی نحوه تقابل و مجاورت این اشکال با یکدیگر از روش توصیفی - تحلیلی استفاده شده است. شاخص مهم در این خصوص محاسبه زاویه تماس لندفرم‌های آبی و بادی با یکدیگر است که نیازمند محاسبه جهت و میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای، کانال‌های آبرفتی و اشکال ماسه‌ای در بستر و ساحل کانال رودخانه‌ها است. برای این منظور با استفاده از شیوه آشکارسازی، تغییرات موقعیت این اشکال بر روی دو سری از تصاویر ماهواره لندست با فاصله زمانی ده سال (سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰) بررسی شده است. به این ترتیب، پس از انجام مراحل پیش از پردازش شامل تصحیحات اتمسفری و هندسی روی تصاویر، اشکال ژئومورفیک آبی و بادی به‌روش بصری با تکیه بر نقشه ژئومورفولوژی تهیه‌شده از منطقه به‌صورت نظارت‌شده و به‌روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار اِردس^۴ استخراج و برای هر دوره زمانی به‌طور جداگانه به نقشه وکتوری تبدیل شد؛ سپس با استفاده از انواع داده‌های و شواهد و مدارک موجود شامل عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و بررسی‌های میدانی، صحت طبقه‌بندی‌های به‌ست‌آمده برای هریک از دوره‌های زمانی به‌طور مجزا محاسبه شد. در نهایت فرایند آشکارسازی تغییرات در این نقشه‌ها بر مبنای روش وکتوری انجام شده است. نتیجه آشکارسازی تغییرات در این بخش نشانگر جهت، میزان جابه‌جایی و تغییرات ایجادشده در غلبه اشکال ژئومورفیک آبی و بادی منطقه بر یکدیگر است؛ همچنین زاویه تماس کانال‌های آبرفتی در ارتباط با انواع تپه‌های ماسه‌ای بررسی شده است. برای این منظور نقشه واحدهای ژئومورفیک تپه‌های ماسه‌ای منطقه با نقشه اشکال ژئومورفیک کانال‌های آبرفتی در منطقه انطباق و تحلیل شده است. در نهایت انواع تقابل این دو گروه از اشکال متفاوت بر مبنای تشخیص غلبه فعالیت سیستم‌های آبی و بادی در محل تماس، طبقه‌بندی شده است. بر این اساس، تنها شش نوع طبقه مشخص از نحوه تقابل بین این دو دسته از لندفرم‌ها قابل شناسایی است (بولارد و مک تاینش^۵، ۲۰۰۲).

نتایج

یافته‌های پژوهش حاضر بر اساس ماهیت موضوع و روش مطالعه در سه بخش شامل بررسی و مطالعه لندفرم‌های بادی، بررسی و مطالعه لندفرم‌های آبی و در نهایت بررسی و مطالعه چگونگی مجاورت و تقابل این دو گروه لندفرم ارائه شده است.

ژئومورفولوژی و منشأیابی لندفرم‌های بادی

در مجاورت و به موازات ارتفاعات بخش غربی منطقه مورد مطالعه با امتداد شمال غرب - جنوب شرق، سه پهنه

1- Relative Slope-Extension (RDE)

2- Etchebehere

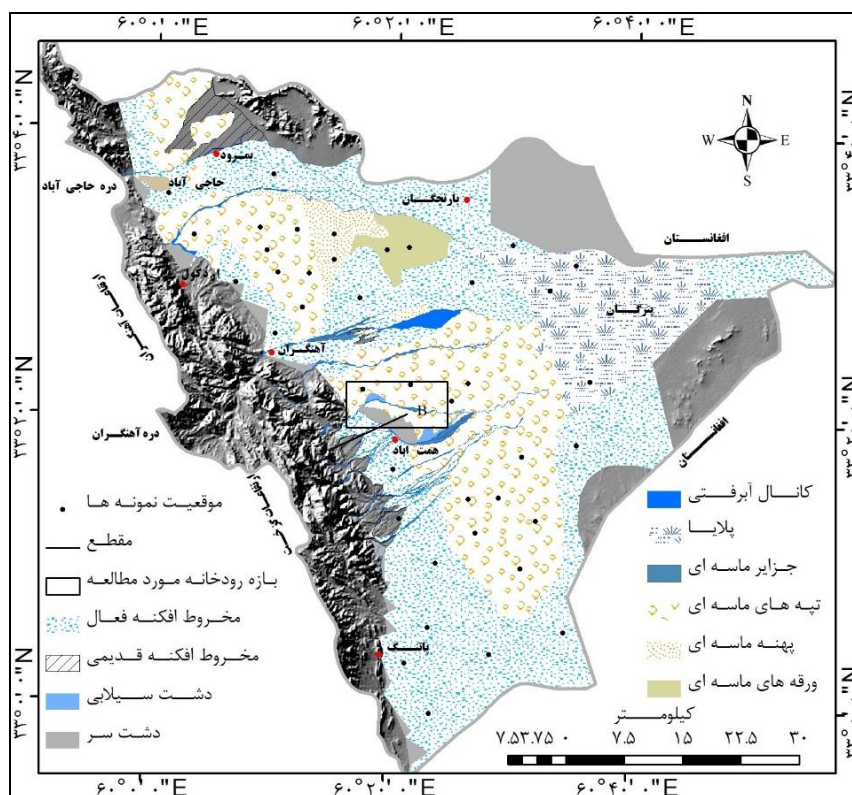
3- Hack

4- ERDAS

5- Bullard & McTainsh

وسیع با پوشش منابع ماسه‌بادی با فواصل اندکی که با سیستم‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها از هم جدا شده‌اند، قرار گرفته است (شکل ۲). این پهنه‌های ماسه‌ای در مجموع با مساحتی حدود ۹۹۲ کیلومتر مربع شامل شکل‌های مختلفی از تپه‌های ماسه‌ای است که ارتفاع آن‌ها حداکثر به ۱۰ متر می‌رسد. برای انواع تپه‌های ماسه‌ای طبقه‌بندی‌های متعددی براساس معیارهای مختلف ارائه شده که بیشتر آن‌ها مبتنی بر معیارهای شکل ظاهری و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای است (ملتون^۱، ۱۹۴۰؛ واسون و هایدی^۲، ۱۹۸۳؛ ماینگوت^۳، ۱۹۸۴). در پژوهش حاضر براساس طبقه‌بندی ارائه‌شده لیوینگستون و وارن (۱۹۹۶) انواع اشکال تپه‌های ماسه‌ای از سمت غرب به شرق در قالب انواع گیرافتاده و آزاد، قابل طبقه‌بندی است. به این ترتیب در گروه اشکال تپه‌ماسه گیرافتاده که در امتداد دامنه ناهمواری‌های غربی منطقه گسترش دارند، انواع تپه‌های بالارونده و انعکاسی و در فاصله دورتر از این ارتفاعات نبکاها یا تپه‌های ماسه‌ای که با موانع گیاهی تثبیت شده‌اند، قابل تشخیص است. در گروه تپه‌های ماسه‌ای آزاد، انواع تپه‌های ماسه‌ای عرضی، خطی، ستاره‌ای شکل و پهنه‌های ماسه‌ای در بخش مرکزی دشت منطقه مورد مطالعه گسترش دارند (شکل ۲).

براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قاین (۱۹۸۷-۲۰۱۷) باد غالب منطقه با فراوانی متوسط ۲۴/۶٪ از سمت شمال شرق است. در مرتبه بعد، بادهای شرقی با فراوانی متوسط ۱۸/۲٪ قرار دارند. سرعت متوسط این بادهای طی دوره مورد بررسی به ترتیب برابر با ۵/۳ و ۴/۸ متر بر ثانیه محاسبه شده است. سرعت شدیدترین بادهای منطقه به ۶۵ کیلومتر در ساعت می‌رسد. بادهای جنوب غربی با فراوانی ۹/۸٪ و سرعت متوسط ۴/۶ متر بر ثانیه در رتبه سوم قرار دارند.



شکل ۲. نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه که بر توزیع جغرافیایی لندفرم‌های آبی و بادی تأکید دارد.

- 1- Melton
- 2- Wasson & Hyde
- 3- Mainguet

بررسی‌های محلی نیز سه باد اصلی را در منطقه نشان می‌دهد که عبارت‌اند از: ۱- سیاه‌باد از جهت شمال و شمال شرق در فصل تابستان که همراه با گردوغبار زیاد است. ۲- بادهای جنوبی فصل زمستان که در مواقع خشک‌سالی گردوغبار زیادی را به‌همراه دارد. ۳- باد جنوب غربی که در برخی موارد بسیار شدید است. مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای شاخص مناسب دیگری برای تعیین جهت وزش بادهای حامل رسوب و شکل‌دهنده است. بر این اساس، شواهد بیانگر آن است که جهت عمومی گسترش تپه‌های ماسه‌ای از شمال شرق به جنوب غرب است (شکل ۲). برخانها به‌سمت جنوب غرب گسترش داشته و جهت رسوب‌گذاری و کشیدگی آن‌ها نشان‌دهنده حرکت رسوبات از سمت شمال و شمال شرق است. شیب تند این تپه‌ها به‌سمت جنوب و شیب ملایم به‌سمت شمال و شمال شرق است. تپه‌های عرضی نیز نشان‌دهنده وجود بادهای غالب غیر از باد شمال شرقی است. سمت گسترش این تپه‌ها وجود بادهای جنوبی را به‌خوبی توجیه می‌کند. جهت عمومی تپه‌های ماسه‌ای نشانگر بادهای ثابت شمال شرقی است. درمجموع شکل نامنظم تپه‌ها نیز نشان‌دهنده وجود بادهای شدید دیگری از جهات جنوب غرب و جنوب است.

بررسی ژئومورفولوژی لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که زمین‌های کشاورزی در شمال، کانال‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها در شمال، غرب، شرق و جنوب، سطوح نمکی و رسی پلایای پترگان در شرق، مجموعه لندفرم‌های حساس و تأمین‌کننده رسوبات بادی هستند. پست‌ترین محدوده منطقه در بخش شرقی و محدوده پلایا واقع شده که املاح موجود در آن به‌کمک جریان‌های باد به‌سمت تپه‌های ماسه‌ای پیشروی کرده است. نتایج بررسی‌های گرانولومتری نمونه‌های رسوب و خاک سطحی اخذشده از منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که حداقل قطر میانگین ذرات نمونه برابر با $189/3$ میکرون و حداکثر آن 437 میکرون است (جدول ۱). متوسط قطر میانگین رسوبات در تپه‌های ماسه‌ای $203/8$ میکرون است. این مقادیر نشان می‌دهد که رسوبات از فاصله کمتر از 20 کیلومتر به‌طرف تپه‌های ماسه‌ای حمل شده‌اند. قطر رسوبات تپه‌های ماسه‌ای از سمت شمال و شمال شرق به‌سمت جنوب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. جورشدگی ذرات رسوب در بسیاری موارد بد و بسیار بد است که ناشی از وجود ذرات درشت‌دانه در رسوبات بادی است (جدول ۱). این موضوع متأثر از مجاورت و در برخی موارد تداخل رسوبات لندفرم‌های تأمین‌کننده با رسوبات تپه‌های ماسه‌ای است. شاخص کج‌شدگی نمونه‌های رسوب در تپه‌های ماسه‌ای و لندفرم‌های تأمین‌کننده هر دو به‌سمت ذرات ریزدانه است (جدول ۱). این موضوع برای تپه‌های ماسه‌ای ویژگی اصلی به‌شمار می‌رود؛ اما درخصوص لندفرم‌های تأمین‌کننده، نشانگر فعالیت این لندفرم‌ها و تجدید منابع رسوبی است. ضریب گردشدگی نمونه‌های گرفته‌شده از لندفرم‌های تأمین‌کننده ناچیز و در نمونه‌های تپه‌ماسه‌ها زیاد است که ناشی از وقوع مرحله حمل برای رسوبات لندفرم‌های تأمین‌کننده و وقوع دو مرحله حمل برای رسوبات تپه‌ماسه‌ها است. به این ترتیب درصد مات‌شدگی در نمونه‌های رسوب تپه‌ماسه‌ها به‌دلیل فاصله زیاد حمل، بیشتر است.

درمجموع اختلاف کم بین شاخص‌های مورفوسکوپی محاسبه‌شده برای نمونه‌های تپه‌ها و لندفرم‌ها بیانگر وجود فاصله کم بین منابع تأمین رسوب تا تپه‌های ماسه‌ای است. بیشترین هماهنگی بین شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده میان نمونه‌های لندفرم‌های تأمین‌کننده و تپه‌های ماسه‌ای مربوط به بستر رودخانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها بوده و کمترین هماهنگی مربوط به دشت‌سر اپانداژ است. شناسایی کانی هماتیت و مگنتیت در نمونه‌های تپه‌ها مؤید نزدیکی منشأ رسوبات ماسه‌ای است. فراوانی کانی‌های کوارتز، کوارتز رکوئستالین و خرده‌سنگ آهکی در نمونه‌های تپه‌ماسه‌ای با لندفرم‌های تأمین‌کننده شباهت بسیاری دارد. شناسایی کانی‌های حساس و ناپایدار فلدسپات در تپه‌های ماسه‌ای اطراف روستای چشمه‌بید و فراوانی آن در نمونه‌های حاشیه دق پترگان، برداشت رسوبات تپه‌های

اطراف چشمه‌بید از دق پترگان را تأیید می‌نماید.

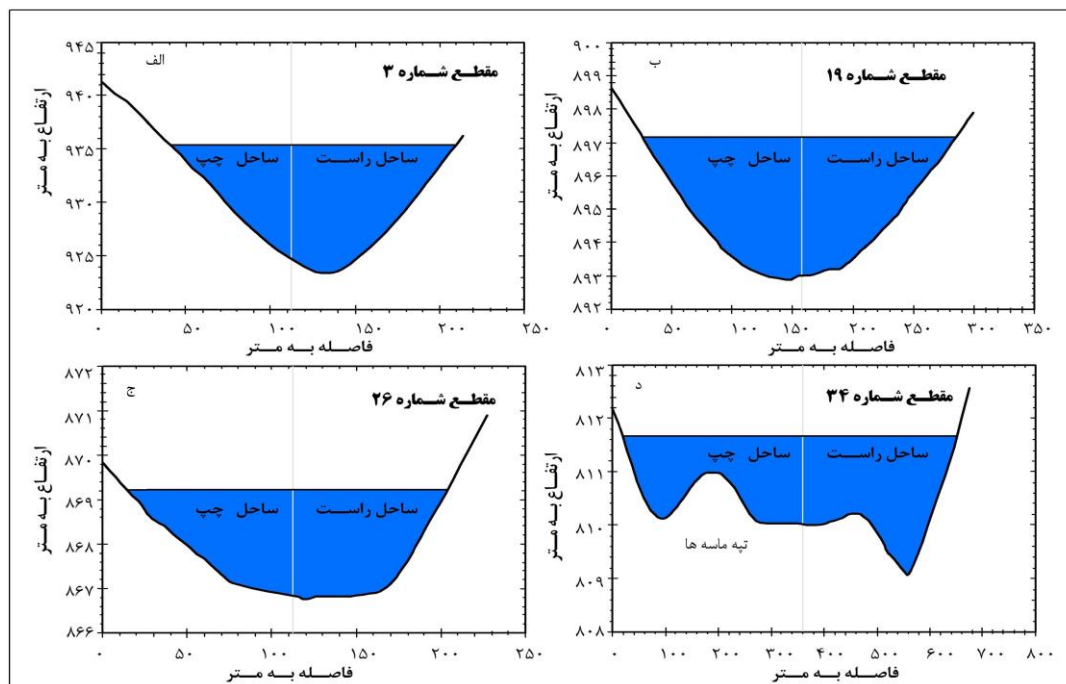
ژئومورفولوژی و واکنش مورفوتکتونیک لندفرم‌های آبی

مخروط‌افکنه‌ها و کانال‌های آبرفتی، شاخص‌ترین لندفرم‌های آبی در منطقه هستند. طول کانال آبراهه‌های اصلی رودخانه‌های واردشده به دشت بین ۶ تا حداکثر ۵۷ کیلومتر متفاوت است. اندازه عرض و عمق بستر کانال این رودخانه‌ها در منطقه ناهموار کوهستان به ترتیب بین ۳۰ تا ۵۰ متر و ۱ تا ۱/۳ متر متغیر است. بررسی پارامترهای شکل هندسی مقاطع عرضی بخشی از کانال رودخانه تجنود که از مسیرهای متنوع کوهستان، مخروط‌افکنه و تپه‌های ماسه‌ای عبور می‌کند (شکل ۲) نشان‌دهنده کاهش بسیار زیاد کارایی جریان برای فعالیت‌های فرسایشی و انتقال رسوب به سمت پایین‌دست است. نتایج محاسبات پارامترهای هندسی کانال نشان می‌دهد که شکل هندسی مقطع کانال رودخانه در محل خروج از کوهستان و به خصوص روی مخروط‌افکنه‌ها و در مسیر عبور از میان تپه‌های ماسه‌ای بسیار متفاوت است (شکل ۳).

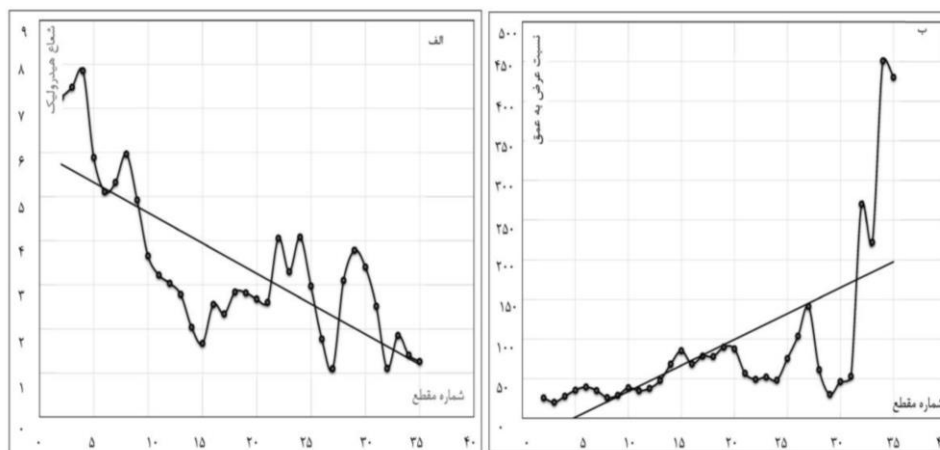
به‌طور کلی، پارامترهای شکل هندسی کانال رودخانه‌های منطقه از سمت کوهستان به سمت واحد دشت به گونه‌ای تغییر می‌یابد که باعث افزایش شعاع هیدرولیک کانال و کاهش پارامتر نسبت عرض به عمق کانال جریان می‌شود (شکل ۴). این موضوع بر روی الگوی کانال نیز تأثیر مستقیمی گذاشته به‌طوری‌که الگوی کانال اصلی رودخانه‌ها از کانال مستقیم در کوهستان به الگوی گیسوی بر روی مخروط‌افکنه‌ها و الگوی مائندهای سرگردان بر روی تپه‌های ماسه‌ای تغییر حالت داده است.

جدول ۱. نتایج محاسبه شاخص‌های گرانولومتری نمونه‌های رسوب و خاک سطحی اخذشده (برحسب میکرون)

شماره	میانگین	میان	جورشدگی	چولگی	پخی	شماره	میانگین	میان	جورشدگی	چولگی	پخی
۱	۲۳۷/۴	۲۵۰/۵	۱/۲۸	-۰/۳	۰/۷۴	۲۱	۲۲۵/۳	۲۲۷/۳	۱/۳	-۰/۰۵	۰/۷۳
۲	۲۴۲/۹	۲۵۸/۴	۱/۳	-۰/۳	۰/۸۲	۲۲	۲۹۷/۸	۲۹۱/۶	۱/۵۲	۰/۱۷	۱/۸۴
۳	۲۲۳/۹	۲۲۴/۳	۱/۲۸	-۰/۰۱	۰/۷۴	۲۳	۲۳۵/۷	۲۴۵/۷	۱/۲۹	-۰/۲۳	۰/۷۳
۴	۲۷۴/۲	۲۵۸/۵	۱/۴۶	۰/۰۴	۱/۳۳	۲۴	۲۲۱/۶	۲۱۹/۳	۱/۳۲	۰/۱	۰/۸۴
۵	۳۷۲/۳	۲۹۹/۵	۱/۶۱	۰/۲۸	۱/۴	۲۵	۲۵۵/۹	۲۷۰/۳	۱/۴۸	-۰/۰۵	۱/۳۹
۶	۴۰۷/۲	۳۷۱/۲	۱/۶۹	۰/۱۷	۰/۸۱	۲۶	۲۳۶/۹	۲۴۰/۵	۱/۴۴	۰/۱۵	۱/۲۴
۷	۲۸۷/۳	۲۸۵/۳	۱/۴۸	۰/۱۵	۲/۴۱	۲۷	۲۵۸/۹	۲۷۱	۱/۴۶	۰/۰۱	۱/۴۶
۸	۳۲۶/۱	۲۹۷/۲	۱/۵۹	۰/۲۹	۱/۵۱	۲۸	۲۴۹/۶	۲۶۴/۲	۱/۴۴	-۰/۰۱	۱/۴
۹	۲۴۱/۹	۲۴۸/۸	۱/۴۷	۰/۱۱	۱/۳۱	۲۸	۳۳۸/۵	۳۰۵/۵	۱/۸۴	۰/۲۲	۰/۷۲
۱۰	۲۲۳/۸	۲۲۴/۹	۱/۲۸	-۰/۰۳	۰/۷۳	۳۰	۲۴۳/۹	۲۵۷/۲	۱/۴۱	-۰/۰۳	۱/۲۳
۱۱	۲۶۰/۳	۲۷۵/۸	۱/۳۷	-۰/۱	۱/۶۸	۳۱	۲۷۳/۳	۲۸۸/۹	۱/۳۸	-۰/۲۶	۰/۸۶
۱۲	۲۷۰/۴	۲۶۳/۷	۱/۵۷	۰/۲۱	۱/۴۱	۳۲	۲۵۷/۹	۲۷۲/۵	۱/۴۳	-۰/۰۱	۱/۵۷
۱۳	۲۰۱/۲	۲۰۱/۲	۱/۲۴	۰/۰۹	۰/۹۱	۳۳	۲۸۴/۱	۲۸۶/۲	۱/۳۷	۰/۰۹	۲/۵۱
۱۴	۳۲۱	۲۹۶/۷	۱/۶۵	۰/۲۴	۱/۳	۳۴	۲۲۳/۶	۲۲۴/۹	۱/۲۹	-۰/۰۳	۰/۷۳
۱۵	۳۳۶/۷	۳۰۲/۹	۱/۷۷	۰/۲۵	۰/۸۴	۳۵	۲۳۷/۲	۲۴۷/۸	۱/۲۸	-۰/۲۴	۰/۷۳
۱۶	۲۸۶/۵	۲۷۶/۲	۱/۵۹	۰/۲۱	۱/۵۵	۳۶	۲۰۶/۱	۲۰۴/۲	۱/۲۶	۰/۱۳	۰/۹۳
۱۷	۳۵۴/۷	۳۲۵/۹	۱/۸۱	۰/۱۸	۰/۷۳	۳۷	۲۱۷/۱	۲۱۴/۷	۱/۲۷	۰/۰۷	۰/۷۸
۱۸	۲۱۹/۲	۲۱۷/۵	۱/۲۹	۰/۰۵	۰/۷۶	۳۸	۲۴۰/۲	۲۵۵/۴	۱/۲۷	-۰/۳۵	۰/۷۶
۱۹	۲۷۳/۴	۲۵۰/۵	۱/۲۸	-۰/۳	۰/۷۴	۳۹	۲۲۷/۷	۲۳۱/۸	۱/۲۸	-۰/۱	۰/۷۲
۲۰	۲۴۲/۹	۱۵۸/۴	۱/۳	-۰/۳	۰/۸۲	۴۰	۲۲۴/۳	۲۲۵/۷	۱/۲۸	-۰/۰۳	۰/۷۳



شکل ۳. مقاطع عرضی کانال در بازه‌ای از رودخانه تجنود که به‌مثابه نمونه انتخاب شده (داده‌های این مقاطع با استفاده از دستگاه تعیین مختصات جهانی و به‌صورت میدانی برداشت و در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیا محاسبه و ترسیم شده است). الف: مقطع کانال در قسمت کوهستان؛ ب: مقطع کانال بر روی مخروط افکنه؛ ج و د: مقطع کانال بر روی تپه‌های ماسه‌ای که در بستر آن تپه ماسه‌ها مشهود هستند.

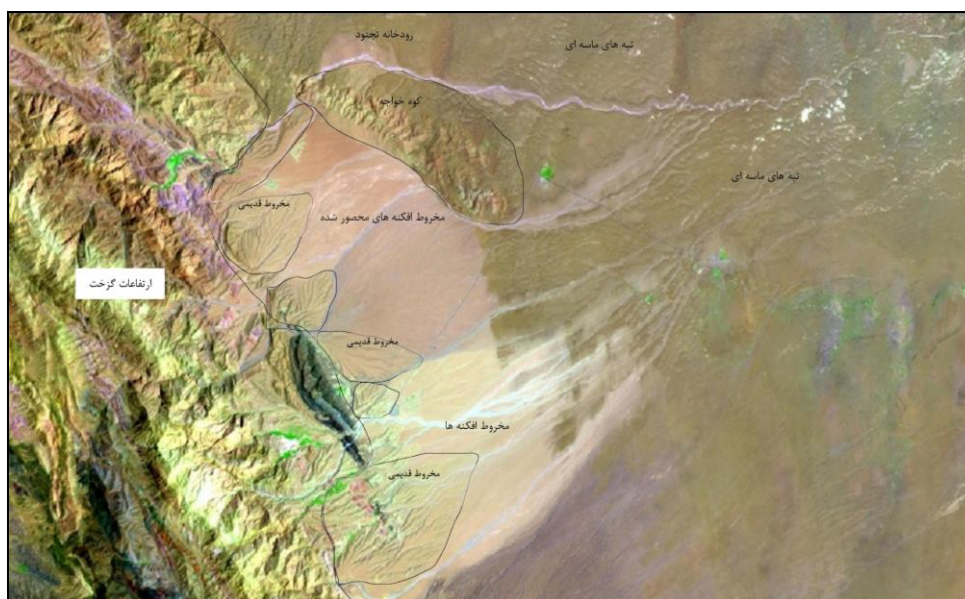


شکل ۴. تغییرات شاخص‌های هندسی کانال در ۳۵ مقطع عرضی از بازه رودخانه تجنود که به‌مثابه نمونه انتخاب شده است (داده‌های این مقاطع با استفاده از دستگاه تعیین مختصات جهانی و به‌صورت میدانی برداشت و در محیط نرم‌افزار اکسل محاسبه و ترسیم شده است). الف: تغییرات شعاع هیدرولیک و ب: تغییرات نسبت عرض به عمق کانال به سمت پایین دست را نشان می‌دهد.

در امتداد جبهه کوهستان تعداد بیست مخروط افکنه به‌وجود آمده که در مجاورت هم و به‌صورت به‌هم‌پیوسته مطابق با جهت ناهمواری‌ها از سمت شمال غرب به جنوب شرق گسترش یافته‌اند (شکل ۲). بزرگ‌ترین آن‌ها مربوط به بزرگ‌ترین حوضه‌های آبریز در شمال غرب و کوچک‌ترین آن‌ها در بخش‌های مرکزی و جنوبی واقع شده‌اند. مهم‌ترین آن‌ها مخروط افکنه‌ای است که شهر حاجی‌آباد (مرکز شهرستان زیرکوه) در بخش شمال غربی بر روی آن واقع است. در بسیاری موارد بخش قاعده مخروط افکنه‌ها در گستره وسیعی زیر پوشش اشکال تپه‌های ماسه‌ای قرار گرفته و مشخص نیست.

به سبب وجود موانع توسعه‌ای در امتداد طولی مخروط‌افکنه‌ها که شامل برآمدگی‌های تکتونیکی و تپه‌های ماسه‌ای است، گسترش امتداد طولی مخروط‌افکنه‌ها با محدودیت روبه‌رو است؛ از این‌رو، مخروط‌افکنه‌های منطقه را می‌توان در دو گروه مخروط‌افکنه‌های محصور و آزاد طبقه‌بندی کرد. مخروط‌افکنه‌های محصور در اثر بروز برآمدگی‌های تکتونیکی در امتداد دامنه کوهستان گزخت که از دره آهنگران شروع می‌شود، مشاهده می‌شوند. در این منطقه حد فاصل دامنه کوهستان گزخت تا دشت و به موازات آن چین‌خوردگی گسلی ایجاد شده که تا حدود ۸ کیلومتر امتداد یافته و در سطح زمین به صورت کوهستان کم‌ارتفاعی نمایان شده است. این ناهمواری با عنوان کوه خواجه شناخته می‌شود و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۲۳ متر است (شکل ۵). به این ترتیب مخروط‌افکنه‌های حد فاصل دامنه ارتفاعات گزخت و ارتفاعات خواجه در یک چاله ساختمانی فروافتاده (گراین) محصور شده‌اند به طوری که با ایجاد ارتفاعات خواجه جبهه کوهستان به سمت دشت پیش‌روی کرده و در دامنه شرقی کوه خواجه مخروط‌افکنه‌های جدید این منطقه به وجود آمده‌اند (شکل ۶). این مخروط‌افکنه‌ها خود در تقابل با تپه‌های ماسه‌ای نیز محدود شده‌اند.

مخروط‌افکنه‌های محصور بر اثر پیش‌روی تپه‌های ماسه را می‌توان به طور عمده در امتداد دامنه‌های کوهستان آهنگران مشاهده کرد. در موارد متعدد پیش‌روی تپه‌های ماسه‌ای تا قسمت رأس مخروط‌افکنه‌ها نیز انجام شده و تنها از راه دنبال کردن مسیر جریان رودخانه‌ها بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از خروجی کوهستان که با فرسایش و نهشته‌گذاری رسوبات همراه است، وجود مخروط‌افکنه در زیر تپه‌های ماسه‌ای قابل استناد است (شکل ۷). سایر مخروط‌افکنه‌های منطقه گرچه از نظر امتداد طولی تا خط القعر دشت و حاشیه پلایا امتداد دارند؛ اما به طور جانبی دارای محدودیت توسعه بوده تاجایی که به طور فشرده‌ای به هم پیوسته‌اند. انرژی مورد نیاز برای فعالیت سیستم‌های آبرفتی با تغییرات ارتفاع ناهمواری‌ها تأمین می‌شود. بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی در منطقه شامل سینوسیته جبهه کوهستان، شاخص پروفیل طولی رودخانه‌ها و هیپسومتری بدون بعد زیرحوضه‌ها، وجود فعالیت‌های تکتونیکی جوان را در آن نشان می‌دهد؛ از دیگر سو وجود پرتگاه‌های گسلی که از مهم‌ترین عوارض ژئومورفولوژی ساختمانی هستند (میرعلایی‌موردی و همکاران، ۱۳۹۲) شاهدی بر فعالیت‌های نئوتکتونیکی در منطقه به شمار می‌آیند.



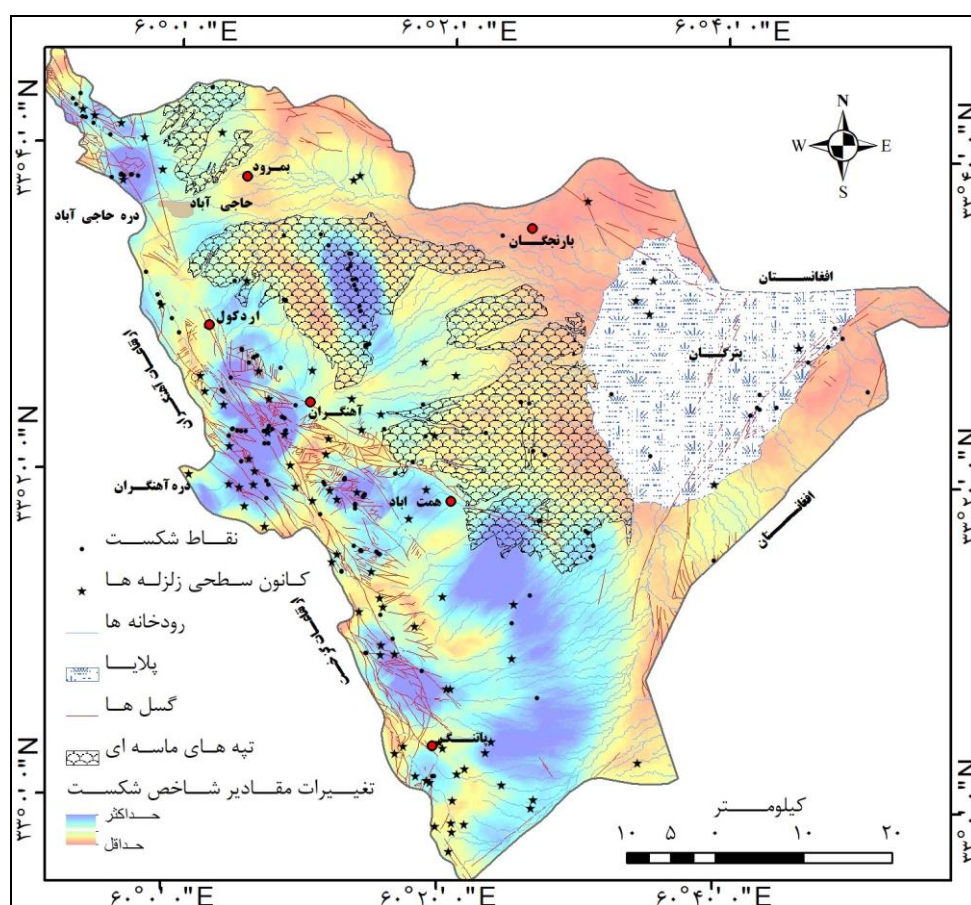
شکل ۵. مخروط‌افکنه‌های دامنه ارتفاعات گزخت که امتداد طولی آن‌ها با چین‌خوردگی گسلی کوه خواجه محصور شده است. قطعات مخروط‌افکنه‌های بریده‌شده قدیمی ناشی از بالاآمدگی تکتونیکی کوه خواجه است.

فاصله آن‌ها تا نقاط اصلی شکست، نشانگر نقش ویژه فعالیت‌های نئوتکتونیک در بروز ناهنجاری در مسیر رودخانه‌های منطقه است (شکل ۸).

شاخص هیپسومتری بدون بُعد نیز در ده زیرحوضه اصلی منطقه تغییراتی بین مقادیر ۰/۲۳۱ تا ۰/۵۱۸ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مربوط به حوضه آبریز دره آهنگران (۰/۵۱۸) و حوضه آبریز دره حاجی آباد (۰/۳۵۱) است. با توجه به مقادیر به دست آمده و انحراف آن از مقدار نرمال، بروز بالآمدگی‌های نئوتکتونیک در منطقه مورد مطالعه استنباط می‌شود.

فعالیت‌های نئوتکتونیک در سیستم‌های آبرفتی منطقه به‌ویژه در مورفولوژی لندفرم‌های مخروط‌افکنه و کانال‌های آبرفتی تغییرات مشخصی به وجود آورده است. بروز این تغییرات در کانال‌های رودخانه‌ای بیشتر به صورت برش عمودی بیش از حد بستر به‌ویژه در محل خروج از کوهستان و در قسمت بالادست مخروط‌افکنه‌ها موجب شده که در بسیاری موارد کانال‌های خندقی نمود یابند (شکل ۹).

در جنوب ارتفاعات خواجه به دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک و وجود عناصر ریزدانه و حساس به فرسایش، این خندق‌ها را می‌توان مشاهده کرد که بیشتر به صورت خطی با دیواره‌ای عمودی بوده و از یک هدکت^۱ ناشی شده‌اند. خندق‌های موجود به طور متوسط عمقی در حدود یک متر داشته و طول آن‌ها به ده تا پانزده متر می‌رسد. در محل برخورد خندق‌ها به آبراهه اصلی، به دلیل پایین بودن سطح آبراهه اصلی به طور معمول عمق خندق‌ها بسیار افزایش می‌یابد.



شکل ۸. نقشه تراکم نقاط شکست که موقعیت نقاط اصلی شکست در ارتباط با کانون سطحی زلزله‌های اخیر را نشان می‌دهد.



شکل ۹. دیواره عمودی کانال آبرفتی در دامنه کوه خواجه که از رسوبات سخت‌شده ماسه‌بادی تشکیل شده و به صورت خندق نمایان شده است. تخریب رسوبات ماسه‌ای دیواره کانال شرایط فرسایش مجدد آن‌ها را فراهم می‌آورد.

مخروط‌افکنه‌ها از جمله دیگر لندفرم‌های آبرفتی هستند که به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرار می‌گیرند (چاکرابورتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها به‌طور مشخص در جابه‌جایی رأس و به تبع آن تغییر در امتداد طولی مخروط‌افکنه‌ها مشاهده می‌شود. جابه‌جایی در موقعیت رأس مخروط‌افکنه‌ها که با بالاآمدگی تکتونیکی همراه است، نوع خاصی از مخروط‌افکنه‌ها را به وجود می‌آورد که با عنوان مخروط‌افکنه‌های تودرتو^۲ شناخته می‌شوند. این مخروط‌افکنه‌ها خود یکی از شاخص‌های شناسایی فعالیت‌های تکتونیکی جوان هستند (هاروی^۳، ۲۰۰۵). وجود مخروط‌افکنه‌های غیر فعال در محدوده دره آهنگران به سمت جنوب و در دامنه ارتفاعات گزخت ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی است. تغییرات به وجود آمده در سطح اساس آبراهه‌های جاری در این قسمت که ناشی از چین‌خوردگی گسلی ارتفاعات خواجه است، فرسایش عمقی بستر رودخانه‌ها را بسیار تشدید کرده به گونه‌ای که قطعات غیر فعال مخروط‌افکنه به صورت بریده‌بریده نمایان شده‌اند (شکل ۵).

بررسی تقابل و مجاورت لندفرم‌های آبی و بادی

در مبحث بررسی نحوه مجاورت و تقابل لندفرم‌های حاصل از سیستم‌های آبی و بادی با در نظر گرفتن شاخص‌های زاویه تماس لندفرم‌ها، جهت خالص انتقال ماسه، نوع تپه‌ماسه و الگوی کانال آبرفتی در نهایت شش طبقه متفاوت (جدول ۲) از نحوه تقابل بین این دو گروه از اشکال ژئومورفیک که بیانگر تغییر تسلط آن‌ها بر یکدیگر است، قابل تشخیص است (بولارد و مک تاینیش، ۲۰۰۲).

زاویه تماس بین اشکال آبی و بادی بین ۰ تا ۱۸۰ درجه متفاوت است که به‌طور ساده می‌توان آن را در سه طبقه: ۱- زاویه تماس موازی؛ ۲- زاویه تماس عمودی و ۳- زاویه تماس در جهت مخالف، بررسی کرد. برای بررسی چگونگی مجاورت و تقابل لندفرم‌های حاصل از سیستم‌های آبی و بادی در منطقه مورد مطالعه با کمک نقشه ژئومورفولوژی تهیه شده از منطقه (شکل ۲) تصاویر ماهواره لندست مربوط به دو دوره زمانی مختلف با اختلاف ده سال طبقه‌بندی شده است. نتایج بررسی صحت طبقات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در مجموع دقت بیش از ۸۰٪ را برای هر دو دوره نشان می‌دهد (جدول ۳). نقشه نهایی تغییرات آشکارسازی شده در مجموع تسلط بیشتر سیستم‌های آبرفتی یا بادی را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

1- Chakraborty

2- Telescopic alluvial fan

3- Harvey

جدول ۲. طبقات مختلف تقابل سیستم‌های آبرفتی و بادی (بولارد و مک تاینیش، ۲۰۰۲)

نوع	عنوان تقابل	ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی
۱	غلبه کامل سیستم‌های آبرفتی	تپه‌ها تنها در یک سمت کانال رودخانه قرار گرفته‌اند و رودخانه مانع حرکت تپه‌های ماسه‌ای است.
۲	غلبه تقریبی سیستم‌های آبرفتی	تپه‌ها در هر دو سمت کانال رودخانه قرار گرفته‌اند؛ ولی به سمت پایین دست باد به‌علا تخلیه رسوبات کوچک‌تر هستند. جریان رودخانه از میان تپه‌های ماسه‌ای با تغییر مسیر اندکی عبور می‌کند.
۳	توازن	جریان رودخانه از میان تپه‌های ماسه‌ای عبور می‌نماید و تپه‌های ماسه‌ای با ابعاد مشابه در دو طرف کانال مشاهده می‌شوند. تغییرات آشکار در عرض، طول و موقعیت کانال وجود ندارد.
۴	غلبه تقریبی سیستم‌های بادی	جریان رودخانه از میان تپه‌های ماسه‌ای عبور کرده و تغییرات قابل توجهی در طول، عرض و موقعیت کانال وجود دارد. ممکن است با توجه به جهت جریان باد غالب، کانال رودخانه تحت فشار قرار گرفته یا اینکه تاحدودی مسدود شود.
۵	غلبه کامل سیستم‌های بادی	تپه‌های ماسه‌ای مسیر رودخانه را مسدود می‌کنند. جریان آب رودخانه وارد فواصل بین تپه‌های ماسه‌ای می‌شود؛ اما جریان آن به سبب تپه‌های ماسه‌ای، با ممانعت روبه‌رو می‌شود.
۶	متناوب	حاکمیت فصلی بین فرایندهای آبرفتی و بادی در زمان کوتاه (ماهانه تا سالانه) متناوب است. برای مثال تپه‌های ماسه‌ای ممکن است در خلال فصل خشک بستر رودخانه را که به‌طور موقتی یا متناوب خشک‌شده را اشغال کنند؛ اما در فصل‌های مرطوب جریان آب آن‌ها را تخریب می‌کند.

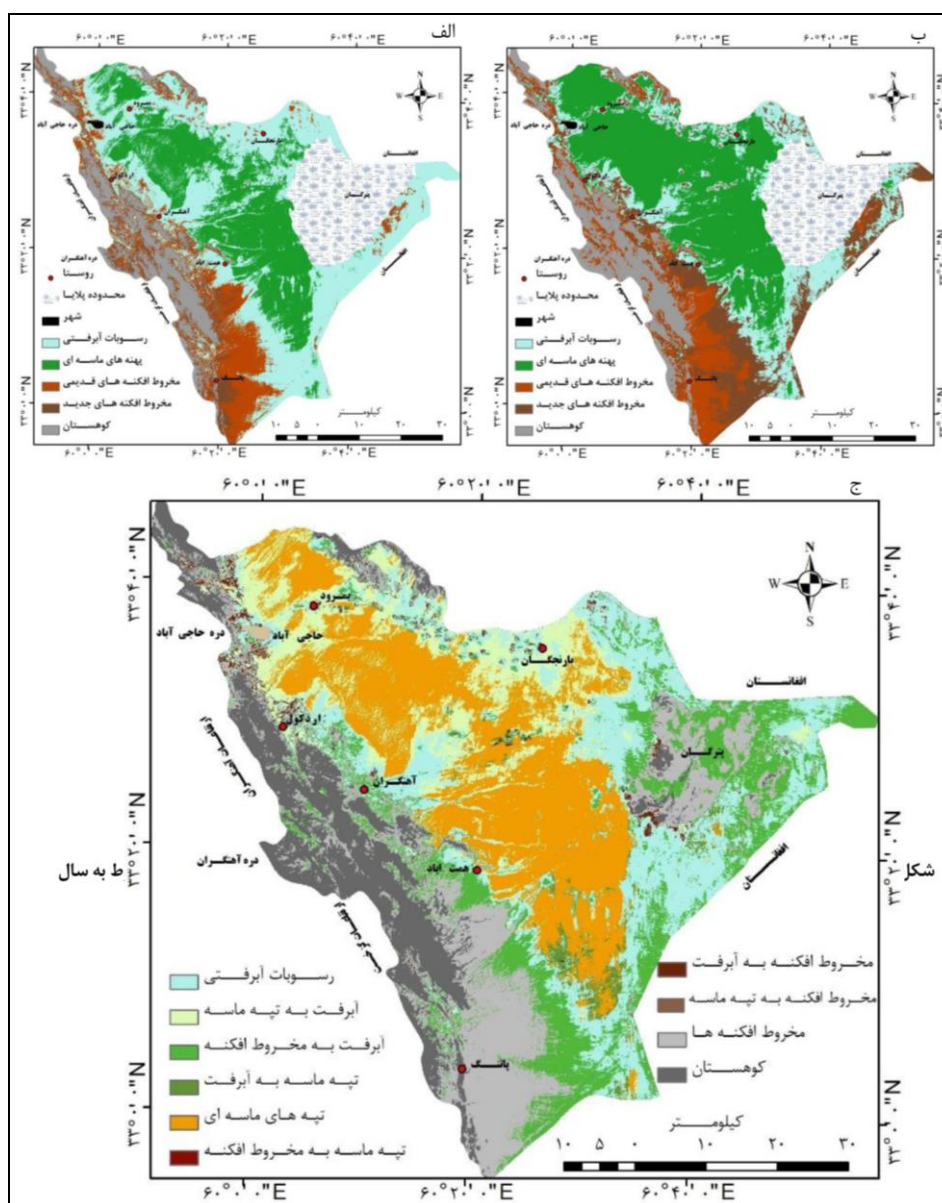
جدول ۳. ماتریس تعیین صحت نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در دو دوره زمانی مختلف (تعداد نمونه‌های شاهد برای تعیین صحت هشتاد نمونه برای هر طبقه است)

سال گرفتن تصویر	طبقات	مخروط‌افکنه ۲	مخروط‌افکنه ۱	اشکال ماسه‌ای	رسوبات آبرفتی	صحت کل
۲۰۰۰ کپا=۰/۸۸۱۶ صحت=۰/۸۲۸۱	رسوبات آبرفتی	۲	۴	۰	۷۴	
	اشکال ماسه‌ای	۴	۳	۶۸	۵	
	مخروط‌افکنه ۱	۹	۶۵	۴	۲	
	مخروط‌افکنه ۲	۵۸	۱۲	۲	۸	
۲۰۱۰ کپا=۰/۸۷۵۴ صحت=۰/۸۸۷	رسوبات آبرفتی	۵	۸	۳	۶۴	
	اشکال ماسه‌ای	۰	۳	۷۱	۶	
	مخروط‌افکنه ۱	۱۱	۵۹	۷	۳	
	مخروط‌افکنه ۲	۶۸	۵	۳	۴	

طی دو دوره بررسی، لندفرم‌های حاصل از سیستم‌های آبی و بادی کمابیش مساحتی نزدیک به هم داشته و تغییرات کمی را از این جهت نشان می‌دهند. در این میان، تپه‌های ماسه بیشترین مساحت بدون تغییر را در اختیار داشته و پس از آن، کانال‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های منطقه قرار دارند. برای تعیین غلبه سیستم‌های آبی و بادی بر یکدیگر، مقدار مساحتی که از سیستم‌های آبی به بادی و بالعکس دچار تغییر و تبدیل شده، مورد توجه قرار گرفته است. براساس این، مجموع مساحت سیستم‌های آبی که در اشغال سیستم‌های بادی قرار گرفته است، به‌طور تقریبی معادل با ۱۱/۳٪ (حدود ۴۸۶/۳ کیلومتر مربع) است (جدول ۴). در این فرایند، کمترین سهم مربوط به اشغال مخروط‌افکنه‌ها به‌وسیله تپه‌های ماسه‌ای بوده است؛ از دیگر سو مجموع مساحت سیستم‌های بادی که در اشغال سیستم‌های آبی قرار گرفته به‌طور تقریب معادل ۱/۸٪ (حدود ۷۷/۳ کیلومتر مربع) است. در این فرایند نیز سهم تبدیل تپه‌های ماسه به مخروط‌افکنه‌ها ناچیز است. در نهایت بررسی تفاضل تغییر و تبدیل‌های بیان‌شده به‌طور کلی غلبه و حاکمیت چشم‌گیر سیستم‌های بادی را بر مجموعه لندفرم‌های حاصل از سیستم‌های آبی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (جدول ۴).

جدول ۴. تغییرات به وجود آمده در مساحت اشکال آبی و بادی، جهت تغییر سیستم غالب مساحت (درصد) مساحت سیستم غالب تفاضل

ردیف	سال ۲۰۰۱	سال ۲۰۱۰	جهت تغییر	سیستم غالب	مساحت (درصد)	مساحت سیستم غالب	تفاضل
۱	مخروط افکنه‌ها	تپه‌های ماسه‌ای	از آبرفتی به بادی	بادی	۰/۱۳۰۱۲	۱۱/۳۲۳۸	۹/۵۲۲۷۵
۲	رسوبات آبرفتی	تپه‌های ماسه‌ای	از آبرفتی به بادی	بادی	۱۱/۱۹۳۷	۱۱/۳۲۳۸	
۳	تپه‌های ماسه‌ای	رسوبات آبرفتی	از بادی به آبرفتی	آبرفتی	۱/۷۵۲۹	۱/۸۰۱۰۶	
۴	تپه‌های ماسه‌ای	مخروط افکنه‌ها	از بادی به آبرفتی	آبرفتی	۰/۰۴۸۱۶	۱/۸۰۱۰۶	
۵	مخروط افکنه‌ها	رسوبات آبرفتی	از آبرفتی به آبرفتی	-	۱/۱۹۷۴۴	۱/۱۹۷۴۴	-
۶	رسوبات آبرفتی	مخروط افکنه‌ها	از آبرفتی به آبرفتی	-	۱۳/۹۶۷۳	۱۳/۹۶۷۳	-
۷	تپه‌های ماسه‌ای	تپه‌های ماسه‌ای	بدون تغییر	-	۲۳/۱۱۴۳	۲۳/۱۱۴۳	-
۸	رسوبات آبرفتی	رسوبات آبرفتی	بدون تغییر	-	۱۸/۸۹۳۱	۱۸/۸۹۳۱	-
۹	مخروط افکنه‌ها	مخروط افکنه‌ها	بدون تغییر	-	۱۶/۸۴۳۸	۱۶/۸۴۳۸	-
۱۰	کوهستان	کوهستان	بدون تغییر	-	۱۲/۸۵۹۲	۱۲/۸۵۹۲	-
-	-	-	جمع کل	-	۱۰۰	۱۰۰	-



شکل ۱۰. قلمرو اشکال آبی و بادی منطقه مورد مطالعه حاصل از تصاویر ماهواره لندست. الف: مربوط به سال ۲۰۰۰؛ ب: مربوط به سال ۲۰۱۰ و ج: تغییر و تبدیل‌های به وجود آمده در طی دوره دهساله را نشان می‌دهد.

بحث

باوجود اینکه بررسی روند تغییرات ژئومورفیک ده ساله منطقه مورد مطالعه نشانگر حاکمیت لندفرم‌های بادی است؛ بررسی دقیق‌تر این موضوع سهم هرچند اندکی را برای لندفرم‌های آبرفتی به میزان ۱/۸٪ نیز نشان می‌دهد (جدول ۴). در این میان سهم لندفرم کانال‌های آبرفتی که به میزان ۱/۷۵٪ تخمین زده شده، بسیار بیشتر از لندفرم مخروط‌افکنه‌ها است که تنها ۰/۴۸٪ از مساحت تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص‌های تکتونیک‌نیک نشان می‌دهد که سیستم‌های آبرفتی منطقه مورد مطالعه، به‌طور کامل از فعالیت‌های تکتونیک‌نیک متأثر بوده و در حال تحول هستند. توجه به سهم تغییرات آشکارسازی شده در لندفرم‌های واقع در گروه سیستم‌های آبرفتی نشان می‌دهد که میزان تحولات ژئومورفولوژیکی کانال‌های آبرفتی در واکنش به تغییرات تکتونیک‌نیک منطقه بسیار بیشتر از مخروط‌افکنه‌ها است. به این ترتیب، با توجه به شرایط اقلیمی خشک حاکم بر منطقه، غلبه هرچند اندک سیستم‌های آبرفتی بر سیستم‌های بادی که به‌طور عمده در غالب کانال‌های آبرفتی رخ داده را می‌توان متأثر از فعالیت‌های تکتونیک‌نیک اخیر در منطقه استنباط کرد. تغییرات به وجود آمده در سطح اساس سیستم‌های آبرفتی منطقه باعث تجدید نیروی آن‌ها شده به گونه‌ای که در برخی مناطق خاص توانسته عقب‌نشینی لندفرم‌های بادی را به نفع سیستم‌های آبرفتی سبب شوند. این در حالی است که اگر انرژی سیستم‌های آبرفتی منطقه با فعالیت‌های تکتونیک‌نیک تجدید نمی‌شد، درواقع با توجه به سرعت و گستره فعالیت سیستم‌های بادی در منطقه، چه‌بسا تمامی قلمرو سیستم‌های آبرفتی حتی تا دامنه کوهستان غربی به عقب رانده می‌شد. توجه به توزیع جغرافیایی پهنه‌های غلبه سیستم‌های آبرفتی در منطقه مورد مطالعه نیز حاوی نتایج قابل توجهی است (شکل ۱۰). بررسی توزیع جغرافیایی پهنه‌های تحت غلبه سیستم‌های آبرفتی، انطباق بیشتر آن‌ها را با مناطق دارای فعالیت‌های تکتونیک‌نیک بیشتر مانند دره آهنگران نشان می‌دهد. به‌طوری که در خروجی این دره با تشکیل مخروط‌افکنه‌ای بزرگ در تقابل با سیستم‌های بادی، منطقه ویژه‌ای از تقابل با سیستم‌های بادی به وجود آمده آن گونه که غلبه سیستم‌های آبرفتی را نشان می‌دهد (شکل ۷). در تبیین این نتایج، توجه به برخی مطالعات انجام شده در بخش‌هایی از کره زمین مانند بیابان‌های آرژانتین (مارولیس و همکاران، ۲۰۰۷)، بیابان‌های مرکزی استرالیا (ویلیامز، ۲۰۱۵) و امارات متحده عربی (الفرجی و هاروی^۱، ۲۰۰۴) نیز غلبه سیستم‌های بادی بر آبرفتی که نتیجه وسعت عملکرد و فعالیت مداوم و مستمر آن است، مشاهده می‌شود. این در حالی است که سیستم‌های آبرفتی با شرایط مستعد اقلیمی یا تجدید نیروهای تکتونیک‌نیک فعالیت چشم‌گیری از خود را در وسعت عملکردی به نسبت کوچک‌تری به نمایش می‌گذارند.

از لحاظ استمرار فعالیت، کانال‌های آبرفتی دائمی و موقتی منطقه در تقابل با سیستم‌های بادی رفتار متفاوتی دارند؛ به‌طوری که چشم‌انداز حاصل از تقابل جریان رودخانه‌های دائمی، رفتاری پایدار و چرخه‌ای را نشان می‌دهد؛ آن گونه که طی فصل‌ها فعالیت سیستم‌های بادی تا حدی غلبه سیستم‌های آبرفتی کاهش می‌یابد. این نوع تقابل را در امتداد رودخانه تجنود که از میان تپه‌های ماسه‌ای دامنه شرقی کوه خواجه عبور می‌کند (شکل ۵)، می‌توان مشاهده کرد. در این بخش، تپه‌های ماسه‌ای احاطه‌کننده کانال رودخانه هم از لحاظ اندازه و هم از لحاظ موقعیت مکانی تغییراتی داشته‌اند؛ از دیگر سو، تخریب دامنه تپه‌ماسه‌ها در این بخش بر اثر افزایش شیب و فرسایش جانبی کانال رودخانه باعث ورود ماسه‌ها به درون بستر و مسیر جریان آب شده و دچار فرسایش مجدد شده‌اند (شکل ۹). به این ترتیب، نوع جدیدی از تپه‌های ماسه‌ای در موقعیت جدید به وجود آمده است. در برخی قسمت‌های رودخانه

تجنود، کانال رودخانه در اطراف تپه‌های ماسه‌ای به‌طور قابل ملاحظه‌ای جابه‌جا شده یا اینکه شکل تپه‌های ماسه‌ای را تغییر داده و بر خروجی رسوب اثر بسیار زیادی گذاشته است؛ از طرف دیگر، در سیستم‌های آبرفتی موقتی منطقه مورد مطالعه، تپه‌های ماسه‌ای به‌سادگی از عرض مسیر کانال عبور می‌کنند و توسعه کانال جریان بسیار نامنظم و همراه با گودال‌های آبگیر است که به‌وفور در مسیر کانال وجود داشته و الگوی آن‌ها را تغییر داده و غلبه سیستم‌های بادی را نشان می‌دهند.

از لحاظ الگوی کانال‌های آبرفتی، دسترسی به رسوب از منابع ماسه‌ای در مناطق با فعالیت سیستم‌های بادی منجر به تغییر جدی در الگوی کانال می‌شود (هوسینک^۱، ۲۰۰۰)؛ از این‌رو با توجه به اینکه کانال‌های مستقیم و مئاندری از انواع کم‌انرژی بوده و در مناطق پایدار و در حالت توازن مشاهده می‌شوند، بررسی تقابل الگوی کانال‌های مستقیم و مئاندری با سیستم‌های بادی نشان‌دهنده وجود نوع تقابل متوازن است. از آنجاکه کانال‌های سرگردان و گیسوی به دلیل انرژی بیشتر تمایل بیشتری برای پویایی و توسعه دارند، این کانال‌ها در طبقه‌بندی تقابل با سیستم‌های بادی در گروه غلبه کامل سیستم‌های آبرفتی یا بادی قرار می‌گیرند. با توجه به زاویه تماس نیز در وضعیت تماس عمودی بیشترین تقابل بین دو سیستم وجود دارد؛ به‌طوری‌که حمل ماسه عمود بر مسیر حرکت رودخانه باعث نهشته‌گذاری بیشتر در کانال شده و تشکیل موانع ماسه‌ای رودخانه‌ای را سبب شده است. به این ترتیب، دسترسی بیشتر به منابع ماسه‌ای باعث تغییر الگوی کانال رودخانه به نوع گیسوی یا سرگردان شده و در مواردی که زاویه تماس دو سیستم موازی است، الگوی کانال مستقیم یا مئاندری باقی مانده است.

در مجموع و چنان‌که در نتایج آمده، بررسی بیان کلی تبدیل‌های روزیافته در عرصه فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و لندفرم‌های آبی در مدت ده سال، بیانگر مثبت‌بودن این روند به‌نفع تپه‌های ماسه‌ای به میزان بیش از ۹/۵ کیلومتر مربع است (جدول ۴). از این‌رو با توجه به هدف نوشتار پیش رو در بررسی روند طبیعی فرایندهای بیابان‌زایی در مقابل بیابان‌زدایی، مشاهده می‌شود که روند فعالیت عوامل طبیعی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه به‌گونه‌ای است که روند روبه گسترشی را نشان می‌دهد. در این میان، روند عوامل طبیعی بیابان‌زدایی که در قالب فعالیت لندفرم‌های آبی و به‌اتکای نیروهای تکتونیکی بروز کرده، قابل توجه نبوده و در برابر فرایندهای بیابان‌زایی ناچیز است. به این ترتیب، شرایط اقلیمی خشک و فعالیت‌های تکتونیکی اندک شرایط را برای گسترش و غلبه بی‌بدیل سیستم‌های بادی در تقابل با سیستم‌های آبرفتی منطقه فراهم کرده است.

اثرات مربوط به غلبه سیستم‌های طبیعی بیابان‌زایی در قالب لندفرم‌های بادی بیشتر با ایجاد انحراف و مسدود شدن جریان آب و جاری شدن آن بر روی سواحل کانال از راه تپه‌های ماسه‌ای بروز می‌کند (بل‌نپ و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۱۹). به‌طوری‌که در منطقه مورد مطالعه و برخی موارد، گودال‌های آبگیر و کانال‌های متعدد دیگر در مسیر کانال اصلی رودخانه به‌وجود آمده است. تپه‌های ماسه‌ای عرضی و هلالی در مقایسه با تپه‌های ماسه‌ای طولی و ستاره‌ای شکل منطقه، یکی از فعال‌ترین انواع تپه‌های ماسه‌ای بوده و از جمله معمول‌ترین انواع تپه‌ماسه‌ای که با سیستم‌های رودخانه‌ای رابطه متقابل دارند نیز به‌شمار می‌روند. این تپه‌ها بیشتر کانال رودخانه‌ها را در زاویه ۹۰ تا ۱۳۵ درجه قطع کرده‌اند؛ از این‌رو این نوع از تپه‌های ماسه‌ای در طبقه‌بندی نوع تقابل در گروه حاکمیت کامل سیستم‌های بادی قرار دارند. مطالعات آزمایشگاهی هرمان^۲ و همکاران (۲۰۰۵) بر روی دینامیک انواع تپه‌های ماسه‌ای نیز بیانگر وجود پتانسیل فعالیت ویژه در برخان‌ها به‌مثابه شاخص‌ترین نوع از تپه‌های ماسه‌ای عرضی است. در مقابل، تپه‌های طولی منطقه از پویایی کمتری برخوردار بوده و بیشتر در موازات کانال رودخانه‌ها

1- Huisink

2- Herrmann

توسعه یافته‌اند. در این وضعیت کمترین زاویه برخورد بین دو سیستم وجود دارد و وضعیت تقابل در حالت توازن است؛ همچنین با توجه به اینکه تپه‌های طولی در مقایسه با تپه‌های عرضی فعالیت کمتری دارند، میزان رسوبی که می‌تواند از سمت آن‌ها به داخل کانال رودخانه حمل شود کمتر است؛ از این رو تقابل آن‌ها تحت تأثیر تماس اندک آن‌ها قرار دارد؛ از طرفی در میان انواع تپه‌ماسه‌های عرضی، برخان‌ها نشان‌دهنده محدودیت منابع ماسه‌ای و تک‌جهته بودن وزش باد هستند؛ در حالی که سایر تپه‌ماسه‌های عرضی، نشانگر افزایش قابل ملاحظه ذخایر ماسه‌ای هستند؛ از این رو، جابه‌جایی تپه‌ها در وضعیت اخیر به نسبت کاهش می‌یابد، به طوری که گستره فعالیت تپه‌های عرضی کمتر از برخان‌ها است. از دیگر سو در تپه‌های طولی رژیم جریان باد دوجبهته است و گستره فعالیت تپه‌ها حتی پایدارتر از تپه‌های عرضی است و در نهایت در تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای شکل این وضعیت پایدارتر است گرچه شکل این تپه‌ها نشان‌دهنده پیچیده تر بودن جریان وزش باد است.

نتیجه‌گیری

تبادل منابع رسوبی بین سیستم‌های آبی و بادی و تعیین سهم هریک از سیستم‌ها در بهره‌برداری از این منابع که به صورت لندفرم‌های مشخصی در سطح زمین بروز می‌کند، موضوع مورد توجه در نوشتار پیش رو است. بررسی این موضوع طی یک دوره زمانی بیانگر وضعیت و گرایش چشم‌انداز منطقه به لحاظ خصوصیات ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی است. غلبه کامل سیستم‌های بادی در منطقه مورد مطالعه که سهم بیشتری از منابع رسوبی موجود در منطقه دارند، توسعه بیابان‌زایی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. تقابل سیستم‌های آبرفتی و بادی و فرایند انتقال رسوب بین این دو سیستم در منطقه باعث شده یک یا هردو آن‌ها دچار تغییر شوند. روابط متقابل بین سیستم‌های آبرفتی و بادی کمتر مورد توجه بوده، از این رو در این ارتباط مسائل حل نشده متعددی نیز وجود دارد (لیوینگستون و وارن، ۱۹۹۶). در این میان تغییرات اقلیمی در ارتباط با تقابل این سیستم‌ها، هم می‌تواند شرایطی را برای غلبه سیستم‌های آبرفتی ایجاد کند و هم شرایطی را به نفع سیستم‌های بادی ایجاد کند. این در حالی است که تغییرات تکتونیکی در راستای افزایش توان سیستم‌های آبرفتی در برابر سیستم‌های بادی نقش ایفا می‌کنند. چنان‌که در این بررسی نیز نشان داده شد، در موارد محدود غلبه سیستم‌های آبرفتی در منطقه بر سیستم‌های بادی ناشی از تجدید نیروی سیستم‌های آبرفتی به واسطه تغییرات تکتونیکی منطقه بوده که به دنبال بروز اختلاف سطح اساس سیستم‌های آبرفتی به وجود آمده است. این موضوع به طور خاص در مخروط افکنه دره آهنگران که براساس محاسبات شاخص‌های مورفوتکتونیکی بیشترین فعالیت‌های تکتونیکی را تجربه کرده، مشاهده می‌شود (شکل ۷).

منابع

- احمدی، حسن؛ فیض‌نیا، سادات؛ اختصاصی، محمدرضا؛ قانع بافق، محمدجواد (۱۳۸۰). منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای جنوب بافق. *مجله بیابان*، ۶ (۲)، ۳۳-۴۹.
- احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ گلکاریان، علی؛ ابریشم، الهام سادات (۱۳۸۵). ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس تغییر یافته در منطقه فخرآباد - مهریز (یزد). *منابع طبیعی ایران*، ۵۹ (۳)، ۵۱۹-۵۳۲.
- مشهدی، ناصر؛ احمدی، حسن (۱۳۸۹). تعیین منابع ماسه براساس دانه‌بندی خاک یا رسوب سطحی (توان رسوب‌زایی). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۷ (۴)، ۴۹۹-۵۱۷.
- مقصودی، مهران؛ یمانی، مجتبی؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ شهریار، علی (۱۳۹۲). نقش باد و الگوهای جوئی در مکان‌گزینی و جهت‌ریگزراه‌های دشت کویر. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۵ (۲)، ۲۱-۳۸.
- میرعلایی‌موردی، مهدی؛ میراب شیبستری، غلامرضا؛ اعتباری، بهروز؛ هیهات، محمودرضا (۱۳۹۲). معرفی ژئومورفولوژی

کارستی سنگ‌های کربناته منطقه آهنگران (شمال شرق بیرجند). جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، ۳ (۸)، ۱۱۵-۱۳۰.

References

- Ahmadi, H., Feyznia, S., Ekhtesasi, M. R. & GhaneiYafgh, M. J. (2001). Source Identification of South Bafgh Sand Dunes. *Biaban*, 6 (2), 33-49. (In Persian)
- Ahmadi, H., Ekhtesasi, M. R., Golkarian, A. & Abrisham, E. S. (2006). Assessment and Mapping of Desertification Using a Modified *MEDALUS* model in Fakhraabad Region, Mehriz (Yazd). *Iranian Journal of Natural Resources*, 59 (3), 519-532. (In Persian)
- AlFarraj, A. & Harvey, A. M. (2004). Late Quaternary interactions between aeolian and fluvial processes: a case study in the northern UAE. *Journal of Arid Environments*, 56 (2), 235-248.
- Belnap, J., Munson, S. M. & Field, J. P. (2011). Aeolian and fluvial processes in dryland regions: the need for integrated studies. *Ecohydrology*, 4(5), 615-622. <https://doi.org/10.1002/eco.258>
- Bishop, P., Hoey, T. B., Jansen, J. D. & Artza, I. L. (2005). Knickpoint recession rate and catchment area: the case of uplifted rivers in Eastern Scotland. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30 (6), 767-778. <https://doi.org/10.1002/esp.1191>.
- Bullard, J. E. & Livingstone, I. (2002). Interactions between aeolian and fluvial systems in dryland environments. *Area*, 34 (1), 8-16. <https://www.jstor.org/stable/20004201>.
- Chakraborty, T., Kar, R., Ghosh, P. & Basu, S. (2010). Kosi megafan: Historical records, geomorphology and the recent avulsion of the Kosi River. *Quaternary International*, 227 (2), 143-160. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.002>.
- Clemmensen, L. B. & Abrahamsen, K. (1983). Aeolian stratification and facies association in desert sediments, Arran basin (Permian), Scotland. *Sedimentology*, 30 (3), 311-339. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1983.tb00676.x>.
- El-Baz, F., Maingue, M. & Robinson, C. (2000). Fluvio-aeolian dynamics in the north-eastern Sahara: the relationship between fluvial/aeolian systems and ground-water concentration. *Journal of Arid Environments*, 44 (2), 173-183. <https://doi.org/10.1006/jare.1999.0581>.
- Etchebehere, M. L., Saad, A. R., Fulfaro, V. J. & Perinotto, J. A. de J. (2004). Application of the index "Declivity-Extension Relationship - RDE" in the BaciadoRiodoPeixe (SP) for detection of neo-tectonic deformations. *Geologia USP. Série Científica*, 4 (2), 43-56.
- Gardner, T. W., Webb, J., Davis, A. G., Cassel, E. J., Pezzia, C., Merritts, D. J. & Smith, B. (2006). Late Pleistocene landscape response to climate change: eolian and alluvial fan deposition, Cape Liptrap, southeastern Australia. *Quaternary Science Reviews*, 25 (13-14), 1552-1569.
- Goldrick, G. & Bishop, P. (2007). Regional analysis of bedrock stream long profiles: evaluation of Hack's SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 (5), 649-671.
- Hack, J. T. (1973). *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland* (Vol. 294). US Government Printing Office, 45-97.
- Han, G., Zhang, G., You, L., Wang, Y., Yang, L., Yang, J. & Cheng, H. (2016). Deflated rims along the Xiangshui River on the Xiliaohe Plain, Northeast China: A case of active fluvial-aeolian interactions. *Geomorphology*, 257, 47-56.
- Harvey, A. M. (2005). Differential effects of base-level, tectonic setting and climatic change on Quaternary alluvial fans in the northern Great Basin, Nevada, USA. *Geological Society, London, Special Publications*, 251 (1), 117-131.
- Hastenrath, R. L. (1967). The barchan dunes of the Arequipa region. *Southern Peru. Zeitschrift fur Geomorphologie*, 11 (3), 300-331.
- Havholm, K. G. & Kocurek, G. (1988). A preliminary study of the dynamics of a modern draa, Algodones, southeastern California, USA. *Sedimentology*, 35 (4), 649-669.
- Herrmann, H. J., Sauermann, G. & Schwämmle, V. (2005). The morphology of dunes. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 358 (1), 30-38.
- Huisink, M. (2000). Changing river styles in response to Weichselian climate changes in the Vecht valley, eastern Netherlands. *Sedimentary Geology*, 133 (1-2), 115-134.

- Langford, R. P. (1989). Fluvial-aeolian interactions: Part I, modern systems. *Sedimentology*, 36 (6), 1023-1035.
- Livingstone, I. & Warren, A. (1996). *Aeolian geomorphology: an introduction*. Longman.
- Maghsoudi, M., Yamani, M., Khoshakhlagh, F. & Shahriar, A. (2013). Impact of Wind and Atmospheric Patterns in Location and Direction of Dasht-e Kavir, Physical. *Geography Research Quarterly*, 45 (2), 21-38. (In Persian)
- Mainguet, M. (1984). A classification of dunes based on aeolian dynamics and the sand budget. In *Deserts and arid lands* (pp. 31-58). Springer, Dordrecht.
- Maroulis, J. C., Nanson, G. C., Price, D. M. & Pietsch, T. (2007). Aeolian-fluvial interaction and climate change: source-bordering dune development over the past~ 100 ka on Cooper Creek, central Australia. *Quaternary Science Reviews*, 26 (3-4), 386-404.
- Mashhadi, N. & Ahmadi, H. (2010). Sand Sources Determination based on Granulometry of Surface Soils or Sediment (Sediment Generation Potential). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 17 (4), 499-517. (In Persian)
- Melton, F. A. (1940). A tentative classification of sand dunes its application to dune history in the southern High Plains. *The Journal of Geology*, 48 (2), 113-174.
- Miralaemurdi, M., MirabShabestari, Gh., Etebari, B. & Heyhat, M. R. (2013). Introduction of Karst Geomorphology of Carbonate Rocks in Ahangaran Region (Northeast of Birjand). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 8, 115-130. (In Persian)
- Rasmussen, K., Fog, B. & Madsen, J. E. (2001). Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 11 (4), 271-282.
- Stanistreet, I. G. & Stollhofen, H. (2002). Hoanib River flood deposits of Namib Desert interdunes as analogues for thin permeability barrier mudstone layers in aeolianite reservoirs. *Sedimentology*, 49 (4), 719-736.
- Strömbäck, A., Howell, J. A. & Veiga, G. D. (2005). The transgression of an erg—sedimentation and reworking/soft-sediment deformation of aeolian facies: The Cretaceous Troncoso Member, Neuquén Basin, Argentina. *Geological Society, London, Special Publications*, 252 (1), 163-183.
- Tooth, S. (2000). Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. *Earth-Science Reviews*, 51 (1-4), 67-107.
- Veiga, G. D. & Spalletti, L. A. (2007). The Upper Jurassic (Kimmeridgian) fluvial-aeolian systems of the southern Neuquén Basin, Argentina. *Gondwana Research*, 11 (3), 286-302.
- Wasson, R. J. & Hyde, R. (1983). Factors determining desert dune type. *Nature*, 304, 337-339.
- Williams, M. (2015). Interactions between fluvial and eolian geomorphic systems and processes: examples from the Sahara and Australia. *Catena*, 134, 4-13.



ارزیابی و پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در شهر رشت

افسانه قاسمی^{۱*}، جمیل امان‌اللهی^۱

^۱گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

رعد و برق از شدیدترین مخاطرات آب‌وهوایی است که هر ساله به خسارت اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی منجر می‌شود. پیش‌بینی رعد و برق به‌عنوان گسترش فضایی و زمانی آب‌وهوا به‌صورت فیزیکی یا دینامیکی بسیار دشوار است؛ بنابراین پیش‌بینی به‌موقع و ارزیابی بهترین مدل داده‌کاوی در کاهش آسیب و خسارت مؤثر است. در پژوهش حاضر، از داده‌های سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ ایستگاه هواشناسی رشت استفاده شد. متغیر وابسته وقوع و عدم وقوع رعد و برق در طی هفت سال و متغیرهای مستقل عوامل مؤثر بر رعد و برق شامل دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، سرعت باد، جهت باد، فشار هوا و رعد و برق در روز گذشته است. پس از پیش‌پردازش و پرسپترون چندلایه، تابع پایه‌ای شعاعی و ماشین بردار پشتیبان در نرم‌افزار ای.اس.پی.ای.س. مودلر ورژن ۲۰ استفاده شد. نتایج حاصل از مدل‌ها با معیارهای مقایسه‌ای و منحنی راک مقایسه شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌ها، احتمال وقوع رعد و برق در آینده در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر نسبت به سایر ماه‌ها حداکثر است و میزان وقوع از فصل بهار تا زمستان روند کاهشی دارد و در فصل زمستان، به حداقل مقدار خود می‌رسد و از میان مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، درخت چایید با میزان تشخیص ۰/۷۹۴ و حداقل میزان نرخ مثبت کاذب ۰/۲۰۵ و مدل ماشین بردار پشتیبان با پیش‌بینی صحیح ۰/۷۷۳ و نرخ خطای ۰/۴۷۵ و دقت ۰/۸۵۵ نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهینه دارند.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۸ مهر ۱۳۹۸

پذیرش ۲۷ بهمن ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۲۱ اسفند ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

رعد و برق، پیش‌بینی، رشت، مدل‌های داده‌کاوی، معیارهای مقایسه‌ای.

/سنداد: قاسمی، افسانه؛ امان‌اللهی، جمیل (۱۳۹۹). ارزیابی و پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در شهر رشت. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۱)، ۲۱-۳۵.

doi: [10.22126/GES.2020.4534.2122](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4534.2122)

مقدمه

رعد و برق، تخلیه الکتریکی سریع و ناشی از شرایط جوّی است. این تخلیه الکتریسیته موجب فوران ناگهانی موج‌های نور و صدا می‌شود؛ درواقع افزایش اختلاف پتانسیل بین ابر و زمین سبب یونیزه‌شدن جو و ایجاد موج سریع و شدیدی در هوای اطراف می‌شود که خود را به‌صورت رعد و برق نشان می‌دهد. رطوبت و جو ناپایدار نقش مهمی در تشکیل رعد و برق دارند، تجربیات آزمایشگاهی و آزمایش‌های عددی نشان می‌دهد که لایه فاز اختلاط ابر که شامل برف، یخ و آب با دمای بسیار پایین است، شرایط ماکرو فیزیکی لازم برای وقوع رعد و برق را فراهم می‌سازد (کوداما^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجاکه فعالیت‌های رعد و برقی در نزدیکی منبع آبی و کوه‌های مرطوب افزایش می‌یابد (هودانیش و وولین^۲، ۲۰۱۲) مشخص کردن آن در مناطق مختلف جغرافیایی برای پژوهش‌ها و برنامه‌های پیش‌بینی شده بسیار مهم است (بارنس و نیوتن^۳، ۱۹۸۲: ۱۴۷؛ کورت و گریفیثس^۴، ۱۹۸۲: ۳۴)؛ زیرا افزایش شدت رعد و برق می‌تواند سبب ایجاد توفان‌های تندری، بادهای قوی، باران شدید، سیلاب و گردبادها شود (راجیوان^۵ و همکاران، ۲۰۱۲).

در طول سال‌های اخیر برخی از مدل‌های آماری مورد استفاده به‌منظور کاهش خسارت ناشی از رعد و برق شامل رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون لجستیک باینری، طبقه‌بندی و درخت رگرسیون (کارت)^۶ است (لامبرت^۷ و همکاران، ۲۰۰۵)؛ درواقع این روش‌ها ارتباط بین مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌ها و احتمال توفان‌های تندری یا فرکانس رعد و برق را تعیین می‌کنند (ریپ^۸، ۱۹۹۴). تاکنون پژوهش‌های جهانی بسیاری برای پیش‌بینی رعد و برق و تأثیر متغیرهای گوناگون انجام شده که همگی با روش‌های متعدد و مدل‌سازی به‌منظور افزایش صحت و دقت در پیش‌بینی و کاهش آسیب و خسارت ناشی از رعد و برق صورت گرفته است؛ برای نمونه به‌منظور پیش‌بینی رعد و برق در جنوب شرقی هند از پارامترهای رطوبت، دما، بی‌ثباتی جو و ۱۱۵ مورد رعد و برق در طول دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ برای توسعه مدل آماری مبتنی بر رگرسیون استفاده شد.

نتایج نهایی نشان داد مدل پیش‌بینی دقت قابل قبولی دارد؛ اما براساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل‌های آماری بهبود در پیش‌بینی وقوع رعد و برق و توفان‌های تندری و کاهش نرخ اشتباه در مدل پیش‌بینی به میزان و تأثیر متغیرهای وارد شده به مدل و مشاهدات بیشتر در مناطقی که فرکانس رعد و برق بیشتری دارند، وابسته است و در صورت وجود متغیرهای بیشتر می‌توان پیش‌بینی را برای فصل‌های مختلف به‌طور جداگانه و با دقت بیشتر انجام داد (راجیوان و همکاران، ۲۰۱۲)؛ در این راستا به‌منظور تحلیل روند وقوع رعد و برق از داده‌های هواشناسی هفده ایستگاه سینوپتیک با طولانی‌ترین دوره آماری و دو آزمون ناپارامتری استفاده شد و براساس نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد نیمه غربی ایران از نظر تعداد وقوع روزهای همراه با رعد و برق، منطقه همگنی نیست و تعداد وقوع به‌صورت سالیانه از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و در مقیاس فصلی و سالیانه روند افزایشی دارد (رسولی و جوان، ۱۳۹۱)؛ همچنین با کدهای مربوط به توفان‌های تندری، فراوانی و توزیع زمانی و مکانی توفان‌های تندری در شمال غربی ایران طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۲ تحلیل و مشخص شد که فصل‌های بهار و تابستان، حداکثر بارش رعد و برقی را دارند (رسولی و همکاران، ۱۳۸۶).

1- Kodama

2- Hodanish & Wolyn

3- Barnes & Newton

4- Court & Griffiths

5- Rajeevan

6- Classification & Regression Tree (CART)

7- Lambert

8- Reap

از دیگر پژوهش‌ها تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندری در دشت اردبیل به‌منظور مشخص کردن الگوهای سینوپتیک بود که با توجه به الگوها، بیشترین و کمترین درصد بارش رعد و برقی تعیین شد (نصیری قلعه‌بین و همکاران، ۱۳۹۸). تعیین توزیع زمانی و مکانی رعد و برق‌های ایران با استفاده از تصاویر ماهواره در دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ و با استفاده از تابع تراکم کرنل در نرم‌افزار جی.آی.اس.^۱ نشان‌دهنده بیشترین فراوانی رعد و برق در ماه می و آوریل و کمترین فراوانی در ماه‌های ژانویه و سپتامبر است (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۶). از پژوهش‌های اخیر در هند می‌توان به پژوهش بالا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که تکنیک‌های محاسباتی داده‌کاوی را برای پیش‌بینی رعد و برق و توفان‌های تندری بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی‌های بزرگ‌مقیاس به‌منظور کاهش خسارت ناشی از رعد و برق، کافی نیستند و توسعه پژوهش‌های کوچک‌مقیاس به‌دلیل اهمیت و کاربرد بیشتر ضروری است. در چین به‌منظور پیش‌بینی رعد و برق و توفان‌های تندری، در مقیاس کوچک و کوتاه‌مدت از چند مدل ماشینی داده‌کاوی استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده گویای دقت و صحت بالاتر در پیش‌بینی با مدل ماشین بردار پشتیبان و مدل‌های مبتنی بر آن است (کیوو^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به اهمیت پیش‌بینی رعد و برق، هوو^۴ و همکاران (۲۰۱۴) مدل بهینه‌ای مبتنی بر الگوریتم سی فایو^۵ ایجاد کردند براساس نتایج حاصل‌شده، این مدل برای ارزیابی و پیش‌بینی رعد و برق نتایج مناسب و دقیقی را ارائه می‌دهد. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که درخت‌های تصمیم و خوشه‌بندی، الگوریتم‌های خوبی برای پیش‌بینی هستند و فن داده‌کاوی می‌تواند رفتارها و روندهای آینده را پیش‌بینی کند و تصمیم‌های پیشگیرانه و کاهش زمان برای حل مشکلات را ممکن می‌سازد (چاون و تاکور^۶، ۲۰۱۴)؛ همچنین استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی و داده‌کاوی می‌تواند به‌طور قابل توجهی مهارت پیش‌بینی را برای انواع مختلف شرایط آب‌وهوایی با تأثیر بالا بهبود بخشد (مک‌گاورن^۷ و همکاران، ۲۰۱۷).

در کانادا با استفاده از کوواریات^۸ جغرافیایی و زمانی، مشاهدات هواشناسی و مشاهدات رادیوسوند^۹ مدل‌های پیش‌بینی رعد و برق ۶ ساعته و ۲۴ ساعته‌ای از آوریل تا اکتبر برای پیش‌بینی رعد و برق منطقه البرتا در کانادا تهیه شد؛ براساس نتایج، پیش‌بینی با این مدل‌ها در مناطق کوه راکی و دامنه کوه دقت قابل قبول ۸۵ درصدی داشت و تکنیک داده‌کاوی و طبقه‌بندی جنگل تصادفی به‌مثابه روش مدل‌سازی مناسبی برای پیش‌بینی رعد و برق معرفی شد (بولین^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶). از پژوهش‌های اخیر پیش‌بینی وقوع رعد و برق با توجه به پارامترهای هواشناسی فشار، دما، رطوبت، سرعت باد و تکنیک‌های داده‌کاوی یادگیری ماشین است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که مدل‌های ماشینی مهارت پیش‌بینی آماری قابل توجهی دارند و تکنیک‌های داده‌کاوی نیز برای مقایسه الگوهای توزیع داده، به‌صورت مکانی و زمانی در بین ایستگاه‌ها سودمند است (مستجابی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۹).

با گذشت زمان پژوهش‌های انجام‌شده در سطح جهان به‌منظور پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق، همگی براساس استفاده و ارزیابی مدل‌های غیر هیبریدی و هیبریدی به‌منظور افزایش دقت در امر پیش‌بینی با

1- Geographic Information System (GIS)

2- Bala

3- Qiu

4- Hou

5- Induction of Decision Trees (C5)

6- Chauhan & Thakur

7- McGovern

8- Covariates

9- Radiosonde

10- Blouin

11- Mostajabi

در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای اقلیمی و جغرافیایی در وقوع رعد و برق است؛ در حالی که پژوهش‌های داخلی تنها مبتنی بر توفان‌های تندری یا تعیین فراوانی یا پراکنش رعد و برق است و به پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق و کاربرد تکنیک داده‌کاوی در پیش‌بینی توجه چندانی نشده است. پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در ایران به دلیل حوادث خطرناک ناشی از آن نظیر سیلاب، توفان‌های تندری، بادهای شدید و... به‌ویژه در مناطق شمالی کشور مهم است. رشت، بزرگ‌ترین شهرستان برنج‌خیز کشور است و ۱۱٪ برنج مورد نیاز کشور در این استان تولید می‌شود؛ بنابراین اهمیت خسارت و آسیب به شالیزارها به‌علت وقوع رعد و برق، بارش شدید و وزش باد قابل چشم‌پوشی نیست. ورس (خوابیدگی ساقه برنج) و خطر آلودگی شالیزارها به بیماری بلاس، بسیار مهم است. بالا آمدن آب رودخانه، آب‌گرفتگی معابر در اثر رعد و برق شدید و بارش باران، مشکلات تردد افراد و ترافیک، خسارت به منازل مسکونی، ساختمان‌ها و امکان ریزش پل نمونه‌های دیگری از آسیب‌ها هستند؛ از جمله گزارش‌های ثبت‌شده در استان رشت، خسارت ۱۶۰ میلیارد تومانی به تأسیسات و شبکه‌های برق در مهر ۱۳۹۴ به‌علت شرایط نامساعد جوی، رویداد رعد و برق، بارش شدید باران و جاری شدن سیل است؛ همچنین وجود تلفات جانی به‌علت برق‌گرفتگی با رعد و برق یا در اثر حوادث ناشی از آن نیز، مهم تلقی می‌شود؛ برای مثال گزارش ثبت‌شده در مهر ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که ریزش شدید باران در رشت و مشکل اتصالی برق منجر به تلفات جانی شده است؛ بنابراین پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در آینده به‌منظور اقدام به‌موقع و کاهش خسارت می‌تواند مؤثر باشد.

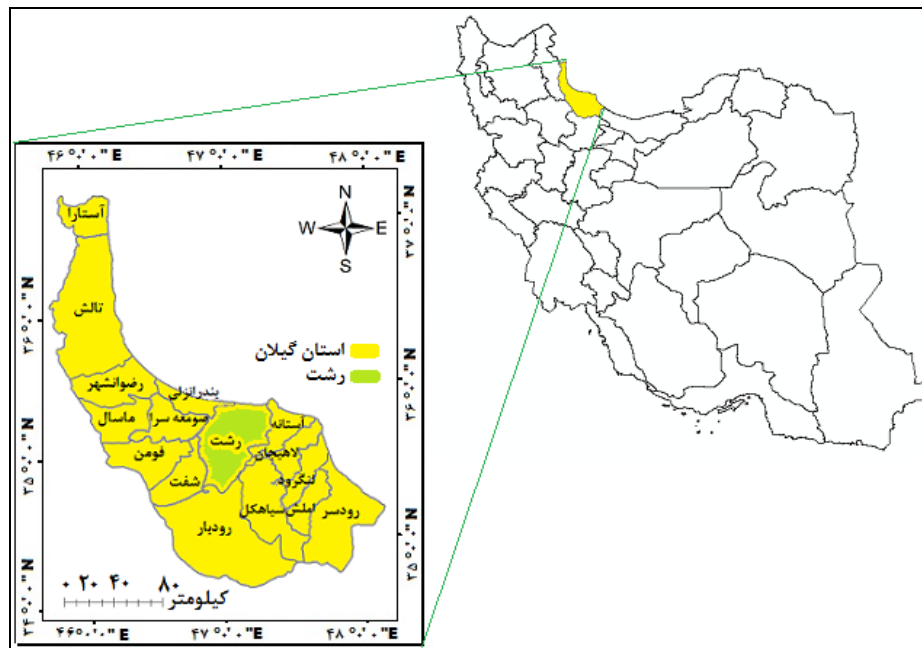
هدف اصلی نوشتار پیش رو استفاده از داده‌های زمینی ثبت‌شده از وقوع و عدم وقوع رعد و برق (داده‌های باینری) و تأثیر پارامترهای هواشناسی مرتبط (دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، سرعت باد، جهت باد، فشار هوا و رعد و برق در روز گذشته) به‌منظور برآورد احتمال وقوع رعد و برق در روز آینده با استفاده از دانش داده‌کاوی (درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی) و ارزیابی و تعیین مدل بهینه به‌منظور کاهش خسارت در آینده است.

مواد و روش‌ها

شهر رشت مرکز استان گیلان و یکی از قطب‌های کشاورزی و گردشگری در کشور محسوب می‌شود. آب‌وهوای رشت معتدل کاسپین و شبه‌مدیترانه‌ای با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و شرجی است. جمعیت این شهر براساس آخرین سرشماری در آبان ۱۳۹۵، ۲۵۳۰۶۹۶ نفر با مساحت ۱۸۰ کیلومتر مربع است و کمابیش در مرکز جلگه‌ای گیلان بین ۴۵' ۳۵" ۴۹° طول شرقی و ۳۰' ۱۶" ۳۷° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). در پژوهش حاضر به‌منظور پیش‌بینی رعد و برق از داده‌های جوی مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ ایستگاه هواشناسی رشت استفاده شد. داده‌های مربوطه از سازمان هواشناسی گرفته شد. داده‌های ثبت‌شده رعد و برق از ایستگاه‌های زمینی به‌صورت داده‌های باینری (وجود یا عدم وجود رعد و برق) و سایر داده‌های مربوط به پارامترهای جوی (دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، سرعت باد، جهت باد، فشار هوا و رعد و برق در روز گذشته) به‌صورت میانگین روزانه استفاده شد.

نرمال‌سازی داده‌ها

از آنجاکه نرمال نبودن داده‌ها منجر به کاهش دقت و سرعت در مدل‌های پیش‌بینی خواهد شد (ژو و همکاران، ۲۰۰۷) پیش از ورود داده‌ها به مدل‌های استفاده‌شده، داده‌ها با استفاده از رابطه ۱ در دامنه صفر و یک نرمال شدند:



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی

$$X_n = X - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min}$$

رابطه ۱

در رابطه بالا، x : داده نرمال شده، x_i : داده خام و $X_{\max}$ و $X_{\min}$: داده حداکثر و حداقل هستند.

متوازن سازی داده‌ها

به دلیل باینری بودن داده‌های مربوط به رعد و برق و تفاوت این داده‌ها در مقایسه با پارامترهای جوی که به صورت میانگین روزانه استفاده شدند، نوعی نامتوازنی در کلاس‌های داده‌ها در مدل‌های پیش‌بینی، به ویژه درخت‌های کارت، چاید^۱ و سی فایو مشاهده شد؛ درواقع در طبقه‌بندی داده‌های نامتوازن ممکن است طبقه‌ای که حداقل تعداد داده را دارد، صحت کمتری داشته باشد (جین^۲ و همکاران، ۲۰۱۶) که این امر پیش‌بینی را با مشکل روبه‌رو خواهد کرد. به منظور متوازن سازی داده‌های رعد و برق و حل مشکل عدم تعادل داده‌ها و طبقه‌های داده از رویکردهای سطح داده با استفاده از الگوریتم‌های روس^۳ و راس^۴ در نرم‌افزار ریپیدماینر^۵ استفاده شد. عملکرد این الگوریتم‌ها افزایش نمونه‌های مربوط به طبقه‌های حداقل و کاهش نمونه‌های مربوط به طبقه‌های حداکثر است (ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۶)؛ سپس روند تغییرات متغیرهای مستقل و وابسته با تعیین خصوصیات آماری و همبستگی پیرسون^۷ بین متغیرها با نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. به منظور کاهش خطای مدل‌ها در پیش‌بینی انجام شد.

داده‌کاوی

پس از نرمال و متوازن سازی داده‌ها، داده‌کاوی صورت گرفت. در بیشتر اوقات، پیش از اجرای الگوریتم‌های

1- CHi-squared Automatic Interaction Detector (CHAID)

2- Jian

3- Random Over Sampling (ROS)

4- Random Under Sampling (RUS)

5- Rapid Miner

6- Zhang

7- Peirson

8- Statistical Package for Social Science (SPSS)

داده‌کاوی، لازم است که برحسب نیاز پیش‌پردازش‌هایی مانند جمع‌آوری داده‌های مرتبط، یکسان کردن منابع داده‌ها، پاکسازی داده‌ها، تبدیل مقادیر پیوسته به گسسته (در صورت نیاز)، انتخاب ویژگی‌های مناسب، کاهش حجم داده‌ها (برای مثال با تکنیک‌های کاهش ابعاد) و... بر روی داده‌ها انجام شود (هان^۱ و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۶۰). بدین منظور پس از پیش‌پردازش داده‌ها، از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس. مودلر^۲ برای پیش‌بینی احتمال وقوع و عدم وقوع رعد و برق در آینده با استفاده از درخت‌های کارت، چاید و سی فایو و مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۳ و تابع پایه‌ای شعاعی^۴ و ماشین بردار پشتیبان^۵ استفاده شد. در این مدل‌ها متغیر وابسته، وقوع و عدم وقوع رعد و برق و متغیرهای مستقل عوامل مؤثر بر رعد و برق شامل دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، سرعت باد، جهت باد، فشار هوا و رعد و برق در روز گذشته است و به‌منظور عملکرد بهینه مدل، ۷۰٪ داده‌ها برای مرحله آموزش و ۳۰٪ برای مرحله آزمون مدل استفاده شده است. نتایج حاصل از درخت‌ها به صورت عدد و قانون و نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی به صورت عددی با استفاده از آماره‌ها ارزیابی شد.

ارزیابی کارایی مدل

نتایج حاصل از خروجی مدل‌ها با استفاده از روابط ۲ تا ۹ بررسی شد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها از ماتریس درهم‌ریختگی و معیارهای مقایسه‌ای صحت (رابطه ۲)، دقت (رابطه ۳)، حساسیت (رابطه ۴)، میانگین هارمونیک (رابطه ۵)، تشخیص (رابطه ۶)، نرخ مثبت کاذب (رابطه ۷)، نرخ منفی کاذب (رابطه ۸) و ریشه میانگین مربعات خطا^۹ (رابطه ۹) استفاده شد. ماتریس درهم‌ریختگی مشخص‌کننده رده‌بندی‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده با مدل است و اطلاعات ارزشمندی دارد (کوهاوی^۷، ۱۹۹۸). منحنی راک^۸ یکی از روش‌های شاخص برای مشخص کردن قدرت مدل‌های پیش‌بینی است. سطح زیر این منحنی (آ.یو.سی.^۹) دو مقدار ۰/۵ تا ۱ دارد که مشخص می‌کند مدل با چه احتمالی موقعیت مثبت را نسبت به منفی انتخاب می‌کند. رابطه‌های ۲ تا ۹ در ارزیابی کارایی مدل مورد توجه است.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

رابطه ۲

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}$$

رابطه ۳

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN}$$

رابطه ۴

$$\text{Harmonic Mean} = \frac{2 \cdot P \cdot S}{P+S}$$

رابطه ۵

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN+FP}$$

رابطه ۶

$$\text{نرخ مثبت کاذب} = \frac{FP}{FP+TN}$$

رابطه ۷

1- Han

2- Spss Modeler

3- Multi Layer Perceptron (MLP)

4- Radial Basis Function (RBF)

5- Support Vector Machine (SVM)

6- Root Mean Square Error (RMSE)

7- Kohavi

8- Receiver Operating Characteristic (ROC)

9- Area Under Curve (AUC)

$$\text{رابطه ۸} \quad \text{FN} / \text{FN} + \text{TP} = \text{نرخ منفی کاذب}$$

$$\text{رابطه ۹} \quad \text{RMSE} = \sqrt{1/N \sum (P-O)^2}$$

منظور از TN: نرخ منفی صحیح؛ FP: نرخ مثبت کاذب؛ FN: نرخ منفی کاذب؛ TP: نرخ مثبت صحیح؛ O: مقدار مشاهده‌شده؛ P: مقدار پیش‌بینی شده و N: تعداد داده‌ها است.

نتایج

خصوصیات آماری متغیرها

پس از پیش‌پردازش داده‌ها، خصوصیات آماری متغیرها طی هفت سال نشان می‌دهد که میانگین سالانه دما و رطوبت نسبی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ متغیر و به مقدار کم کاهش یافته است و تغییرات کم انحراف معیار، نوسانات کم دما و رطوبت را نشان می‌دهد. میانگین جهت باد و ابرناکی متغیر است و مقادیر متفاوت انحراف معیار نشان می‌دهد که نوسانات زیادی در میزان جهت باد و ابرناکی در منطقه وجود دارد و میزان انحراف از میانگین و تغییرات متوسط سالانه سرعت باد و فشار هوا اندک است؛ همچنین طی هفت سال مقادیر بالای انحراف معیار گویای نوسانات بسیار رعد و برق و میانگین متوسط رعد و برق نشان‌دهنده افزایش تدریجی رعد و برق و کاهش آن در سال ۱۳۹۶ است (جدول ۱).

نتایج حاصل از همبستگی بین متغیرهای مستقل با رعد و برق شهر رشت

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان می‌دهد بیشترین میزان همبستگی رعد و برق با پارامتر رعد و برق در روز گذشته و حداقل همبستگی با متغیر سرعت باد است (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج حاصل از خصوصیات آماری متغیرهای مستقل و وابسته

پارامترهای هواشناسی	سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۹۲		سال ۱۳۹۳		سال ۱۳۹۴		سال ۱۳۹۵		سال ۱۳۹۶	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
میانگین	۰/۹۶	۰/۳۵	۰/۹۱	۰/۳۰	۰/۸۶	۰/۴۵	۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۹۴	۰/۳۴	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۹۶	۰/۳۰
انحراف معیار	۰/۷۰	۰/۱۶	۰/۷۴	۰/۱۱	۰/۶۹	۰/۱۲	۰/۷۲	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۱۹	۰/۶۹	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۱۸
دما	۰/۹۷	۰/۵۱	۰/۹۷	۰/۴۴	۰/۹۱	۰/۴۴	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۹۴	۰/۴۴	۰/۹۸	۰/۳۱	۰/۹۷	۰/۰۰۷
رطوبت نسبی	۰/۷۶	۰/۱۱	۰/۷۰	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۰۹	۰/۶۸	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۱۸
جهت باد	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۲
ابرناکی	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۵۹	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۳۶
سرعت باد	۰/۹۵	۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۰۱	۰/۹۵	۰/۱۴	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۹۵	۰	۰/۹۵	۰	۰/۹۵	۰/۱۱
فشار هوا	۰/۶۷	۰/۲۴	۰/۵۶	۰/۲۶	۰/۶۶	۰/۲۲	۰/۵۷	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۲۶	۰/۶۴	۰/۲۴
رعد و برق	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۳۷	۰	۰/۳۳	۰	۰/۳۸	۰/۰۶	۱	۰/۰۴	۰/۶۳	۰/۰۲	۰/۶۶	۰/۰۹
روز گذشته	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۰
رعد و برق	۰/۶۸	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۰۷	۰/۷۱	۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۶۶	۰/۱۷	۰/۵۲	۰/۱۳
روز گذشته	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۳۳	۰/۰۹
رعد و برق	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰
روز گذشته	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۰
رعد و برق	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۰

جدول ۲. نتایج حاصل از همبستگی متغیرهای مستقل با رعد و برق شهر رشت

رعد و برق	رعد و برق روز گذشته	دما	فشار هوا	رطوبت نسبی	ابرناکی	جهت باد	سرعت باد
۰/۵۲۷	۰/۱۷۳	-۰/۱۳۷	-۰/۱۲۷	۰/۱۲۵	-۰/۰۴۵	۰/۱۴	۰/۱۴

پیش‌بینی درصد وقوع و عدم وقوع رعد و برق با درخت‌ها

با استفاده از الگوریتم‌های کارت، چاید و سی فایو، وقوع و عدم وقوع رعد و برق با توجه به داده‌های مشاهده‌شده و براساس قوانین ارائه‌شده، پیش‌بینی شد. براساس درخت کارت، میزان وقوع رعد و برق ۷۷٪ است. درخت چاید میزان وقوع رعد و برق در روزهای آتی را ۵۴٪ و میزان عدم وقوع آن را ۴۶٪ پیش‌بینی کرد و درخت سی فایو احتمال وقوع را براساس قوانین ذکرشده ۷۵٪ پیش‌بینی می‌کند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، احتمال وقوع رعد و برق در روز آتی بیشتر از عدم وقوع آن است. در قوانین ذکرشده کمیت یک، نشان‌دهنده احتمال وقوع رعد و برق و کمیت صفر، نشانه عدم وقوع رعد و برق است (جدول ۳).

پیش‌بینی درصد وقوع و عدم وقوع رعد و برق با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌های پرسپترون چندلایه و تابع پایه‌ای شعاعی احتمال وقوع رعد و برق را به‌ترتیب ۵۷٪ و ۶۴٪ پیش‌بینی کردند و مدل ماشین بردار پشتیبان میزان وقوع رعد و برق در روز آینده را ۶۰٪ و عدم وقوع آن را ۴۰٪ پیش‌بینی کرده است که نتایج نشان‌دهنده احتمال وقوع رعد و برق در روزهای آتی است و با نتایج حاصل از درخت‌ها در وقوع احتمالی رعد و برق همخوانی دارد (جدول ۴).

نتایج پیش‌بینی حاصل از درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌وضوح نشان می‌دهد، با توجه به مقادیر مشاهده‌شده از داده‌های مربوط به احتمال وقوع یا عدم وقوع رعد و برق از میان مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی، درخت چاید و مدل ماشین بردار پشتیبان نزدیک‌ترین شباهت پیش‌بینی به مقادیر مشاهده‌شده در احتمال وقوع رعد و برق در آینده را دارند (شکل ۲).

پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در ماه‌های مختلف در آینده

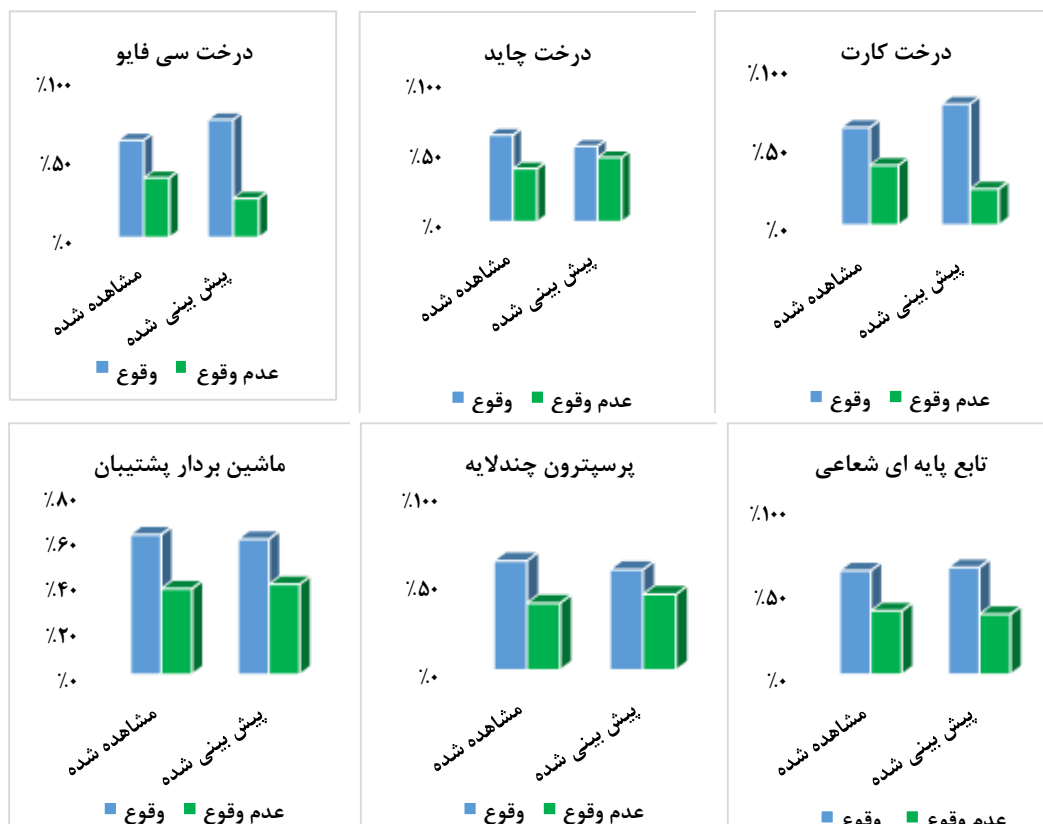
براساس نتایج به‌دست‌آمده از خروجی مدل‌ها، احتمال وقوع رعد و برق در فصل بهار بیشتر از سایر فصل‌ها است و از فصل بهار تا زمستان وقوع رعد و برق روند کاهشی دارد و در فصل زمستان احتمال وقوع بسیار کم و ناچیز است. در راستای پیش‌بینی با درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی، احتمال وقوع رعد و برق در آینده در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر نسبت به سایر ماه‌ها حداکثر است. مدل‌ها روند یکسانی را برای وقوع رعد و برق در ماه فروردین پیش‌بینی کردند و احتمال رویداد رعد و برق در مهرماه نسبت به سایر ماه‌های پاییز بیشتر پیش‌بینی شده است. احتمال وقوع در زمستان دارای حداقل مقدار و عدم وقوع است و پیش‌بینی انجام‌شده، سیر نزولی رعد و برق از فصل بهار تا زمستان را نشان می‌دهد (جدول ۵).

جدول ۳. پیش‌بینی احتمال وقوع و عدم وقوع رعد و برق در روز آینده با درخت

درخت‌ها	وقوع	عدم وقوع	قوانین
کارت	۷۷٪	۲۳٪	رعد و برق در روز گذشته ≥ 0.5 و دما < 0.715 $\leftarrow 1$ دما $\geq 0.715 \leftarrow 0$
چاید	۵۴٪	۴۶٪	فشار ≥ 0.378 و فشار < 0.378 و فشار ≥ 0.5 و فشار < 0.5 و دما < 0.844 $\leftarrow 1$ رطوبت نسبی < 0.779 و رطوبت ≥ 0.824 و رطوبت ≥ 0.779 و دما ≥ 0.656 و رطوبت < 0.824 $\leftarrow 0$
سی فایو	۷۵٪	۲۵٪	رعد و برق در روز گذشته ≥ 0 و ابرناکی < 0.224 $\leftarrow 1$ دما ≥ 0.715 و ابرناکی $\geq 0.224 \leftarrow 0$

جدول ۴. پیش‌بینی احتمال وقوع و عدم وقوع رعد و برق در روز آینده با شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌ها	وقوع	عدم وقوع
تابع پایه‌ای شعاعی	۶۴٪	۳۶٪
پرسپترون چندلایه	۵۷٪	۴۳٪
ماشین بردار پشتیبان	۶۰٪	۴۰٪



شکل ۲. نتایج حاصل از پیش‌بینی درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۵. پیش‌بینی رخداد آینده رعد و برق در ماه‌های مختلف

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	احتمال وقوع رعد و برق	
۲٪	۱۰٪	۲۹٪	۳۶٪	۷۷٪	کارت
۲٪	۸٪	۲۱٪	۲۳٪	۵۴٪	چاید
۲٪	۱۰٪	۲۷٪	۳۶٪	۷۵٪	سی فابو
۲٪	۸٪	۲۴٪	۳۱٪	۶۴٪	پایه‌ای شعاعی
۲٪	۸٪	۳۱٪	۲۶٪	۵۷٪	پرسپترون چندلایه
۲٪	۹٪	۲۱٪	۲۷٪	۶۰٪	ماشین بردار پشتیبان

زمستان			پاییز			تابستان			بهار			فصل‌ها
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه‌ها
۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۳۵	۰/۰۷۶	۳٪	۷٪	۷٪	۷٪	۱۶٪	۱۸٪	۱۳٪	۵٪	کارت
۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۲۵	۰/۰۷۶	۳٪	۵٪	۵٪	۵٪	۱۱٪	۹٪	۹٪	۵٪	چاید
۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۲۵	۰/۰۷۶	۲٪	۷٪	۶٪	۶٪	۱۵٪	۱۷٪	۱۳٪	۵٪	سی فابو
۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۳۵	۱٪	۲٪	۵٪	۵٪	۶٪	۱۳٪	۱۳٪	۱۲٪	۵٪	پایه‌ای شعاعی
۰/۰۵	۱٪	۰/۰۵	۰/۰۷۶	۳٪	۵٪	۴٪	۵٪	۱۱٪	۱۱٪	۱۱٪	۵٪	پرسپترون چندلایه
۰/۰۵	۰/۰۷۶	۰/۰۵	۱٪	۲٪	۶٪	۵٪	۵٪	۱۱٪	۱۲٪	۱۲٪	۴٪	ماشین بردار پشتیبان

ارزیابی عملکرد درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با شاخص‌های یادشده

مدل بهینه از میان درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ماتریس درهم‌ریختگی و شاخص‌های دقت، صحت، حساسیت، تشخیص، میانگین هارمونیک، ریشه میانگین مربع خطا، نرخ مثبت و منفی کاذب ارزیابی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، از میان درخت‌های پیش‌بینی، درخت چاید با مقادیر شاخص‌های صحت = ۰/۷۶۵،

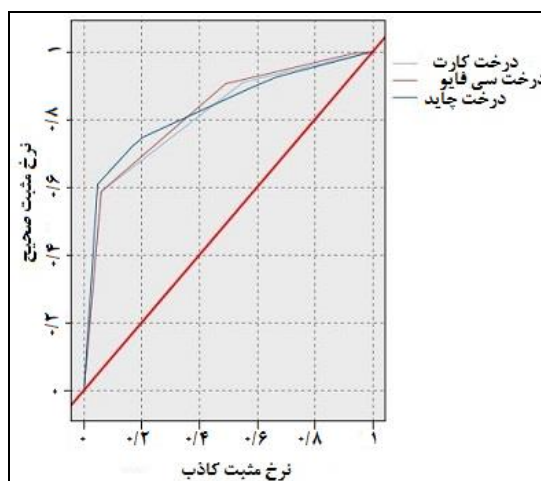
دقت = $0/853$ و تشخیص = $0/794$ و مناسب بودن سایر شاخص‌های ریشه میانگین مربع خطا = $0/483$ و نرخ مثبت کاذب = $0/205$ در مقایسه با درخت‌های کارت و سی فایو بهترین عملکرد را دارد. درخت کارت از نظر شاخص حساسیت و نرخ منفی کاذب و درخت سی فایو از نظر پارامتر میانگین هارمونیک عملکرد مطلوبی دارند. از میان مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، مدل تابع پایه‌ای شعاعی از نظر حساسیت و نرخ منفی کاذب مقادیر مطلوب و یکسانی با مدل ماشین بردار پشتیبان دارد و مدل پرسپترون چندلایه، مقادیر مطلوبی در شاخص‌های تشخیص و نرخ مثبت کاذب دارد. مدل پرسپترون چندلایه با حداکثر مقادیر صحت = $0/773$ ، دقت = $0/855$ ، حساسیت = $0/801$ ، میانگین هارمونیک = $0/813$ و حداقل مقدار ریشه میانگین مربع خطا = $0/475$ و نرخ منفی کاذب = $0/198$ ، عملکرد بسیار مطلوبی در پیش‌بینی آینده رعد و برق دارد. به‌طور کلی مدل پرسپترون چندلایه حداکثر صحت و دقت و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و درخت چاید بالاترین میزان تشخیص و حداقل مقدار برای نرخ مثبت کاذب را دارند (جدول ۶).

تحلیل نتایج حاصل از درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با منحنی راک

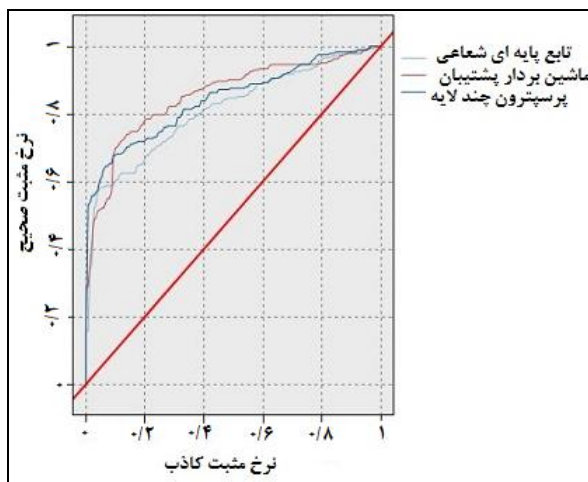
منحنی راک امکان مقایسه تصویری مجموعه‌ای از دسته‌بندی‌ها را با مدل فراهم می‌کند. مساحت زیر این منحنی هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد و قدرت مدل در پیش‌بینی بالاتر خواهد بود. براساس شکل ۲ و ۳ و جدول ۷، درخت چاید با مساحت زیر نمودار $0/829$ و مدل ماشین بردار پشتیبان با مقدار $0/853$ نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارند و طبقه‌بندی بهتری را ارائه می‌دهند.

جدول ۶. نتایج حاصل از عملکرد درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از شاخص‌ها

مدل‌ها	نرخ منفی صحیح	نرخ مثبت کاذب	نرخ منفی کاذب	نرخ مثبت صحیح	صحت	دقت	حساسیت	تشخیص	میانگین هارمونیک	ریشه میانگین مربعات خطا	نرخ مثبت کاذب	نرخ منفی کاذب
کارت	۶۸	۸۳	۲۲	۲۲۰	۰/۷۳۲	۰/۷۲۶	۰/۹۰۹	۰/۴۵۰	۰/۸۰۷	۰/۵۷۶	۰/۵۴۹	۰/۰۹۰
چاید	۱۲۰	۳۱	۶۱	۱۸۱	۰/۷۶۵	۰/۸۵۳	۰/۷۴۷	۰/۷۹۴	۰/۷۹۷	۰/۴۸۳	۰/۲۰۵	۰/۲۵۲
سی فایو	۷۷	۷۴	۲۳	۲۱۹	۰/۷۵۳	۰/۷۴۷	۰/۹۰۴	۰/۵۰۹	۰/۸۱۸	۰/۴۹۶	۰/۴۹۰	۰/۰۹۵
پایه‌ای شعاعی	۹۲	۵۹	۴۸	۱۹۴	۰/۷۲۷	۰/۷۶۶	۰/۸۰۱	۰/۶۰۹	۰/۷۸۳	۰/۵۲۱	۰/۳۹۰	۰/۱۹۸
پرسپترون چندلایه	۱۱۱	۴۰	۵۹	۱۸۳	۰/۷۴۸	۰/۸۲۰	۰/۷۵۶	۰/۷۳۵	۰/۷۸۷	۰/۵۰۱	۰/۲۶۴	۰/۲۴۳
ماشین بردار پشتیبان	۱۱۰	۴۱	۴۸	۱۹۴	۰/۷۷۳	۰/۸۵۵	۰/۸۰۱	۰/۷۲۸	۰/۸۱۳	۰/۴۷۵	۰/۲۷۱	۰/۱۹۸



شکل ۳. تحلیل نتایج حاصل از درخت‌های کارت، چاید و سی فایو



شکل ۴. تحلیل نتایج حاصل از مدل‌های پایه‌ای شعاعی، پرسپترون چند لایه و ماشین بردار پشتیبان

جدول ۷. نتایج حاصل از درخت‌ها و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با منحنی راک

منحنی راک	کارت	چاید	سی فایو	پایه‌ای شعاعی	پرسپترون چند لایه	ماشین بردار پشتیبان
سطح زیر نمودار راک	۰/۸۱۴	۰/۸۲۹	۰/۸۲۶	۰/۸۰۹	۰/۸۴۰	۰/۸۵۳

بحث

رعد و برق از مهم‌ترین مخاطرات محیطی با خسارات فراوان است. از آنجاکه رعد و برق و حوادث ناشی از آن منجر به خسارات بسیاری می‌شوند، پیش‌بینی احتمال وقوع یا عدم وقوع این پدیده و تعیین روند وقوع آن در فصل‌های مختلف با دقت و صحت حداکثر و حداقل خطا بسیار مهم است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر احتمال وقوع رعد و برق در فصل بهار (اردیبهشت و خرداد) و تابستان (تیر) حداکثر است و در فصل زمستان به حداقل می‌رسد و روند نزولی دارد و احتمال وقوع رعد و برق در آینده بیش از عدم وقوع آن است؛ درواقع عامل وقوع توفان‌های تندری در فصل بهار و تابستان در بررسی همدیدی توفان‌ها در آستارا عوامل توپوگرافیکی (دریا، رطوبت دریا، ارتفاع از دریا) منطقه است (مفتاحی نمین و صلاحی، ۱۳۹۲).

بررسی انجام‌شده از رخداد توفان‌های تندری بهار در ایران در بازه زمانی ۵۱ ساله از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که شهر رشت از نظر میانگین و فراوانی توفان‌های تندری بهار از بین پنج گروه در رتبه سوم قرار دارد و حداکثر بارش‌های رعد و برقی در ماه اردیبهشت رخ می‌دهد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ همچنین حداکثر فراوانی وقوع توفان‌های تندری با استفاده از داده ۴۶ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ در فصل بهار اتفاق می‌افتد (خالصی، ۱۳۹۳). به‌طور کلی در پیش‌بینی رعد و برق و توفان‌های تندری پیش‌بینی‌های کوچک‌مقیاس به‌دلیل خطای کمتر کاربردی و مؤثرتر از پیش‌بینی‌های بزرگ‌مقیاس هستند (بالا و همکاران، ۲۰۱۷)؛ برای مثال بررسی توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در اهر نشان داد که بیشتر بارش‌ها در فصل بهار و تابستان رخ می‌دهد (جلالی و همکاران، ۱۳۸۵)؛ همچنین بیشترین رخداد وقوع رعد و برق و توفان‌های تندری در تبریز در فصل بهار و ماه می روی می‌دهد (خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۶) و تحلیل ارتباط بین فراوانی وقوع توفان‌های تندری و روند دما در مشهد مشخص کرد که میانگین دما و وقوع توفان‌های تندری رابطه مستقیمی دارند و حداکثر میانگین دما در ماه جولای و حداکثر توفان‌های تندری در فصل بهار رخ داده است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶).

پژوهش‌های انجام‌شده گویای اهمیت و وقوع پدیده رعد و برق و بارش‌های رعد و برقی در فصل بهار به‌ویژه ماه

اردیبهشت هستند که مبتنی احتمال بسیار زیاد وقوع این پدیده در فصل بهار است. پژوهشگران از روش‌های متفاوتی به منظور پیش‌بینی رعد و برق استفاده می‌کنند؛ برای مثال باساک^۱ و همکاران (۲۰۱۲) در کلکته روزهای دارای رعد و برق را با مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی برای سه سال آینده پیش‌بینی کردند؛ افزون بر این روش‌ها، تکنیک داده‌کاوی روش مناسبی برای پیش‌بینی است؛ درواقع داده‌کاوی، مرحله‌ای از فرایند استخراج دانش است که سه فاز را شامل می‌شود: پیش‌پردازش داده‌ها، داده‌کاوی و پردازش دانش حاصل‌شده، نحوه پیش‌پردازش داده‌ها و متغیرهای منتخب، تأثیر قابل توجهی در کشف دانش دارد. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پیش‌بینی با استفاده از تکنیک داده‌کاوی امکان‌پذیر و مؤثر است؛ در این راستا پژوهش‌های بولین و همکاران (۲۰۱۶) و مک‌گاورن و همکاران (۲۰۱۷) گویای قابلیت بالای تکنیک‌های داده‌کاوی و هوش مصنوعی در پیش‌بینی رعد و برق است. در کانادا با استفاده از مشاهدات شبکه ردیابی رعد و برق و داده‌های به‌دست‌آمده از مرکز آب‌وهوایی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ مدل آماری مبتنی بر درخت کارت را روش مناسبی برای پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق تشخیص دادند (باروس^۲ و همکاران، ۲۰۰۵)؛ همچنین مدل غیر خطی پرسپترون چندلایه نسبت به مدل خطی در پیش‌بینی رعد و برق و بادهای شدید ناشی از آن عملکرد بهتر و دقیق‌تری را نشان داده است (چادوری و میدی^۳، ۲۰۱۳). براساس پژوهش چاوون و تاکور (۲۰۱۴) تکنیک داده‌کاوی می‌تواند رفتارها و روندهای آینده را پیش‌بینی کند و تصمیم‌های پیشگیرانه و کاهش زمان برای حل مشکلات و کاهش خسارت را ممکن می‌سازد.

از آنجاکه افزایش دقت مدل، رابطه مستقیمی با افزایش میزان و تأثیر متغیرهای ورودی به مدل را دارد (راجیوان و همکاران، ۲۰۱۲). به‌منظور افزایش صحت مدل‌ها پس از نرمال و متوازن‌سازی داده‌های مؤثر در وقوع رعد و برق، داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های گوناگون آموزش داده شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از سه درخت کارت، چاید و سی فایو درخت کارت و سی فایو از نظر شاخص‌های محدودی مطلوبیت داشتند و فاقد حداکثر صحت و دقت در پیش‌بینی رعد و برق در روز آتی بودند؛ درحالی‌که درخت چاید در ۰/۷۶ موارد، پیش‌بینی صحیحی با دقت ۰/۸۵ داشته است و درصد وقوع رعد و برق را ۰/۵۴ پیش‌بینی کرده است که با مقدار واقعی ۰/۶۲ بسیار شباهت دارد و از میان مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، مدل ماشین بردار پشتیبان با حداکثر مطلوبیت با پیش‌بینی ۰/۷۷ صحت و دقت ۰/۸۵ و پیش‌بینی ۰/۶۰، احتمال وقوع رعد و برق نسبت به مدل‌های تابع پایه‌ای شعاعی و پرسپترون چندلایه اولویت و برتری دارد. از نظر طبقه‌بندی و سطح زیر نمودار راک از میان درخت‌ها، درخت چاید با مقدار ۰/۸۲۹ و مدل ماشین بردار پشتیبان با مقدار ۰/۸۵۳ برتری دارد. نتایج عددی حاصل‌شده و مشابهت این پیش‌بینی با مقادیر واقعی نشان می‌دهد که درخت‌ها و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در آینده مؤثر هستند. در پیش‌بینی رعد و برق و توفان‌های تندری مدل ماشین بردار پشتیبان و مدل‌های مبتنی بر این مدل، به‌دلیل ساختار غیر خطی و کاهش میزان خطا در مرحله آموزش داده‌ها، حداکثر صحت و دقت را در پیش‌بینی دارند (کیو و همکاران، ۲۰۱۳). براساس نتایج به‌دست‌آمده در پیش‌بینی رعد و برق از میان مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، درخت چاید و مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهینه‌ای دارند و قابلیت پیش‌بینی بهتری را ارائه می‌دهند.

1- Basak

2- Burrows

3- Chaudhuri & Middey

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از خروجی مدل‌ها، مشخص شد که احتمال وقوع رعد و برق در شهر رشت بسیار است. مدل‌ها احتمال وقوع رعد و برق در ماه فروردین را با روند یکسانی نشان می‌دهند؛ اما حداکثر وقوع رعد و برق در بهار (اردیبهشت و خرداد) به دلیل شرایط ناپایدار جوی و تابستان (تیر) بیشتر از پاییز و زمستان است و از بهار تا زمستان سیر نزولی دارد و در زمستان به حداقل می‌رسد. بررسی میان مدل‌های پیش‌بینی‌کننده درخت و شبکه عصبی نشان داد که درخت چاید با میزان تشخیص ۰/۷۹۴ و حداقل میزان نرخ مثبت کاذب ۰/۲۰۵ و مدل ماشین بردار پشتیبان با پیش‌بینی صحیح ۰/۷۷۳ و نرخ خطای ۰/۴۷۵ و دقت ۰/۸۵۵ نسبت به سایر مدل‌ها به دلیل برتری آماره‌های یادشده عملکرد مطلوب‌تری دارند و به‌طور کلی از ارزیابی درخت و مدل شبکه عصبی بهینه، مدل ماشین بردار پشتیبان با مقداری تفاوت جزئی در مطلوبیت شاخص‌های صحت = ۰/۷۷۳، دقت = ۰/۸۵۵، میانگین هارمونیک = ۰/۸۱۳، ریشه میانگین مربع خطا = ۰/۴۷۵ و نرخ منفی کاذب = ۰/۱۹۸ به‌مثابه مدل بهینه در پیش‌بینی رعد و برق در آینده مشخص شد و با توجه به خروجی‌های قابل اعتماد با حداکثر صحت، دقت و کمترین میزان خطا در پیش‌بینی، مدل ماشین بردار پشتیبان کارایی مناسب را دارد و می‌تواند برای پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در شهر رشت استفاده شود؛ همچنین مشخص شد با توجه به نتایج مدل‌ها، پارامترهای مؤثر در وقوع رعد و برق به ترتیب اهمیت، رعد و برق در روز گذشته، دما، فشار هوا، رطوبت نسبی و ابرناکی هستند و سایر پارامترها اهمیت کمتری دارند. تعیین مدل ماشین بردار پشتیبان به‌مثابه مدل بهینه پس از ارزیابی با بالاترین عملکرد، حداکثر صحت و کمترین خطا در پیش‌بینی، موجب صرفه‌جویی در زمان برای انجام پژوهش‌های دیگر و انجام اقدام به‌موقع به‌منظور کاهش خسارت در آینده خواهد شد. استفاده از تکنیک داده‌کاوی و پیش‌بینی احتمال وقوع رعد و برق در آینده با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان به‌منزله مدلی با دقت و صحت حداکثر امکان هواشناسی دقیق‌تر و اقدامات مؤثرتر به‌منظور کاهش خسارت در آینده را فراهم می‌سازد.

منابع

- جلالی، اوج؛ رسولی، علی‌اکبر؛ ساری صراف، بهروز (۱۳۸۵). توفان‌های تندری و بارش‌های ناشی از آن در محدوده شهر اهر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶ (۲۴)، ۱۸-۳۳.
- خالصی، فریده (۱۳۹۳). واکاوی زمانی توفان‌های تندری در ایران. *آب‌وهواشناسی کاربردی*، ۱۱ (۱)، ۴۷-۶۰.
- خورشیددوست، علی محمد؛ رسولی، علی اکبر؛ فخاری واحد، مجتبی (۱۳۹۶). توزیع زمانی و مکانی پدیده رعدوبرق در ایران با استفاده از داده‌های سنجنده ثبت رعد و برق (LIS). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۶ (۲۱)، ۸۹-۱۰۷.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶). شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز). *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۱۱ (۵۳)، ۱۰۱-۱۱۵.
- رسولی، علی‌اکبر؛ بوداق جمالی، جواد؛ جلالی، اوج (۱۳۸۶). توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی منطقه شمال غرب ایران. *مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان*، ۱۴ (۲۲)، ۱۵۵-۱۷۰.
- رسولی، علی‌اکبر؛ جوان، خدیجه (۱۳۹۱). تحلیل روند وقوع طوفان‌های رعد و برق در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون‌های ناپارامتری. *مجله فضای جغرافیایی*، ۱۲ (۳۸)، ۱۱۱-۱۲۶.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ باغبانان، پرستو؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۳). تحلیل فضایی مخاطره توفان‌های تندری بهاره ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱ (۳)، ۵۹-۷۰.
- مفتاحی نمین، شیدا؛ صلاحی، برومند (۱۳۹۲). تحلیل ویژگی‌های آماری و همدیدی توفان‌های تندری شهرستان آستارا. در:

عبدالله حسن‌زاده، دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط‌زیست، (صص. ۲۹۲۰-۲۹۲۹). ارومیه: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.

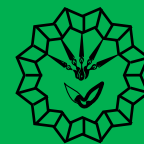
موسوی، محبوبه؛ زرین، آذر؛ مفیدی، عباس؛ حسینی، فاطمه (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین فراوانی وقوع توفان‌های تندری و روند دما در شهر مشهد. *تحقیقات جغرافیایی*، ۳۲(۳)، ۷۵-۸۷.

نصیری قلعه‌بین، سحر؛ صلاحی، برومند؛ رسولی، علی‌اکبر؛ خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۹۸). تحلیل زمانی مکانی طوفان‌های تندری در دشت اردبیل. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱(۱)، ۱۴۹-۱۶۲.

References

- Bala, K., Choubey, D. K. & Paul, S. (2017). Soft Computing and Data Mining Techniques for Thunderstorms and Lightning Prediction: A Survey. *International Conference on Electronics Communication and Aerospace Technology ICECA*, 42-46.
- Barnes, S. L. & Newton, C. W. (1982). *Thunderstorms in the synoptic setting, in thunderstorms, In: Kessler, E. (Editor), A Social Scientific and Technological Documentary, Thunderstorm Morphology and Dynamics*. Washington: U.S Deptment of Commerce, D.C 2, 109-171.
- Basak, P., Sarkar, D. & Mukhopadhyay, A. K. (2012). Estimation of Thunderstorm Days from the Radio-sonde Observations at Kolkata (22.53 N, 88.33 E), India during Pre-Monsoon Season: an ANN Based Approach. *Earth Science India*, 5(4), 139-151.
- Blouin, D. K., Flannigan, D. M., Wang, X. & Kochtobajda, B. (2016). Ensemble lightning prediction models for the province of Alberta, Canada. *International Jurnal of Wildland Fire*, 25 (4), 421-432.
- Burrows, W. R., Price, C. & Wilson, L. J. (2005). Warm season lightning probability prediction for Canada and the northern United States. *Weather Forecasting*, 20, 971-988.
- Chaudhuri, S. & Middey, A. (2013). Nowcasting lightning flash rate and peak wind gusts associated with severe thunderstorms using remotely sensed TRMM-LIS data. *Journal of Remote Sensing*, 34 (5), 1576-1590.
- Chauhan, D. & Thakur, J. (2014). Data Mining Techniques for Weather Prediction: A Review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2 (8), 2184-2189.
- Court, A. & Griffiths, J. F. (1982). *Thunderstorm climatology, In: Kessler, E. (Editor), Thunderstorms: A Social, Scientific and Technological Documentary, Thunderstorm Morphology and Dynamics*. Washington: U.S Deptment of Commerce, D.C 2, 11-52.
- Ghavidel Rahini, Y., Baghebanan, P. & Farajzadeh, M. (2014). The spatial analysis of hazard of spring thunderstorms in Iran. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 1 (3), 59-70. (In Persian)
- Han, J., Kamber, M. & Pei, J. (2006). *Data Mining Concepts and Techniques*. Second Edition, Burlington, USA: Morgan Kaufmann.
- Hodanish, S. & Wolyn, P. (2012). April, Lightning climatology for the state of Colorado. *Paper presented at the 23 rd International Lightning Detection Conference & 4th International Lightning Meteorology Conference, Broomfield, Colorado, USA*.
- Hou, S., Hou, R., Shi, X., Wang, J. & Yuan, C. (2014). Research on C5.0 Algorithm Improvement and the Test in Lightning Disaster Statistics. *International Journal of Control and Automation*, 7 (1), 181-190.
- Jalali, A., Rasouly, A. A. & Sari Sarraf, B. (2006). Thunderstorms and its rains in Ahar city. *Geography and Planning*, 16 (24), 18-33. (In Persian)
- Jian, C., Gao, J. & Ao, Y. (2016). A new sampling method for classifying imbalanced data based on support vector machine ensemble. *Neurocomputing*, (193), 115-122.
- Khalesi, F. (2014). A temporal analysis of thunderstorms in Iran. *Applied Climatology*, 1 (1), 47-60. (In Persian)
- Khorshiddoust, A. M., Rasouly, A. A. & Vahed, M. F. (2017). Spatio-temporal distribution of lightning phenomenon in Iran using TRMM Lightning Image Sensor (LIS) data. *Geography and Environmental Hazards*, 6 (21), 89-107. (In Persian)

- Khoshhal Dastjerdi, J. & Ghavidel Rahini, Y. (2007). Identify Characteristics of environmental disasters in Northwest Iran (Case Study: Thunderstorm Risk in Tabriz). *Humanities Teacher Quarterly*, 11 (53), 101-115. (In Persian)
- Kodama, Y. M., Okabe, H., Tomisaka, Y., Kotono, K., Kondo, Y. & Kasuya, H. (2007). Lightning frequency and microphysical properties of precipitating clouds over the western North Pacific during winter as derived from TRMM multisensor observations. *Monthly Weather Review*, 135 (6), 2226-2241.
- Kohavi, P. (1998). Glossary of terms, editorial for the special issue on applications of machine learning and the knowledge discovery process. *Machine Learning*, 30 (2-3), 271-274.
- Lambert, W. C., Wheeler, M. & Roeder, W. (2005). Objective lightning forecasting at Kennedy Space Center and Cape Canaveral Air Force Station using cloud-to-ground lightning surveillance system data; Preprints. *Conference on Meteorological Applications of Lightning Data*, (pp. 1-10). San Diego, CA: American Meteorological Society.
- McGovern, A., Elmore, K. L., Gagne, D. J., Haupt, S. E., Karstens, C. D., Lagerquist, R., Smith, T. & Williams, J. K. (2017). Using Artificial Intelligence to Improve Real-Time Decision N-Making for High-Impact Weather. *American Meteorological Society*, 98 (10), 2073-2090.
- Meftahi Namin, S. & Salahi, B. (2013). Analysis of statistical and synoptic characteristics of thunderstorms in Astara city. In: Abdullah Hassanzadeh. *Second International Conference on Climate Change and Impact on Agriculture and Environment*, (pp. 2920-2929). Urumia: Agriculture Research Center and Natural Resources of West Azarbaijan. (In Persian)
- Moosavi, M., Zarrin, A., Mofidi, A. & Hosseini, F. (2017). Investigating the relationship between the frequency of thunderstorms and temperature trend in Mashhad. *Geographical Researches Quarterly*, 32 (3), 75-87. (In Persian)
- Mostajabi, A. H., Finney, D., Rubinstein, M. & Rachidi, F. (2019). Nowcasting lightning occurrence from commonly available meteorological parameters using machine learning techniques. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2 (1), 1-15.
- Nasiri Ghalebini, S., Salahi, B., Rasouly, A. A. & Khoshakhlagh, F. (2019). Modeling spatial distribution of thunderstorm rainfalls in mountainous area of the Northwest Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 51 (1), 149-162. (In Persian)
- Qiu, T., Zhang, S., Zhou, H., Bai, X. & Liu, P. (2013). Application study of machine learning in lightning forecasting. *Journal of Technology*, 12 (21), 6031-6037.
- Rajeevan, M., Madhulatha, A., Rajasekhar, M., Bhate, J., Kesarkar, A., Kesarkar, A. & Appa Rao, B. V. (2012). Development of a perfect prognosis probabilistic model for prediction of lightning over south-east India. *Journal Earth System Science*, 121 (2), 355-371.
- Rasouly, A. A., Budagh Jamali, J. & Jalali, A. (2007). Spatial distribution of lightning rainfalls in North west Iran. *Humanities of Isfahan University*, 14 (22), 155-170. (In Persian)
- Rasouly, A. A. & Javan, K. H. (2012). Analysis of thunderstorm occurrence trends in the Western part of Iran applying Non-Parametric Statistical tests. *Geographical Space*, 12 (38), 111-126. (In Persian)
- Reap, R. M. (1994). Analysis and prediction of lightning strike distributions associated with synoptic map types over Florida. *Monthly Weather Review*, (122), 1698-1715.
- Zhang, Z., Krawczyk, B., Garcia, S., Rosales-Pérez, A. & Herrera, F. (2016). Empowering one-vs-one decomposition with ensemble learning for multiclass imbalanced data. *Knowledge Based System*, 106, 251-263.
- Zhu, Y. M., Lu, X. X. & Zhou, Y. (2007). Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the longchuanjiang river in the Upper Yangtze Catchment, China. *Geomorphology*, 84 (1), 111-125.



پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین

افشین یوسف گمرکچی^{۱*}، مهدی اکبری^۲، علیرضا حسن‌اقلی^۳، مهدی یونسی^۴

^۱ بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران

^۲ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۳ بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۴ گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

شوری خاک و شورشدن زمین‌ها، به‌مثابه یکی از مشکلات فراروی کشاورزی و منابع طبیعی، بسیار مهم است و باید با شناخت صحیح از پیشروی آن جلوگیری کرد. در این راستا کسب اطلاعات درباره وضعیت شوری خاک و پوشش گیاهی همچون میزان و پراکنش آن‌ها از اهمیت بسیاری دارد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده شوری خاک و پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شدت تحت تأثیر خصوصیات خاک از جمله شوری است؛ از این‌رو در پژوهش حاضر اثرات احداث زهکش حائل بر روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور در بازه زمانی پانزده‌ساله بررسی شده است. نتایج نشان داد احداث زهکش حائل در شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه نداشته است؛ به‌گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداده است. براساس نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری‌شده در خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای، باندهای ۵ و ۷ با شاخص نسبت جذب سدیم خاک پیش از احداث زهکش همبستگی بسیار معنی‌داری داشته و به همین ترتیب، دو باند یادشده پس از احداث زهکش، با شاخص هدایت الکتریکی خاک همبستگی داشته است. درواقع شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز باشند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند؛ همچنین نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی در محدوده شوره‌زار نشان داد که شاخص شوری خاک، ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است.

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۲ مهر ۱۳۹۸

پذیرش ۸ اسفند ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۲۸ اسفند ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

دشت قزوین، سنجش از دور، شاخص پوشش گیاهی، شاخص شوری، شوری خاک.

استناد: یوسف گمرکچی، افشین؛ اکبری، مهدی؛ حسن‌اقلی، علیرضا؛ یونسی، مهدی (۱۳۹۹). پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۱)، ۵۲-۳۷.

doi: [10.22126/GES.2020.4434.2103](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4434.2103)

مقدمه

یکی از روش‌های پایش شوری، داده‌برداری زمینی است که به وقت و هزینه زیادی نیاز دارد، به‌ویژه اگر نظارت در سطح گسترده و در چندین بازه زمانی صورت گیرد؛ افزون بر این مشکل، به‌طور معمول داده‌های اندازه‌گیری زمینی در گذشته قابل دسترس نبوده که در این صورت، بررسی روند تغییرات خصوصیات خاک در طی زمان‌های گذشته غیر ممکن خواهد شد. روش سنجش از دور، راه جایگزینی برای برطرف کردن این مشکلات ارائه کرده است. با استفاده از این روش و داده‌های زمینی و آزمایشگاهی می‌توان تغییرات شوری خاک با زمان را بررسی و پایش کرد (مترینخت و زینک^۱، ۲۰۰۳). بازتاب طیفی انواع نمک‌ها در سطح خاک در مطالعات متعددی بررسی شده و به‌مثابه شاخص مستقیمی در سنجش از دور استفاده شده است (هیوت^۲ و همکاران، ۲۰۰۲؛ خان^۳ و همکاران، ۲۰۰۵؛ الحمیدی و گلن^۴، ۲۰۰۸)؛ با این حال، وقتی رطوبت خاک بالا بوده یا لایه نمکی در سطح خاک قابل مشاهده نباشد، یا نمک با سایر اجزای خاک مخلوط شده باشد، رویکرد تشخیص مستقیم شوری پیچیده‌تر خواهد شد (الحق^۵، ۲۰۱۶)؛ اما پوشش گیاهی و گیاهان شورپسند می‌توانند به‌منزله نشانه‌ای از شوری خاک، برای تشخیص غیر مستقیم و شناسایی مناطق شور براساس بازتاب طیفی گیاهان باشند (مومی‌پور، ۱۳۹۷).

بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در دهه‌های گذشته به‌منظور ارزیابی شوری خاک براساس مطالعات مستقیم، در مقیاس کوچک و در دوره‌های زمانی کوتاه انجام گرفته است. این درحالی است که مشخص کردن تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در محدوده‌های وسیع اهمیت بسیاری در شناسایی و رفع مشکلات کشاورزی، زیست‌محیطی و برنامه‌های توسعه پایدار دارد. از این‌رو به‌منظور شناسایی تغییرات مکانی مقدار شوری خاک و رابطه آن با ساختارهای چشم‌انداز در مناطق وسیع‌تر باید به فناوری‌هایی با مقیاس زمانی و مکانی مناسب مجهز شد. فناوری سنجش از دور با قابلیت بالا در تولید به‌روز تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی، با پوشش وسیع و دامنه متنوع قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی، پتانسیل ویژه‌ای در تهیه نقشه‌های کاربردی براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. بر همین اساس نقشه شوری خاک با استفاده از فناوری سنجش از دور در بعضی استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور از جمله یزد، قزوین، البرز، خراسان، فارس، سمنان، آذربایجان شرقی، خوزستان و غیره انجام گرفته است (دشتکیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ شیرازی و همکاران، ۱۳۸۹؛ دائم‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰؛ نوحه‌گر و زارع، ۱۳۹۱؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مومی‌پور، ۱۳۹۷). نتایج این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از داده‌های دورسنجی همراه با داده‌های زمینی برای شناسایی نواحی شور، ابزار قدرتمندی هستند و بیشتر نواحی شور که با استفاده از داده‌های دورسنجی مشخص شده، با همان مواردی متناسب هستند که براساس مشاهدات زمینی تعیین شده‌اند؛ همچنین الگوهای مکانی و زمانی شوری خاک نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل پهنه‌بندی هستند (کرم و همکاران، ۱۳۹۸).

نکته مهم آن است که ترکیبی از سنجش از دور و اندازه‌گیری زمینی شوری خاک، روش مناسبی برای پیش‌بینی شوری خاک است (اناج^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). هرچند تحلیل شوری خاک عمقی، یکی از عوامل محدودکننده کاربرد سنجش از دور در برآورد شوری خاک عنوان شده است (سینگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۰).

- 1- Metternicht & Zinck
- 2- Huete
- 3- Khan
- 4- Alhammadi & Glenn
- 5- Elhag
- 6- Ennajia
- 7- Singh

مهم‌ترین مشکلات تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سنجش از دور را می‌توان رفتار طیفی نمک‌های مختلف، تغییرات زیاد شوری در سطح، تغییر شوری بر اثر گذشت زمان، تداخل با پوشش گیاهی و اختلاط با دیگر عوامل سطحی نام برد (مترنیخت و زینک، ۲۰۰۳). به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است و همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شوره‌زارها حاصل شود (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۲۳). به همین دلیل روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد (مرادیان و همکاران، ۱۳۹۶)؛ اما به‌طور معمول خاک‌های شور مناطق خشک به‌ویژه زمانی که پوسته نمکی در سطح خاک تشکیل می‌شود، بازتاب طیفی بالایی را نشان می‌دهد؛ از سوی دیگر، به‌وسیله شاخص‌های پوشش گیاهی نیز می‌توان به‌طور غیر مستقیم مناطق شور را مشخص کرد؛ زیرا در مناطقی که پوشش گیاهی ندارند، احتمال شوری خاک زیاد است. به‌طوری‌که روابط منفی معنی‌دار بین تصاویر شاخص پوشش گیاهی و شاخص شوری خاک^۱ می‌تواند تأثیر ارتباط طولانی‌مدت بین تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی را نشان دهد (البد^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین اطلاعات پوشش گیاهی، میزان رطوبت خاک و کانی‌شناسی عناصر خاک می‌توانند دقت نقشه‌های نهایی شوری خاک را به‌مراتب افزایش دهند (انگدروک اسفاو^۳ و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به موقعیت شوره‌زار مرکزی دشت قزوین و اثرگذاری این محدوده بر زمین‌های کشاورزی حاشیه‌ای دشت قزوین از یک‌سو و از دیگر سو به‌دلیل مرز تداخل جبهه آب شور و شیرین در محدوده شوره‌زار مرکزی، پژوهش‌های متعددی در آن انجام گرفته است. این مسئله پس از احداث زهکش حائل در منطقه شوره‌زار، بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲؛ افلاطونی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳؛ ستوده‌نیا و جعفری، ۱۳۹۵؛ واعظی، ۱۳۹۵). نکته مهم آن است که در طی چند سال اخیر به‌دلیل بروز مشکلات زیست‌محیطی و ایجاد کانون‌های غبار در منطقه شوره‌زار مرکزی دشت قزوین، مباحث مرتبط با بررسی پوشش گیاهی و مسائل زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته، ولی در پژوهش‌های انجام‌شده به‌طور عمده اثربخشی احداث زهکش حائل، از منظر هیدرولیکی بررسی شده یا روند تغییرات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مد نظر بوده است؛ اما هدف نوشتا پیش رو بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور در دو بازه زمانی پیش از احداث زهکش حائل و پس از احداث آن است. به‌گونه‌ای که روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی در یک بازه زمانی پانزده‌ساله بررسی شده است.

معرفی منطقه مورد بررسی

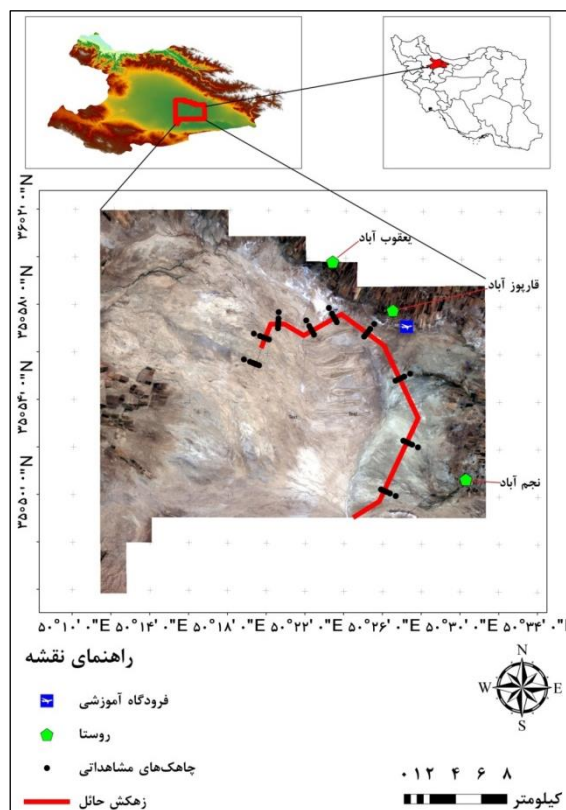
منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در بخشی از استان قزوین و در ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب تهران قرار دارد که شامل حاشیه شوره‌زار قزوین با محدوده جغرافیایی ۵۰° ۱۰' تا ۵۰° ۳۴' طول شرقی و ۳۵° ۴۶' تا ۳۶° ۰۲' عرض شمالی و ارتفاع بین ۱۱۳۵ تا ۱۱۴۵ متر از سطح دریا است (شکل ۱). شهرهای مهم مجاور منطقه در شمال غربی قزوین، تاکستان در غرب، آبیک در شمال شرقی و دانسفهان در جنوب غربی است. شوره‌زار مرکزی دشت قزوین حدود ۶۰۰۰۰ هکتار وسعت دارد که وسعت هسته مرکزی آن حدود ۲۰۰۰۰ هکتار است. حدود ۹۵٪ از زمین‌های این محدوده هدایت الکتریکی^۴ بیش از ۲۰ دسی زیمنس بر متر و ۶۵٪ از زمین‌ها، هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰ دسی زیمنس بر متر دارند (مهندسین مشاور سامان آبراه، ۱۳۸۹: ۱۶).

1- Salinity Index (SI)

2- Allbed

3- Engdawork Asfaw

4- Electrical Conductivity (EC)



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از محدوده شورزار دشت قزوین

شور شدن زمین‌ها در شرایط حاکم بر شورزار دشت قزوین و توسعه آن با پایین رفتن سطح ایستابی در منطقه، مشابه شرایط تداخل آبخوان‌های آب شور و شیرین در سواحل دریاهاست (ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). در این مناطق با پایین رفتن سطح ایستابی در دشت، شوری به سمت بالادست (آبخوان شیرین) توسعه می‌یابد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت در محدوده باتلاق و شورزار مرکزی دشت قزوین، آبخوان قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد و به‌دلیل شرایط زمین‌شناسی سنگ کف و انباشته شدن رسوبات و تخلیه آب‌های زیرزمینی از دشت قزوین و دشت هشتگرد، باتلاق شکل گرفته که در اثر سالیان متمادی و تبخیر شدید، به شورزار تبدیل شده است. بر این اساس، به‌منظور کنترل پیشروی جبهه آب شور به سمت زمین‌های کشاورزی دشت قزوین، زهکش حائل شورزار مرکزی قزوین به طول ۴۵ کیلومتر ساخته شده که در حال حاضر شورابه موجود از زهکش احداثی تخلیه می‌شود (ستوده‌نیا و جعفری، ۱۳۹۵).

در محدوده شورزار بیشتر گونه‌های مقاوم به شوری رشد کمی داشته و تنها در ماه‌هایی که میزان بارندگی افزایش می‌یابد و باران تاحدودی شوری خاک را می‌شوید، زمان کوتاهی در اختیار گیاهانی با مقاومت به شوری متوسط تا کم و با دوره رویشی اندک قرار می‌گیرد؛ سپس با افزایش شوری خاک به بذر نشسته و خشک می‌شوند و تنها گیاهان مقاوم به شوری در این محدوده طی ماه‌های باقی‌مانده سال ماندگار می‌شوند. گیاهان این منطقه جزو گیاهان شورپسند و به‌طور کلی شامل گیاه چندساله علفی هالوکنمون^۱ و گیاه یکساله علفی سالسولا^۲ و گیاه گرامینه یک‌ساله هستند؛ همچنین گراس چندساله آلورپس^۳ و گراس‌های یک‌ساله مانند بورمس^۴ و هوردم^۵ و

- 1- Halocnemum
- 2- Salsola
- 3- Aeluropus
- 4- Bromus
- 5- Hordeum

به‌طور پراکنده در منطقه قابل مشاهده هستند (واعظی، ۱۳۹۵: ۵۸).

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از فنّ سنجش از دور در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه، از داده‌های زمینی و تصاویر سنجنده نقشه‌بردار موضوعی بهبودیافته^۱ لندست ۷ استفاده شده است. درمیان ماهواره‌های محیطی، تصاویر ماهواره لندست با دراختیارداشتن اسکنرهای چندطیفی و ارائه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۳۰ متر به‌طور گسترده به‌منظور تعیین پارامترهای بیوفیزیکی پوشش گیاهی و تحلیل شوری خاک به‌کار گرفته شده‌اند (نورسا^۲ و همکاران، ۲۰۱۲)؛ همچنین تصاویر این سنجنده به‌دلیل دوره بازدید شانزده‌روزه، در بررسی وضعیت پوشش گیاهی (سیال^۳ و همکاران، ۲۰۱۵) و پایش رشد و نمو گیاهی (چنگ و وو^۴، ۲۰۱۱) مناسب هستند. عملیات پیش‌پردازش شامل انواع تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و هم‌مختصات‌سازی روی هریک از تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. داده‌های سنجنده لندست پس از سال ۲۰۰۳ به‌دلیل از کارافتادن سیستم SLC^۵، نوارهای بدون اطلاعات دارند (علی و محمد^۶، ۲۰۱۳). که بخشی از منطقه مورد مطالعه در این محدوده واقع شده است. برای پرکردن نوارها، ابزار Gap-fill به نرم‌افزار انوی^۷ افزوده شد و تصحیح تصاویر انجام گرفت. در مرحله بعد، شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی مورد نظر پس از محاسبه، روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شده و به این ترتیب نقشه الگوی تراکم پوشش گیاهی و شوری خاک براساس هریک از این شاخص‌ها تهیه شده است. در نوشتار پیش رو تصاویر ماهواره لندست در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین در طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ شمسی) استفاده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. تاریخ زمانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده براساس سال شمسی

ردیف	بهار	تابستان	پائیز	زمستان
۱	-	-	-	۱۳۸۲/۱۲/۸
۲	۱۳۸۳/۰۱/۲۷	۱۳۸۳/۰۵/۱۵	۱۳۸۳/۰۹/۵	۱۳۸۳/۱۱/۹
۳	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۱۳۸۴/۰۶/۲	۱۳۸۴/۰۹/۷	۱۳۸۴/۱۱/۲۷
۴	-	۱۳۸۵/۰۴/۳ و ۱۳۸۵/۰۵/۲۰	۱۳۸۵/۰۹/۱۰	۱۳۸۵/۱۰/۲۸
۵	۱۳۸۶/۰۳/۲۱	۱۳۸۶/۰۵/۲۳	۱۳۸۶/۰۸/۱۱	۱۳۸۶/۱۲/۰۳
۶	۱۳۸۷/۰۲/۲۳	۱۳۸۷/۰۵/۲۶	۱۳۸۷/۰۷/۲۸	۱۳۸۷/۱۰/۱۸
۷	۱۳۸۸/۰۲/۲۵	۱۳۸۸/۰۵/۱۲	۱۳۸۸/۰۸/۱۶	۱۳۸۸/۱۱/۲۲
۸	۱۳۸۹/۰۲/۲۸	۱۳۸۹/۰۴/۳۰	۱۳۸۹/۰۸/۱۹	۱۳۸۹/۱۲/۲۷
۹	۱۳۹۰/۰۲/۱۵	۱۳۹۰/۰۶/۱۹	۱۳۹۰/۰۷/۲۰	۱۳۹۰/۱۰/۲۶
۱۰	۱۳۹۱/۰۲/۲	۱۳۹۱/۰۶/۶	۱۳۹۱/۰۸/۲۵	۱۳۹۱/۱۲/۱
۱۱	۱۳۹۲/۰۳/۵	۱۳۹۲/۰۶/۲۴ و ۱۳۹۲/۰۵/۱۵	۱۳۹۲/۰۷/۲۵	۱۳۹۲/۱۲/۳
۱۲	۱۳۹۳/۰۳/۲۴	۱۳۹۳/۰۵/۱۰ و ۱۳۹۳/۰۵/۱۸	۱۳۹۳/۰۸/۳۰	۱۳۹۳/۱۱/۴
۱۳	۱۳۹۴/۰۲/۱۰	۱۳۹۴/۰۵/۲۹ و ۱۳۹۴/۰۵/۲۱	۱۳۹۴/۰۹/۳	۱۳۹۴/۱۰/۲۱
۱۴	۱۳۹۵/۰۳/۱۴	۱۳۹۵/۰۶/۱	۱۳۹۵/۰۸/۲۰	-
۱۵	۱۳۹۶/۰۳/۱۶	۱۳۹۶/۰۵/۱۸	۱۳۹۶/۰۸/۲۲	۱۳۹۶/۱۰/۲۶
۱۶	۱۳۹۷/۰۳/۱۹	۱۳۹۷/۰۶/۶	۱۳۹۷/۰۸/۹	-

1- Enhanced Thematic Mapper (ETM+)

2- Nuarsa

3- Siyal

4- Cheng & Wu

5- Scan Line Corrector (SLC)

6- Ali & Mohammed

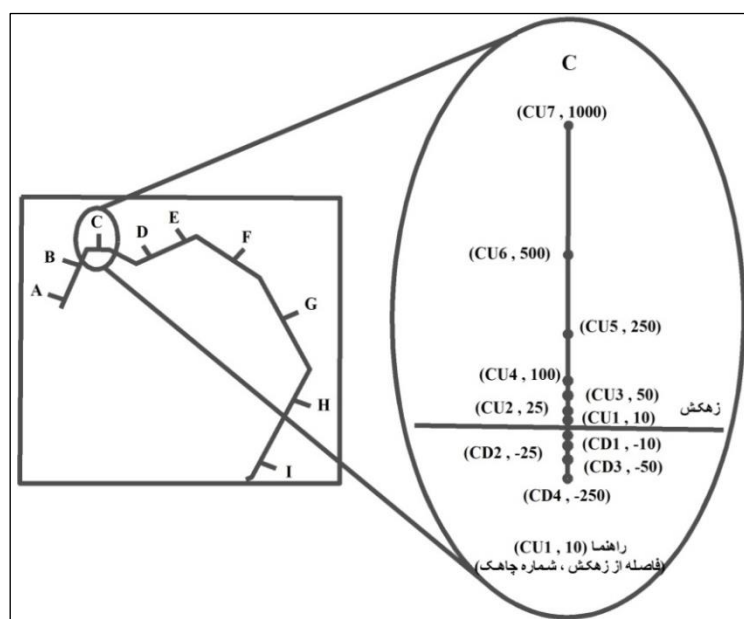
7- ENVI

پس از تحلیل شاخص‌های سنجش از دور در محدوده مطالعاتی، اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی مقایسه شده است. داده‌های زمینی مورد استفاده در پژوهش حاضر با اطلاعات ۹۹ چاهک مشاهداتی حفر شده در حاشیه زهکش حائل شوره‌زار مرتبط بوده که در طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱ در این محدوده ثبت شده است. این چاهک‌ها در نه راستای عمود بر زهکش (A تا I) و ۱۱ چاهک در هر راستا قرار دارند. در بالادست هر مقطع هفت چاهک به فاصله ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و در پایین دست چهار چاهک به فاصله ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۲۵۰ متری از خط زهکش حفر شده است (شکل ۲).

خاک‌های خیلی شور و شوره‌زارها تنوع ریخت‌شناختی و شیمیایی زیادی دارند؛ بنابراین به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است. همین مسئله موجب شده بازتاب‌های طیفی مختلفی از شوره‌زارها حاصل شود. به همین دلیل روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد. بر این اساس، در نوشتار پیش رو از شاخص‌های مختلفی به منظور پایش شوری خاک در محدوده شوره‌زار استفاده شده است؛ از سوی دیگر، به دلیل اینکه بازتاب طیفی و تراکم پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه با پوشش گیاهی زمین‌های کشاورزی و باغی بسیار متفاوت است، از چند شاخص پوشش گیاهی به منظور پایش استفاده شده است (جدول ۲).

نتایج

به منظور تحلیل وضعیت شوری و پوشش گیاهی ابتدا همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد (جدول ۳). براساس نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده در خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای، باندهای ۵ و ۷ با شاخص نسبت جذب سدیم^۱ خاک قبل از احداث زهکش همبستگی بسیار معنی‌داری داشته و به همین ترتیب دو باند مذکور بعد از احداث زهکش، با شاخص هدایت الکتریکی خاک همبستگی داشته است. درواقع شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز باشند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند.



شکل ۲. موقعیت نقاط مربوط به مشاهده زمینی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار

جدول ۲. شاخص‌های شوری خاک و پوشش گیاهی مورد استفاده در پژوهش

شاخص	تعریف شاخص	منبع
شوری خاک	$NDSI = (B3 - B4) / (B3 + B4)$	خان و همکاران (۲۰۰۵)
	$BI = \sqrt{B_3^2 + B_4^2}$	خان و همکاران (۲۰۰۵)
	$SI = \sqrt{B_1 \times B_3}$	دهنی و لونیس ^۱ (۲۰۱۲)
	$SI_1 = \sqrt{B_2 \times B_3}$	دهنی و لونیس (۲۰۱۲)
	$SI_2 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2 + B_4^2}$	دهنی و لونیس (۲۰۱۲)
	$SI_3 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2}$	دهنی و لونیس (۲۰۱۲)
پوشش گیاهی	$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$	رز ^۲ و همکاران (۱۹۷۴)
	$LAI = -\frac{1}{0.91} \ln \frac{0.69 - SAVI}{0.59}$	خان و همکاران (۲۰۰۵)
	$EVI = ((2.5) \times ((B5 - B4) / (B5 + 6 \times B4 - 7.5 + B2 + 1)))$	هیوت و همکاران (۲۰۰۲)
	$SAVI = (1 + L) \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{L + \alpha_1 + \alpha_2}$	هیوت (۱۹۸۸)
	$GVI = -0.1603B_1 - 0.2819B_2 - 0.4934B_3 - 0.7940B_4 - 0.0002B_5 - 0.1446B_7$	کرودن ^۳ و همکاران (۲۰۱۲)

جدول ۳. نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای

دوره زمانی	سال	عنصر / شاخص	باندهای تصویر ماهواره					
			b7	b5	b4	b3	b2	b1
پیش از احداث زهکش	۱۳۸۹	سدیم	-۰/۰۸	-۰/۱۵	۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۲۰	-۰/۱۴
		کلر	-۰/۲۳	-۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۲۰
		SAR	۰/۳۷**	۰/۳۵**	۰/۱۷	۰/۲۳*	۰/۲۴*	۰/۱۹
		EC	۰/۲۲	-۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۶
پس از احداث زهکش	۱۳۹۱	سدیم	-۰/۴۰	-۰/۳۵	-۰/۳۷	-۰/۲۶	-۰/۳۹	-۰/۳۱
		کلر	-۰/۴۷	-۰/۴۴	-۰/۳۹	-۰/۳۷	-۰/۴۸	-۰/۴۱
		SAR	-۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۷
		EC	-۰/۶۸*	-۰/۶۴*	-۰/۵۴	-۰/۴۹	-۰/۶۳*	-۰/۵۴

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

در گام بعد شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی SI_2 , SI_1 , SI , $SAVI$, $NDVI$, $NDSI$, LAI , GVI , EVI , BI بررسی شد. به منظور بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی و SI_3 در طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ بررسی شد. به منظور بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین، مقادیر عددی شاخص‌های مورد بررسی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده و تغییرات شاخص‌ها در دو بازه زمانی پیش از احداث زهکش و پس از احداث آن، براساس آزمون آماری مقایسه میانگین بررسی شد (جدول ۴).

نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور، پیش و پس از احداث زهکش حائل نشان داد که احداث زهکش حائل در منطقه شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تأثیر معنی‌داری بر روند تغییرات شوری و پوشش گیاهی منطقه نداشته به گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداده است. مهم‌ترین دلیل این امر را می‌توان عدم اجرای

1- Dehni & Lounis

2- Rouse

3- Cruden

کامل طرح زهکش حائل در محدوده شوره‌زار مرکزی و محدوده تأثیر محدود زهکش احداث شده در منطقه، عنوان کرد.

نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین درمقیاس تغییرات فصلی نشان داد که شاخص‌های سنجش از دور مرتبط با پایش وضعیت شوری خاک شامل شاخص‌های BI، SI، SI1، SI2 و SI3 در سطح معنی‌داری به تغییرات فصلی وضعیت خاک سطحی، عکس‌العمل نشان داده‌اند. ازسوی دیگر، شاخص‌های مرتبط با پایش وضعیت پوشش گیاهی، در تغییر وضعیت پوشش گیاهی از فصل بهار به تابستان، اختلاف معنی‌داری از خود نشان داده‌اند (جدول ۵).

با توجه به اطلاعات زمین‌مرجع ثبت‌شده در محدوده شوره‌زار، آزمون همبستگی بین شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی انجام گرفت. نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی نشان داد در محدوده شوره‌زار شاخص SI ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است (جدول ۶).

نتایج همبستگی میانگین نشان داد که شاخص GVI همبستگی منفی بالایی با همه شاخص‌های شوری دارد؛ ولی بین شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی دیگر همبستگی کمتری وجود داشته است (جدول ۷). بر این اساس، نقشه تغییرات مکانی دو شاخص SI و GVI در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تهیه شده است (شکل ۳ و ۴).

جدول ۴. نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور، پیش و پس از احداث زهکش حائل

شاخص	درجه آزادی	میانگین				انحراف معیار	مقدار t	سطح معنی‌داری P
		پیش از احداث زهکش	پس از احداث زهکش	پیش از احداث زهکش	پس از احداث زهکش			
BI	۵۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۶۰۰	۰/۵۹۹	۱/۳۳	۰/۱۹	
EVI	۵۷	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۱۳۵	۰/۰۹۵	۰/۸۷۹	۰/۳۸	
GVI	۵۷	-۰/۴۳	-۰/۴۷	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲	۱/۶۲۸	۰/۱۰	
LAI	۵۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۴۷۹	۰/۳۳۲	۱/۰۳۹	۰/۳۰	
NDSI	۵۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۱۳۴	۰/۰۸۷	-۱/۳۸۵	۰/۱۷	
NDVI	۵۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۳۴	۰/۰۸۷	۱/۳۸۵	۰/۱۷	
SAVI	۵۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۰۸	۰/۰۶۸	۰/۶۰۷	۰/۵۴	
SI	۵۷	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۸۰	۰/۲۷۹	-۱/۳۲۹	۰/۱۸	
SI1	۵۷	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۳۴۴	۰/۳۴۸	-۱/۳۸۵	۰/۱۷	
SI2	۵۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۶۷۰	۰/۶۶۹	-۱/۳۵۱	۰/۱۸	
SI3	۵۷	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۴۹۶	۰/۵۰۲	-۱/۴۲۱	۰/۱۶	

جدول ۵. نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور در مقیاس تغییرات فصلی

تفاوت میانگین				
شاخص	زمستان به بهار	بهار به تابستان	تابستان به پائیز	پائیز به زمستان
BI	-۰/۰۹۳**	-۰/۰۲۶*	۰/۰۷۷**	۰/۰۴۲*
EVI	-۰/۰۱۱*	۰/۰۱۱*	۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۳ ^{ns}
GVI	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۵*	-۰/۰۰۶*	-۰/۰۰۴ ^{ns}
LAI	-۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۴۳*	۰/۰۰۷ ^{ns}	-۰/۰۰۹ ^{ns}
NDSI	۰/۰۰۵ ^{ns}	-۰/۰۱۲*	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
NDVI	-۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۱۲*	-۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۵ ^{ns}
SAVI	-۰/۰۱۱*	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۱ ^{ns}
SI	-۰/۰۴۱**	-۰/۰۱۲*	۰/۰۳۳**	۰/۰۱۹*
SI1	-۰/۰۵۴**	-۰/۰۱۶*	۰/۰۴۴**	۰/۰۲۵*
SI2	-۰/۰۱۰۶**	-۰/۰۲۸*	۰/۰۸۶**	۰/۰۴۸*
SI3	-۰/۰۷۷**	-۰/۰۲۳*	۰/۰۶۴**	۰/۰۳۶*

جدول ۶. نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی

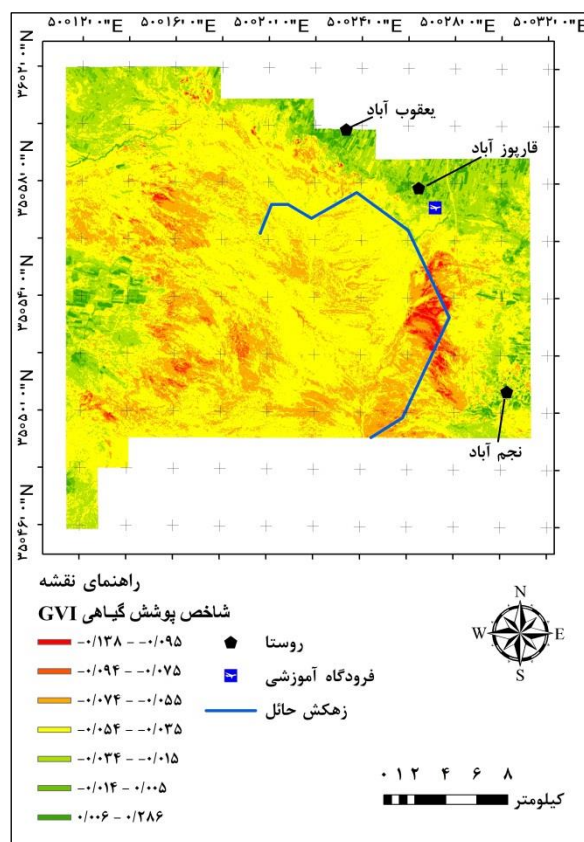
دوره زمانی	شاخص	BI	EVI	GVI	LAI	NDSI	NDVI	SAVI	SI	SI1	SI2	SI3
پیش از احداث زهکش	EC	-۰/۲۰	-۰/۲۶*	۰/۱۵*	-۰/۲۱*	۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۲۴*	-۰/۲۰**	-۰/۲۱	-۰/۲۰	-۰/۲۰
پس از احداث زهکش	SAR	-۰/۰۶	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۲۰*	۰/۳۱*	-۰/۳۱*	-۰/۳۰*	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۲
پس از احداث زهکش	EC	-۰/۲۶	-۰/۳۹	۰/۲۴*	-۰/۴۲	۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۲۷	-۰/۲۸**	-۰/۱۸	-۰/۳۳	-۰/۲۵
پس از احداث زهکش	SAR	۰/۳۵	-۰/۴۱	-۰/۰۸	-۰/۳۸	۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۱

جدول ۷. همبستگی بین میانگین شاخص پوشش گیاهی و شوری خاک در فصل‌های مختلف سال

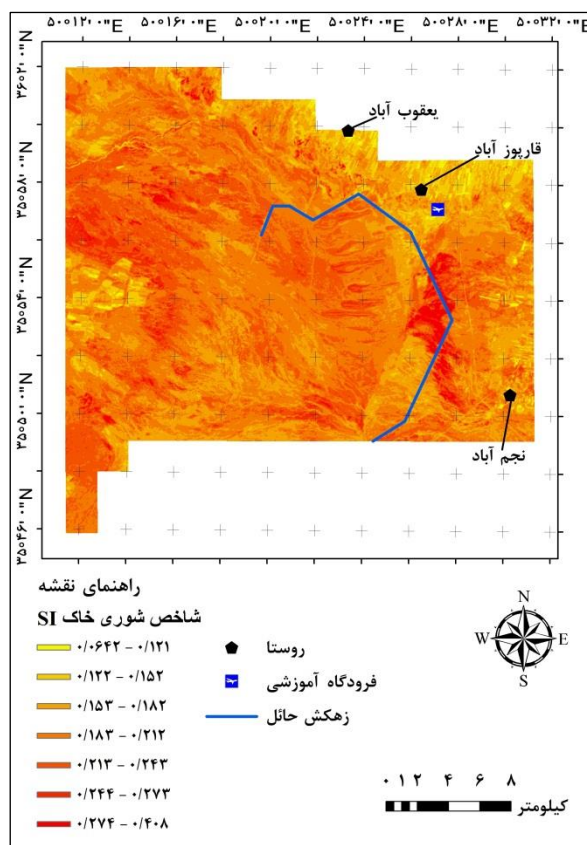
فصل	شاخص	BI	SI	SI1	SI2	SI3
زمستان	EVI	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۷۲
	GVI	-۰/۸۴	-۰/۹۰	-۰/۸۸	-۰/۸۶	-۰/۸۸
	LAI	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۶۸
	NDSI	-۰/۱۱	-۰/۰۶	-۰/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۰۷
	NDVI	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷
	SAVI	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۶
بهار	EVI	-۰/۲۷	-۰/۳۷	-۰/۴۰	-۰/۲۸	-۰/۴۱
	GVI	-۰/۶۴	-۰/۷۹	-۰/۷۸	-۰/۶۷	-۰/۷۸
	LAI	-۰/۲۹	-۰/۳۹	-۰/۴۲	-۰/۳۰	-۰/۴۳
	NDSI	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۵۳
	NDVI	-۰/۳۷	-۰/۵۱	-۰/۵۲	-۰/۳۹	-۰/۵۳
	SAVI	-۰/۲۲	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۲۵	-۰/۳۹
تابستان	EVI	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۱۵
	GVI	-۰/۷۵	-۰/۸۳	-۰/۸۰	-۰/۷۶	-۰/۸۰
	LAI	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۲
	NDSI	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۲
	NDVI	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۰/۲۲	-۰/۱۶	-۰/۲۲
	SAVI	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۶
پاییز	EVI	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۷
	GVI	-۰/۸۲	-۰/۹۲	-۰/۸۷	-۰/۸۴	-۰/۸۷
	LAI	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۲۲
	NDSI	۰/۳۲	۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۴۰
	NDVI	-۰/۳۲	-۰/۴۶	-۰/۴۱	-۰/۳۵	-۰/۴۰
	SAVI	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۷

بحث

خاک‌های خیلی شور و شوره‌زارها تنوع ریخت‌شناختی و شیمیایی زیادی دارند. به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است و همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شوره‌زارها حاصل شود. به همین دلیل، روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد (مرادیان و همکاران، ۱۳۹۶). تفکیک‌پذیری خاک‌های شور به وسیله سنجش از دور، به ویژگی‌های بازتاب طیفی این خاک‌ها برمی‌گردد.



شکل ۳. تغییرات شاخص GVI در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۶



شکل ۴. تغییرات شاخص SI در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۶

مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری‌های رادیومتری متعدد نشان‌دهنده آن است که در بیشتر موارد، خاک‌های شور نسبت به خاک‌های غیر شور، بازتاب طیفی بیشتری در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف دارند (مسعودی، ۱۳۸۰). فریفته^۱ و همکاران (۲۰۰۵) ماهواره لندست را یکی از مناسب‌ترین ماهواره‌ها برای بررسی ویژگی‌های خاک، پدیده‌های تخریب خاک (مثل شورشدن) و تعیین رطوبت خاک معرفی کردند. آن‌ها داشتن تعداد نوارهای زیاد، محدوده طیفی وسیع از محدوده مرئی تا مادون قرمز حرارتی را از دلایل این امر بیان کردند. علوی‌پناه^۲ و همکاران (۲۰۱۰) به نقش کلیدی نوار حرارتی لندست در تشخیص خاک‌های شور اشاره کردند. به‌گونه‌ای که با حذف این نوار، صحت طبقه‌بندی خاک‌های شور به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

بازتاب طیفی در پوسته‌های غیر شور کمتر و اندکی شکل منحنی طیفی آن‌ها از پوسته‌های شور متفاوت است (صفدر^۳ و همکاران، ۲۰۱۹)؛ همچنین خاک‌های شور خشک نسبت به خاک‌های شور مرطوب بازتاب بیشتری داشته که این رفتار به‌علت اثر کاهندگی بازتاب‌ها به‌وسیله رطوبت است. به‌طور کلی ناحیه مادون قرمز حرارتی، بیشتر برای تعیین رطوبت و شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌کار می‌رود. در پژوهش حاضر نیز شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز بودند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند؛ به‌عبارتی، رنگ روشن خاک به‌دلیل شور و سدیک‌بودن از یک‌سو و کمبود کربن آلی در خاک، از دیگرسو باعث همبستگی باندهای ۵ و ۷ تصاویر ماهواره‌ای با مقادیر اندازه‌گیری‌شده عناصر در خاک شده است. عبدی (۱۳۸۳) نیز وجود همبستگی بالای ارقام رقومی باند ۷ تصویر ماهواره لندست با مقادیر متناظر عددی شوری خاک را در محدوده شوره‌زار دشت قزوین گزارش کرده بود؛ از سوی دیگر، پوشش گیاهی در بازتاب طیفی خاک‌های شور تأثیر زیادی می‌گذارد و بازتاب طیفی خاک‌ها، تحت تأثیر پوشش گیاهی سبز قرار می‌گیرد. هرچند بقایای گیاهی خشک بر این محدوده تأثیری ندارند؛ درحالی‌که در محدوده طیفی مادون قرمز موج کوتاه، بقایای پوشش گیاهی به‌علت وجود سلولز و آب اثرات معنی‌داری بر بازتاب دارند؛ افزون بر این مترنیخت و زینک (۲۰۰۳) دریافتند که گیاهان هالوفیت، شاخص خوبی برای جداکردن نواحی شور و قلیا از مناطقی غیر شور است؛ اما موجب اختلاط بازتاب طیفی طبقه‌های شور و قلیا می‌شود. باوجود تأثیر گیاهان در بازتاب شوری، آن‌ها می‌توانند به‌مثابه شاخص غیر مستقیم در سنجش از دور خاک استفاده شوند؛ بر همین اساس، در پژوهش حاضر، بین داده‌های شاخص پوشش گیاهی همانند NDVI و هدایت الکتریکی خاک، بیشترین همبستگی (منفی) وجود دارد که تفکیک خاک‌های شور و قلیا را از مناطق غیر شور ممکن می‌سازد؛ اما مشکل تفکیکی خاک‌های شور و قلیا از یکدیگر، همچنان باقی است.

بهترین زمان برای تهیه داده‌های سنجش از دور (مرئی و مادون قرمز)، برای تشخیص نمک خاک و شوری خاک سطحی، پایان فصل خشک است؛ زیرا نمک‌ها در فصل تر شسته می‌شوند (زینالی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در نوشتار پیش رو در ماه‌های خشک سال بیشترین میزان همبستگی با شوری خاک را از خود نشان داد و در ماه‌های همراه با بارندگی، از میزان همبستگی این دو عامل کاسته شده است. برآورد شوری خاک براساس شاخص SI در موارد متعددی بررسی شده و بررسی‌ها نشان‌دهنده دقت مناسب این شاخص در برآورد شوری خاک سطحی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است (عبدی، ۱۳۸۳؛ اژیرابی و همکاران، ۱۳۹۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش حاضر، نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و

1- Farifteh

2- Alavi Panah

3- Safdar

داده‌های زمینی نشان داد در محدوده شورزار، شاخص SI ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است. لازم به ذکر است با توجه به دینامیک بودن پدیده شوری، می‌توان انتظار داشت رفتار بازتاب طیفی زمین‌های شور در طی سال‌های مختلف روند ثابتی را از خود نشان ندهد. به همین دلیل نتایج حاصل از این‌گونه پژوهش‌ها، برای همان منطقه و همان شرایط مطالعه قابل استناد است (مومی‌پور، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که احداث زهکش حائل در شورزار مرکزی دشت قزوین تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه نداشته است؛ به‌گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداده؛ به‌عبارتی شوری خاک و درصد پوشش گیاهی در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین در طی یک دوره پانزده‌ساله تغییرات محسوسی نداشته و این امر بدان معنی است که احداث زهکش به دلیل وسعت زیاد شورزار، تأثیر محسوسی در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین نداشته است؛ اما با توجه به خشک‌بودن منطقه و کمبود بارندگی و همچنین بروز خشکسالی فراگیر در آن، میزان آب شیرین برای آب‌شویی طبیعی زمین‌های اطراف زهکش محدود بوده و زهکش حائل، با ایجاد شیب هیدرولیکی، شدت جریان آب زیرزمینی را افزایش داده و باعث کاهش شوری خاک و تقویت پوشش گیاهی در محدوده تحت تأثیر زهکش حائل شده است.

با توجه به اینکه دشت قزوین یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌شود؛ گسترش زمین‌های شور، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تهدیدکننده کشاورزی منطقه به‌شمار می‌آید؛ بنابراین لازم است به‌منظور اصلاح و مدیریت زمین‌های شور در زمین‌های حاشیه شورزار، برنامه‌ریزی مناسبی در نظر گرفته شود. نکته مهم آن است که اصلاح و مدیریت مناطق شور نیاز به اطلاعات کمی، به‌هنگام و دقیق دارد که یکی از راه‌های دسترسی به این اطلاعات، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است که در مقایسه با روش تهیه نقشه‌های سنتی و معمول، توانایی تولید اطلاعات و نقشه‌های به‌هنگام و با هزینه کمتر را دارد؛ به‌عبارتی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص‌های شوری خاک و پوشش گیاهی براساس آن، دید کلی از یک منطقه را ارائه می‌دهند؛ اما باید داده‌های ماهواره‌ای را در هر زمان ممکن با نمونه‌های میدانی، واسنجی کرد. از آنجاکه وضعیت شوری خاک عمقی یکی از عوامل مهم در استقرار پوشش گیاهی منطقه است؛ بنابراین انجام مطالعاتی با تلفیق روش سنجش از دور، داده‌های ژئوفیزیکی و مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند به شناخت هرچه بیشتر وضعیت منطقه منجر شود.

سپاسگزاری

نوشتار پیش رو برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی خاص مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، به‌شماره مصوب ۹۴۱۱۱-۱۴-۵۱-۴ از محل اعتبارات سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین بوده است.

منابع

- احمدی، مجید؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آجی چای). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱ (۱)، ۸۵-۹۶.
- اژیرایی، رحیم؛ کامکار، بهنام؛ عبدی، امید (۱۳۹۴). مقایسه شاخص‌های مختلف استخراج‌شده از تصاویر ماهواره لندست برای پهنه‌بندی شوری خاک در مزرعه نمونه ارتش گرگان. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۵ (۱)، ۱۷۳-۱۸۶.

- اسکندری، لیلا؛ افلاطونی، محمد؛ فولادمند، حسین (۱۳۹۲). ارزیابی مدل PMWIN در پایین‌انداختن سطح ایستابی در حاشیه زهکش حائل شوره‌زار قزوین. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۷ (۳)، ۴۲۲-۴۳۱.
- افلاطونی، محمد؛ اسکندری، لیلا؛ دهقانی سانج، حسین (۱۳۹۳). واسنجی و تحلیل حساسیت رفتار هیدرولیکی آبخوان در شبیه‌سازی زهکش حائل دشت قزوین. *تحقیقات آب‌و خاک ایران*، ۴۵ (۳)، ۲۸۳-۲۹۱.
- خدادادی، مارال؛ عسکری، محمدصادق؛ سرمیدان، فریدون؛ رفاهی، حسینقلی؛ نوروزی، علی‌اکبر؛ حیدری، احمد؛ متین‌فر، حمیدرضا (۱۳۸۸). تهیه نقشه خاک‌های تحت تأثیر شوری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ در بخشی از دشت قزوین. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱ (۲)، ۹۹-۱۱۰.
- دائم‌پناه، راضیه؛ حق‌نیا، غلامحسین؛ علیزاده، امین؛ کریمی کارویه، علیرضا (۱۳۹۰). تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مهاباد. *آب‌و خاک*، ۲۵ (۳)، ۴۹۸-۵۰۸.
- دشتکیان، کاظم؛ پاک‌پور، مجتبی؛ عبدالمهی، جلال (۱۳۸۷). بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروس. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵ (۲)، ۱۳۹-۱۵۷.
- زینالی، محمد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ شهبازی، فرزین؛ اوستان، شاهین؛ ولی‌زاده کامران، خلیل (۱۳۹۵). ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل‌مبنا براساس داده‌های سنجنده TM. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۵ (۹۹)، ۱۲۷-۱۳۹.
- ستوده‌نیا، عباس؛ جعفری، محدثه؛ دانش کار آراسته، پیمان (۱۳۹۳). نقش زهکش حائل شوره‌زار مرکزی قزوین در کنترل شوری. *تحقیقات آب‌و خاک ایران*، ۴۵ (۴)، ۴۴۷-۴۵۲.
- ستوده‌نیا، عباس؛ جعفری، محدثه (۱۳۹۵). بررسی اثر زهکش حائل شوره‌زار قزوین بر سطح ایستابی منطقه با استفاده از مدل Seep/w. *تحقیقات آب‌و خاک ایران*، ۴۷ (۲)، ۲۳۷-۲۴۵.
- شیرازی، میترا؛ زهتابیان، غلامرضا؛ علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۹). امکان‌پذیری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در بررسی وضعیت آب، خاک، پوشش گیاهی منطقه نجم‌آباد ساوجبلاغ. *محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، ۶۳ (۱)، ۳۳-۵۰.
- عبدی، علی (۱۳۸۳). بررسی تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین. *پژوهش و سازندگی*، ۱۷ (۳)، ۳۳-۳۸.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۵). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). تهران: دانشگاه تهران.
- کرم، امیر؛ کیانی، طیبه؛ دادرسی سبزواری، ابوالقاسم؛ داورزنی، زهرا (۱۳۹۸). برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی و آمار مکانی در منطقه سبزواری. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷ (۴)، ۳۱-۵۳.
- مرادیان، شیرین؛ نبی‌اللهی، کمال؛ تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله (۱۳۹۶). پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از رگرسیون درختی و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه قروه استان کردستان. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۷ (۴)، ۱۱۵-۱۲۹.
- مسعودی، مسعود (۱۳۸۰). بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۸ (۴)، ۱۰-۲۱.
- مومی‌پور، مهدی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک شهرستان آبادان در بازه ۲۴ ساله با تصاویر ماهواره‌ای. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱ (۲۷)، ۴۷-۵۸.
- مهندسین مشاور سامان آبراه (۱۳۸۹). *مطالعات زهکشی حاشیه شوره‌زار دشت قزوین (جلد ۶، مطالعات زهکشی)*. قزوین: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین.
- نوحه‌گر، احمد؛ زارع، غلامرضا (۱۳۹۱). استخراج پهنه‌های شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان داراب). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱ (۱)، ۴۹-۶۴.
- نوروزی، علی‌اکبر؛ همائی، مهدی؛ فرشاد، عباس (۱۳۹۲). برآورد شوری خاک سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست:

مقایسه آمار کلاسیک با مدل‌های آمار مکانی. مرتع و آبخیزداری، ۶۶ (۴)، ۶۰۹-۶۲۰.
 واعظی، علیرضا (۱۳۹۵). مطالعه تأثیر زهکش حائل بر روی پویایی پوشش گیاهی در شورزار دشت مرکزی قزوین. تهران: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

References

- Abdi, A. (2004). An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain. *Pajouhesh & Sazandegi*, 17 (3), 33-38. (In Persian)
- Aflatouni, M., Eskandari, L. & Dehghanisanich, H. (2014). Calibration and Sensitivity Analysis of Hydraulic Behavior in Qazvin Plain Aquifer. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45 (3), 283-291. (In Persian)
- Ahmadi, M., Rezaei Moghadam, M. & Feizizadeh, B. (2017). Study indexes and mapping of soil salinity using remote sensing data (Case study: Aji Chay river delta). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8 (1), 85-96. (In Persian)
- Alavi Panah, S. K. (2006). *Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (Soil)*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)
- Alavi Panah, S. K., Goossens, R., Matinfar, H. R., Mohammadi, H., Ghadiri, M., Irannegad, H. & Alikhah Asl, M. (2010). The efficiency of Landsat Tm and Etm⁺ thermal data for extracting soil information in arid regions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10 (5), 439-460.
- Alhammadi, M. S. & Glenn, E. P. (2008). Detecting date palm trees health and vegetation greenness change on the eastern coast of the United Arab Emirates using SAVI. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (6), 1745-1765.
- Ali, S. M. & Mohammed, M. J. (2013). Gap-filling restoration methods for ETM⁺ sensor image. *Iraqi Journal of Science*, 54 (1), 206-214.
- Allbed, A., Kumar, L. & Sinha, P. (2018). Soil salinity and vegetation cover change detection from multi-temporal remotely sensed imagery in Al Hassa Oasis in Saudi Arabia. *Geocarto International*, 33 (8), 830-846.
- Azhirabi, R., Kamkar, B. & Abdi, O. (2015). Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity in the army field of Gorgan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5 (1), 173-186. (In Persian)
- Cheng, Q. & Wu, X. (2011). Mapping paddy rice yield in Zhejiang Province using MODIS spectral index. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35 (6), 579-589.
- Cruden, B. A., Prabhu, D. & Martinez, R. (2012). Absolute radiation measurement in Venus and mars entry conditions. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 49 (6), 1069-1079.
- Daempanah, R., Haghnia, G., Alizadeh, A. & Karimi, A. (2011). Mapping Salinity and Sodcity of Surface Soil by Remote Sensing and Geostatistic Methods in South Side of Mah Valat County. *Journal of Water and Soil*, 25 (3), 498-508. (In Persian)
- Dashtekian, K., Pakparvar, M. & Abdollahi, J. (2008). Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast. *Iranian journal of Rangeland and Desert Research*, 15(2), 139-157. (In Persian)
- Dehni, A. & Lounis, M. (2012). Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188-198.
- Elhag, M. (2016). Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *Sensors*, 3, 1-8.
- Engdawork Asfaw, K., Suryabhagavan, V. & Argaw, M. (2018). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17 (3), 250-258.
- Ennajia, W., Barakata, A., Karaouib, I., Baghdadia, M. E. & Ariouab, A. (2018). Remote sensing approach to assess salt-affected soils in the north-east part of Tadla plain, Morocco. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2 (1), 22-28.
- Eskandari, L., Aflatouni, M. & Fuladmand, H. (2014). Evaluation of PMWIN Model for Lowering

- Water Level in Qazvin Saline Drainage Margin. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7 (3), 422-431. (In Persian)
- Farifteh, J., Farshad, A. & George, R. J. (2005). Assessing salt-affected soils using remote sensing, Solute Modeling and Geophysics. *Geoderma*, 130 (3-4), 191-206.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environment*, 25 (3), 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2), 195-213.
- Karam, A., Kiani, T., Dadrasi sabzevar, A. & Davarzani, Z. (2019). Estimating soil salinity by using of remote sensing data and spatial statistic in sabzevar region. *Quantitative Geomorphological Research*, 7 (4), 31-53. (In Persian)
- Khan, N.M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y. & Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydro saline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agriculture Water Manage*, 77 (1-3), 96-109.
- Khodadadi, M., Askari, M., Sarmadian, F., Gholi Refahi, H., Norouzi, A., Heidari, A. & Matinfar, H. (2009). Saline soil mapping using ETM⁺ data in the Qazvin plain. *Watershed Engineering and Management*, 1 (2), 99-110. (In Persian)
- Masudi, M. (2001). Investigation of satellite imagery capability for classification of salt and sodium affected soils. *Iranian journal of Rangeland and Desert Research*, 8 (4), 10-21. (In Persian)
- Metternicht, G. I. & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85 (2), 1-20.
- Moradian, S., Nabiollahi, K. & Taghizadeh, R. (2018). Prediction of soil salinity using tree regression and artificial neural network in Ghorveh soils, Kurdistan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7 (4), 115-129. (In Persian)
- Mumipour, M. (2018). Temporal and Spatial Variation of Soil Salinity Variations in a 24-year Period in Abadan District Using Satellite Images. *Geography and Sustainability of Environment*, 8 (27), 47-58. (In Persian)
- Nohegar, A. & Zare, G. (2012). Extraction of soil salinity zone in arid and semi-arid regional using of remote sensing data (case study: Darab Township). *Geography and Environmental Hazards*, 1 (1), 49-64. (In Persian)
- Noroozi, A., Homaei, M. & Farshad, A. (2014). Estimating Topsoil Salinity from LANDST Data: A Comparison between Classic and Spatial Statistics. *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (4), 609-620. (In Persian)
- Nuarsa, I. W., Nishio, F. & Hongo, C. H. (2012). Rice yield estimation using Landsat ETM⁺ data and field observation. *Journal of Agricultural Science*, 4 (3), 45-56.
- Rouse, J. R.J., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. USA: NASA special publication.
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R. & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Nature and Science*, 17 (1), 34-40.
- Saman Abrah Consulting Engineers. (2010). *Drainage studies of the Qazvin plain saline margin* (Vol. 6, *Drainage studies*). Qazvin: Qazvin Agricultural Jihad Organization. (In Persian)
- Shirazi, M., Zehtabian, G. & Alavipanah, S. (2010). Applicability of IRS Satellite Images for Surveying Water, Soil and Vegetation Cover Condition of Najm Abad Region, Savojbolagh. *Journal of Natural Environment*, 63(1), 33-51. (In Persian)
- Singh, G., Bundela, D. S., Sethi, M., Lal, K. & Kamra, S. K. (2010). Remote Sensing and Geographic Information System for Appraisal of Salt-Affected Soils in India. *Environmental Quality*, 39 (1), 5-15.
- Siyal, A.A., Dempewolf, J. & Becker-Reshef, I. (2015). Rice yield estimation using Landsat ETM⁺ Data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9, 1-16.
- Sotoodehnia, A., Jafari, M. & Daneshkar Arasteh, P. (2014). The Role of Qazvin Central Marsh Interceptor Drain in Controlling Shallow Groundwater Salinity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45 (4), 447-452. (In Persian)

- Sotoodehnia, A. & Jafarei, M. (2016). Investigation of Qazvin Marshland Interceptor Drain Effects on Water Table Using Seep/w Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47 (2), 237-245. (In Persian)
- Vaezi, A. R. (2016). *Study of the effect of Interceptor Drain on vegetation dynamics in the central salinity of Qazvin plain*. Tehran: National Institute of Forests and Rangelands Research, Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (In Persian)
- Zeinali, M., Jaafarzadeh, A., Shahbazi, F., Oustan, S. & Valizadeh Kamran, K. (2016). Evaluating Surface Soil Salinity by pixel-based method based on TM Sensor Data (Case study: Eastern Lands of Khoy). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25 (99), 127-139. (In Persian)



نقشه‌سازی مشارکتی پهنه استفاده مردمی دهستان دنا در مجاورت منطقه حفاظت‌شده دنا

سیده آل محمد^۱، احمدرضا یآوری^{۲*}، بهرام ملک‌محمدی^۱، اسماعیل صالحی^۱، محمدجواد امیری^۱

^۱گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۴ آبان ۱۳۹۸

پذیرش ۱۴ فروردین ۱۳۹۹

دسترسی آنلاین ۳۰ فروردین ۱۳۹۹

کلیدواژه‌ها:

ادراک جوامع محلی، مردم‌نگاری، نقشه‌سازی مشارکتی، ارزش مکانی، دنا.

/استناد: آل محمد، سیده؛ یآوری، احمدرضا؛ ملک‌محمدی، بهرام؛ صالحی، اسماعیل؛ امیری، محمدجواد (۱۳۹۹). نقشه‌سازی مشارکتی پهنه استفاده مردمی دهستان دنا در مجاورت منطقه حفاظت‌شده دنا. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۱)، ۵۳-۶۸.

doi: [10.22126/GES.2020.4750.2158](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4750.2158)

برنامه‌ریزی حفاظت نیازمند شناسایی ادراک جوامع محلی دربارهٔ پراکنش استفاده‌ها است. مناطق مورد نیاز برای پشتیبانی رفاه این جوامع در درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده، پهنه استفاده مردمی نام دارد. براساس مبانی نظری و با توجه به اینکه هر مکانی برای جوامع محلی ارزش یا ارزش‌هایی دارد، شناسایی ارزش‌های مکانی، با ترکیب رویکرد مشارکتی و رویکرد صریح فضایی ممکن است. هدف پژوهش حاضر شناسایی پهنه استفاده مردمی در دهستان دنا و در مجاورت منطقه حفاظت‌شده دنا است. در این راستا، مردمان‌نگاری با شیوه‌هایی همچون پرسش‌نامه نیمه‌باز، مشاهده میدانی و مرور منابع به‌کارگرفته شده و سپس با نقشه‌سازی مشارکتی تکمیل شده است. جمع‌آوری داده‌های ارزش‌های مکانی (معیشتی، اقتصادی، فرهنگی و حفاظتی) تا رسیدن به اشباع اطلاعاتی ادامه یافته است. مشارکت‌کنندگان، این مناطق داغ ارائه خدمات را بر چهار نقشه پایه نشان‌گذاری کردند. پس از رقوم‌سازی داده‌ها، هم‌پوشانی فضایی این مناطق بررسی شده است. پهنه استفاده مردمی، از شمارش هم‌پوشانی‌های ارزش‌های معیشتی، اقتصادی و فرهنگی تعیین شده است. بیشترین سطح این پهنه در حوالی رودخانه‌ها، جاده‌ها و سکونت‌گاه‌ها است. منطقه حفاظت‌شده دنا زیر نفوذ استفاده‌های اقتصادی و فرهنگی است. ارزش حفاظتی شناسایی‌شده در بیرون منطقه حفاظت‌شده نیز، نیازمند برنامه‌ریزی حفاظت مشارکتی است. مناطق سه و دو ارزشی در پهنه استفاده مردمی، باید در اولویت برنامه‌ریزی آموزشی و حمایت مالی به‌منظور استفاده پایدار باشند. برنامه‌های آینده در دهستان دنا، باید بر چنین اقداماتی متمرکز باشد: جلوگیری از کشت زیر اشکوب جنگل‌ها، جلوگیری از آتش‌زدن دامنه‌های جنگلی، جلوگیری از تغییر کاربری، افزایش بازده آبیاری، مدیریت صحیح کشت، جلوگیری از برداشت بی‌رویه گیاهان دارویی و خوراکی و جلوگیری از شکار غیرقانونی حیات‌وحش. به‌کارگیری شیوه نوشتار پیش رو، زبان مشترکی برای گفت‌وگو میان حفاظت و استفاده‌های مردمی فراهم می‌سازد؛ همچنین زمینه‌ساز آموزش، توانمندسازی و جلب مشارکت جوامع محلی و یادگیری از آن‌ها است.

مقدمه

امروزه مناطق حفاظت‌شده جهان، افزون بر حفاظت تنوع زیستی، مدعی بهبود رفاه انسانی هستند (شافر^۱، ۲۰۱۵؛ دادلی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ روتیچ^۳، ۲۰۱۲؛ کاریوا و مارویر^۴، ۲۰۱۲). امنیت و رفاه ده‌ها میلیون نفر، به‌شدت به خدمات اکوسیستمی عرصه‌های درون و پیرامون این مناطق وابسته است. این جوامع نمی‌خواهند در برداشت منابعی که قرن‌ها استفاده می‌کرده‌اند، ناتوان باشند (فیچر^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ چائو^۶، ۲۰۱۲؛ بیکر^۷ و همکاران، ۲۰۱۱). مدیریت مناطق حفاظت‌شده جهان که به‌منظور تشخیص مکان‌هایی با سطح و انواع متفاوت فعالیت انسانی انجام می‌شود (هال^۸ و همکاران، ۲۰۱۱)، به‌ویژه در مناطق دورافتاده کشورهای در حال توسعه با استفاده‌های جوامع محلی تعارض دارد (کراسمن^۹ و همکاران، ۲۰۱۳؛ للی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰؛ پترسون و ودلد^{۱۱}، ۲۰۱۵؛ گاردنر^{۱۲}، ۲۰۱۱؛ لروکس^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۰)؛ زیرا تخصیص کاربری زمین‌ها در فرایند برنامه‌ریزی حفاظت، از ادراک جوامع محلی نسبت به استفاده از سرزمین غافل مانده است (برون و فاگرهولم^{۱۴}، ۲۰۱۴؛ شاگنر^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاگلا و سینکلر^{۱۶}، ۲۰۱۴).

مفاهیم و روش‌های برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق حفاظت‌شده و پیرامونشان، دو رویکرد عمده دارد: رویکرد منطقه‌گرا و رویکرد فرایندگرا^{۱۷} (استورتینی^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۵؛ ونوو^{۱۹} و همکاران، ۲۰۱۵). رویکرد منطقه‌گرا، بر برنامه‌ریزی کاربری اراضی بالا به پایین علم‌محور و نقشه‌سازی با ابزارهای مکان‌مند جغرافیایی مبتنی است. پیشرفته‌ترین روش آن، به‌کار بستن اطلاعات فضایی در تصمیم‌گیری با نقشه‌سازی خدمات اکوسیستمی است (ناقتان تروز^{۲۰}، ۲۰۱۲؛ سیرب و والز^{۲۱}، ۲۰۱۲؛ پالومو^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۳ الف). رویکرد فرایندگرا، مانند ارزیابی مشارکتی روستایی^{۲۳} (چمبرز^{۲۴}، ۱۹۹۴) و حفاظت جامعه‌مبنا^{۲۵} (اندرادز و رودز^{۲۶}، ۲۰۱۲؛ استیونز^{۲۷}، ۲۰۱۴؛ سالرنو^{۲۸} و همکاران، ۲۰۱۴) شامل روش‌های اجتماعی نرم به‌منظور ایجاد فرصت گفتگو، مشارکت، انطباق و توافق

- 1- Shafer
- 2- Dudley
- 3- Rotich
- 4- Kareiva & Marvier
- 5- Fisher
- 6- Chao
- 7- Baker
- 8- Hull
- 9- Crossman
- 10- Lele
- 11- Petursson & Vedeld
- 12- Gardner
- 13- Leroux
- 14- Brown & Fagerholm
- 15- Schägner
- 16- Pagella & Sinclair
- 17- area-oriented and process-oriented approaches
- 18- Stortini
- 19- Wenwu
- 20- Naughton-Treves
- 21- Syrbe & Walz
- 22- Palomo
- 23- participatory rural appraisal
- 24- Chambers
- 25- Community-based Conservation
- 26- Andrade & Rhodes
- 27- Stevens
- 28- Salerno

است (کامینگ^۱، ۲۰۱۱).

افزایش اثربخشی برنامه‌ریزی حفاظت نیازمند توسعه شیوه‌های ترکیب‌گرا و همراهی دو رویکرد است (کاناویر باکارزا و هانار^۲، ۲۰۱۳؛ لاش و بورهن^۳، ۲۰۱۱: ۱۶۷). در این زمینه، دو نظریه تأییدکننده وجود دارد: «نظریه اجتماعی، اخلاق و کارتوگرافی^۴»، استدلال می‌کند که غیاب ارزش‌های اجتماعی در محتوای نقشه‌سازی، سبب فاصله نقشه‌سازی از شکل مردم‌مدار و انسانی دانش جغرافیایی می‌شود (هارلی^۵، ۱۹۹۲)؛ همچنین به‌موجب «نظریه نشانگی کارتوگرافی^۶»، با ساختارشکنی در نقشه‌سازی و ثبت مکان‌دار ارزش‌ها، باید عملکرد نقشه‌فراتر از توصیف و نمایش برود و به‌شکل ارتباطی باشد. چنین نقشه‌ای، محصولی اجتماعی است که با بررسی دیدگاه جوامع محلی، مشروعیت نهادهی می‌یابد (کاستی^۷، ۲۰۱۴). به‌تازگی دو رویکرد منطقه‌گرا و فرایندگرا به‌دلیل چالش‌های به‌کارگیری جداگانه، هم‌گرایی رو به رشد داشته‌اند. به‌منظور دستیابی به مناطقی با مرزهای صریح فضایی و در عین حال درنظر گرفته‌شدن ادراک جوامع محلی، درهم‌آمیختگی این دو رویکرد، در پیشینه پژوهش دیده می‌شود، از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ارزیابی مشارکتی روستایی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، برای معرفی منطقه مراک پاپوا به قبیله ماریند کشور اندونزی و اطلاع از نقشه تقریبی استفاده‌ها برپایه دانش ذهنی آن‌ها به‌کار گرفته شده است (ستار^۸، ۲۰۰۴)؛ همچنین تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، همراه با رویکرد مشارکتی (دعوت جوامع محلی به مشارکت) به‌شکل تعیین پهنه‌های مدیریتی در پارک ملی یانان چین صورت گرفته است (ژانگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۳). برای پارک فرامرزی دلیو (در مرز کشورهای بنین، نیجر و بورکینا) براساس ارزش‌های مادی، اشتراکی، فرهنگی و نمادین سرزمین، پهنه‌بندی مشارکتی انجام شده است (کاستی، ۲۰۱۴). برخی خدمات اکوسیستمی در مناطق حفاظت‌شده دانانا و سرنودا در اسپانیا، نقشه‌سازی مشارکتی شده است (پالومو و همکاران، ۲۰۱۴)؛ همچنین برای شناسایی مناطق ضروری به‌منظور حفظ خدمات تولیدی اکوسیستم برای جوامع محلی سورینام جنوبی، از نقشه‌سازی مشارکتی استفاده شده است (رامیز گومز^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶).

خدمات اکوسیستمی معیشتی، اقتصادی و فرهنگی، انواعی از ارزش مکان^{۱۱} هستند که به‌دلیل بازده بالاتر، با ادراک جوامع محلی از استفاده‌هایشان در محیط پیرامون همخوانی بیشتری دارند. درنظرگرفتن بخشی از عرصه‌های محیط پیرامون به‌وسیله مردم به‌منظور دست‌نخورده‌ماندن آن‌ها برای حمایت از آیندگان، ارزش مکانی حفاظتی یا حمایتی به‌شمار می‌رود که به‌طور معمول با استفاده‌های مردمی تلاقی کمتری دارد (فاگرهولم و همکاران، ۲۰۱۲؛ برون و رید^{۱۲}، ۲۰۱۲؛ رامیز گومز و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارتین‌لوپز^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۱). هریک از مناطق یکی از انواع ارزش‌های مکانی، قابل تعبیر به نوعی از مناطق داغ ارائه خدمات^{۱۴} دارند (مارتین‌لوپز و

1- Cumming

2- Canavire-Bacarreza & Hanauer

3- Lausche & Burhenne

4- Cartography, ethics & social theory

5- Harley

6- Cartographical semiosis theory

7- Casti

8- Satar

9- Zhang

10- Ramirez-Gomez

11- Place value or local value

12- Reed

13- Martín-López

14- Service provision hotspots or hotspots of providing services

همکاران، ۲۰۱۲؛ گارسیا لورنت^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ مک دونالد و بوچر^۲، ۲۰۱۱). هم‌پوشانی فضایی ارزش‌های مکانی، نشان‌دهنده مناطقی با کیفیت دو یا چندمنظوره در سرزمین و جایگزین عملکردهای چندگانه اکوسیستم است (رودسپ هرن^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). در این میان، پهنه استفاده مردمی^۴، شامل تمامی مناطق مورد نیاز برای پشتیبانی رفاه جوامع محلی است. این پهنه با مداخله‌های کنونی و ادعاها و مطالبات سنتی جوامع محلی نسبت به دسترسی و بهره‌برداری منابع درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده هم‌پوشانی دارد و به‌طور معمول دو یا چند نوع از ارزش‌های مکانی را دربر می‌گیرد (سرنا چاوز^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ پالومو و همکاران، ۲۰۱۳ ب).

در ایران، برنامه کمک‌های کوچک^۶ تسهیلات محیط‌زیست جهانی به‌منظور توانمندسازی و مشارکت جوامع محلی در حفاظت و تاحدتی مستندسازی دانش محلی، اعتبار مالی کلانی را صرف کرده است؛ اما باوجود همه این تلاش‌ها، درمجموع ارزیابی موفقیت برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق حفاظت‌شده ایران، نمرات پایینی به مشارکت جوامع محلی داده است (کولاهی^۷ و همکاران، ۲۰۱۳). علت این مسئله آن است که باوجود توجه دیرین جوامع محلی فلات ایران به ابعاد فضایی - مکانی استفاده از سرزمین، دیدگاه آن‌ها نسبت به مکان و استفاده از آن شناخته نشده است (یاوری و طیب‌زاده، ۱۳۹۶: ۱۹۵-۱۹۶)؛ به عبارت دیگر، پیش از جلب مشارکت مردمی در حفاظت، ادراک این جوامع نسبت به استفاده‌های ارزشمند از محیط درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده، شناسایی نشده است. با توجه به اینکه هنوز برای نقشه‌سازی مشارکتی پهنه استفاده مردمی درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده در ایران اقدامی صورت نگرفته است؛ در این زمینه جای بسی تلاش هست. مناطق حفاظت‌شده کشور ما با مناطق مورد نیاز و استفاده جوامع محلی (همان پهنه استفاده مردمی) هم‌پوشانی و هم‌جواری قابل توجهی دارد. این درحالی است که با نبود تجربه روش‌شناسی پشتیبان به‌منظور شناسایی ادراک این جوامع از ارزش‌های مکانی درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده کشور و به‌رو هستیم. هدف نوشتار پیش رو براساس این مسئله و کمبود، تعیین پهنه استفاده مردمی برپایه نشان‌گذاری مناطق ارائه خدمات اکوسیستمی قابل درک برای جوامع محلی در بخشی از درون و پیرامون منطقه حفاظت‌شده دنا است.

معرفی منطقه مورد بررسی

دهستان، کوچک‌ترین واحد سیاسی کشور، شامل گروهی از سکونت‌گاه‌های نزدیک و پیرامونشان است که از لحاظ محیط طبیعی، فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی به یکدیگر وابستگی داشته و امکان خدمات‌رسانی و برنامه‌ریزی در یک شبکه را فراهم می‌سازد؛ از این‌رو، دهستان بیشترین تطابق را برای مطالعه جوامع محلی و جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور تعیین حدود استفاده‌های ارزشمند برای آن‌ها را دارد. گستره پژوهش حاضر، دهستان دنا (دربرگیرنده بخشی از منطقه حفاظت‌شده دنا و پیرامون آن) است که بیش از ۲۱ هزار هکتار مساحت دارد.

منطقه حفاظت‌شده دنا، دهمین ذخیره‌گاه زیست‌کره و کوهستانی ترین منطقه کشور است که غنای زیستی بالایی دارد. توزیع کمربندهای ارتفاعی و پوشش گیاهی در این سرزمین به این ترتیب است: کوه‌های مرتفع از ۲۵۰۰ متر به بالا (با پوشش غالب اورس و گون^۸)، دامنه‌ها از ۲۵۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر (با پوشش غالب جنگل بلوط ایرانی^۹)

1- García-Llorente

2- McDonald & Boucher

3- Raudsepp-Hearne

4- Community use zones

5- Serna-Chavez

6- Small Grants Programme

7- Kolahi

8- Juniperus excelsa & Astragalus spp

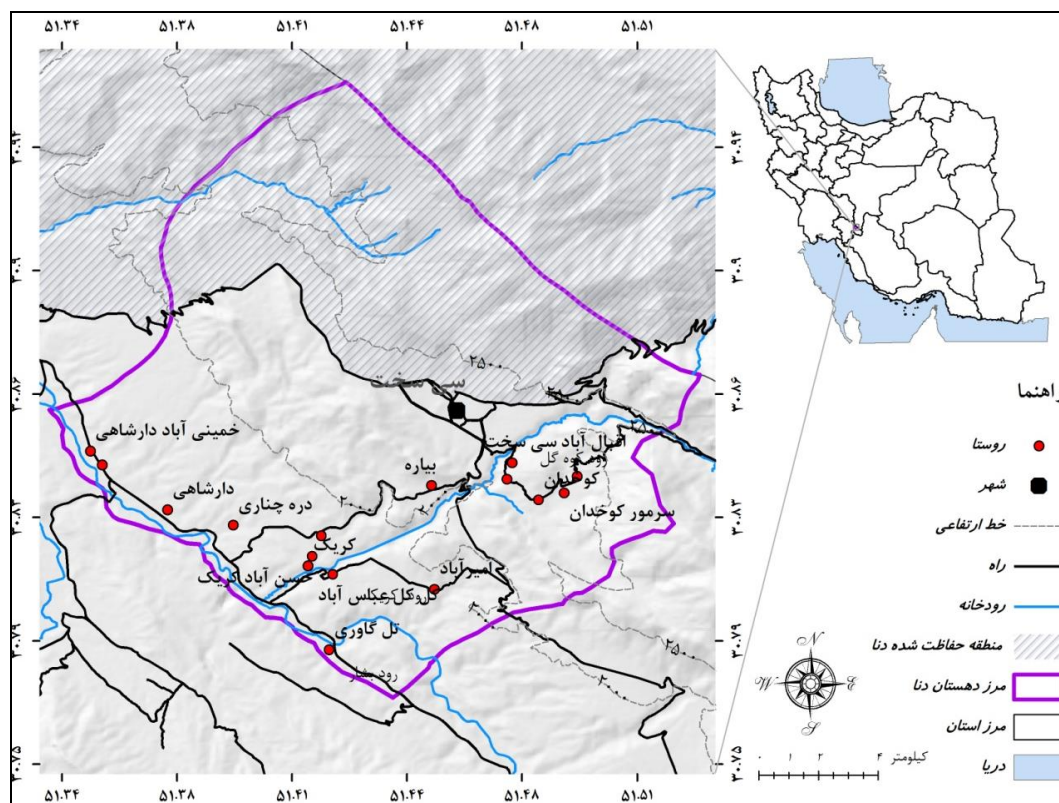
9- Quercus brantii

و کوهپایه‌ها و واریزه‌های زیر ۲۰۰۰ متر (با پوشش غالب کشاورزی و جنگل بلوط ایرانی) (انجمن دامون، ۱۳۹۶: ۱۷؛ منتظری، ۱۳۹۴).

شهر سی‌سخت، مرکز دهستان دنا و شهرستان دنا در استان کهگیلویه و بویراحمد است. کشاورزی بالاترین درصد از مشاغل عمده دهستان را تشکیل می‌دهد و به دلیل نرخ بالای بیکاری، بار اصلی افزایش نیازهای ساکنان بر دوش عرصه‌های طبیعی است؛ زیرا معیشت آن‌ها بر کشاورزی (دیم و آبی) و دامداری (کوچ‌گری و روستایی) مبتنی است. ساختار اجتماعی - فرهنگی دهستان، تاکنون آداب روستایی، شیوه شبانی و خوی عشیره‌ای را حفظ کرده است. مردم خود را از ایل بویراحمدی و خویشاوند می‌دانند. سکونت‌گاه‌ها در ارتفاع زیر ۲۵۰۰ متر و در امتداد جاده‌ها و رودخانه‌های کوهگل، کریک و بشار استقرار دارد (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

برای شناسایی محتوای ذهنی افراد درباره زمینه‌ای از جامعه، نمی‌توان از روش‌های سخت و محدودکننده و قواعد دقیق کمی کمک گرفت و نوعی از پژوهش کیفی به نام مردم‌نگاری لازم است که با تمرکز بر شرایط اجتماعی - فرهنگی، اطلاعات مربوط به ارزش‌ها یا فعالیت‌های مردم را فراهم می‌کند. گردآوری اطلاعات در چنین پژوهشی با ابزارهایی همچون مصاحبه نیمه‌ساختاریافته، پرسش‌نامه نیمه‌باز، مشاهده میدانی و بررسی اسناد ممکن است (وایزمن^۱، ۲۰۰۹: ۵۶؛ پاتون^۲، ۲۰۱۵: ۱۲۴ و ۳۷۴). دلیل اولیه ارتباط با جوامع محلی و کسب دیدگاه آن‌ها، جمع‌آوری داده‌های زیرمجموعه انواع ارزش‌های مکانی است، به این ترتیب، دیدگاه جوامع محلی نسبت به شیوه‌های فعالیت و رابطه آن‌ها با محیط پیرامونشان، پرسش شده و به شکل مکان‌دار تعیین می‌شود.



شکل ۱. موقعیت دهستان دنا و برخی عوارض مهم در نزدیکی منطقه حفاظت‌شده دنا

1- Wiseman

2- Patton

این اطلاعات می‌تواند در مطالعات آتی، زمینه یکپارچه‌سازی ادراک این جوامع را با فرایند برنامه‌ریزی سرزمین فراهم سازد. مردم‌نگاری در پژوهش حاضر، با سفرهای مکرر به منطقه و استفاده از شیوه‌ها و ابزارهای مکمل و همراه (پرسش‌نامه نیمه‌باز و رودرو، مشاهده میدانی، مرور منابع و نقشه‌سازی مشارکتی) طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۸، انجام شده است.

در پژوهش کیفی، به‌جای نمونه، از مشارکت‌کنندگان نام برده می‌شود. مشارکت‌کنندگان بیشتر افراد مطلع را معرفی می‌کنند. تعداد مشارکت‌کنندگان تاحدی افزایش می‌یابد که دیگر داده‌ای سبب گسترش یافته‌های حتی یک طبقه از داده‌ها نشود. نشانه اشباع اطلاعاتی، تکرار داده‌های پیشین است. در این‌هنگام پژوهشگر چند بررسی تکمیلی برای اطمینان از رسیدن به اشباع انجام می‌دهد (لیوینگستون^۱، ۲۰۰۹: ۷۴؛ نیک‌نشان و همکاران، ۱۳۸۹؛ عباس‌زاده، ۱۳۹۱). در نوشتار پیش رو در هر سکونت‌گاه، جلسه توجیهی (به‌منظور معرفی هدف پژوهش، شیوه مشارکت و کسب اطلاعات اولیه) برگزار شده است. حوزه جلب مشارکت در پژوهش حاضر، شناسایی شاخصه‌های انواع ارزش‌های مکانی مورد نیاز، یا توجه جوامع سکونت‌گاهی بوده است.

مشارکت‌کنندگان (از اهالی سکونت‌گاه‌های دهستان دنا) به‌صورت داوطلبانه و با سعی بر حفظ تعادل سن (افراد مسن‌تر دارای دانش قدیمی‌تر در کنار افراد جوان باسواد امروزی)، تعادل جنس و نسبت جمعیت سکونت‌گاه‌ها، انتخاب شده و همکاری کرده‌اند. هر گروه پنج‌نفره، یک پرسش‌نامه را به‌منظور تعیین شاخصه‌های ارزش‌های مکانی چهارگانه، کامل کرد. جمع‌آوری داده‌های حاصل از پرسش‌نامه تا رسیدن به اشباع اطلاعاتی ادامه داده شد. برای اطمینان از اشباع اطلاعاتی، دو پرسش‌نامه دیگر نیز تکمیل و درنهایت مشارکت‌کنندگان به ۲۴۰ نفر رسیدند. داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها در جدولی خلاصه‌سازی شد؛ سپس از هر گروه خواسته شد داده‌های جمع‌آوری‌شده در این جدول را به‌لحاظ صحت، بازبینی کنند؛ پس از آن، نتایج اطلاعات با توجه به سطح بالای آشنایی دیرینه پژوهشگر به منطقه، سفرهای مکرر و مشاهده میدانی تأیید شد. در مرحله نقشه‌سازی، هر گروه براساس جدول تأییدشده نهایی، مناطق چهارگانه را در چهار نقشه پایه با استفاده از ترسیم محدوده‌هایی نشان‌گذاری کرد. برای اینکه مشارکت‌کنندگان درک درستی از فضا داشته باشند و آن را به‌خوبی با ارزش‌های مکانی تطبیق دهند، رودخانه‌ها، جاده‌ها، خطوط تراز ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ و نام سکونت‌گاه‌ها بر نقشه پایه (براساس شکل ۱) ازپیش مشخص شد. در ادامه نقشه‌های دریافتی از گروه‌ها در نرم‌افزار آرک جی.آی.اس^۲، رقومی‌سازی شد و چهار نقشه خدمات اکوسیستمی به‌دست آمد.

مبانی نظری و پیشینه مطالعاتی، جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌ها و تحلیل اطلاعات در پژوهش کیفی به‌موازات هم حرکت می‌کنند و مکمل یکدیگر هستند. به‌طوری‌که طبقه‌بندی مقوله‌های مورد انتظار از به‌کارگیری ابزارهای جمع‌آوری داده‌ها مبتنی بر جهت‌گیری ادبیات پژوهش در مرحله طرح پژوهش است. بر این اساس، در نوشتار پیش رو نیز، داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها (شاخصه‌های ارزش مکانی)، در جدول طبقات چهارگانه ارزش‌های وابسته به مکان (معیشتی، اقتصادی، فرهنگی و حفاظتی) خلاصه‌سازی و سپس بازبینی و تأیید شد. ماهیت داده‌های جمع‌آوری‌شده از پرسش‌نامه‌ها، کلمات بوده است. این داده‌ها با نقشه‌سازی مشارکتی، مکان‌دار شدند؛ به‌عبارت دیگر، داده‌های کلمه‌ای به داده‌های تصویری (نقشه) تبدیل و سپس تحلیل شدند. تحلیل داده‌ها در پژوهش حاضر، بدون استفاده از فنون آماری و به‌شکل استدلال کیفی - تشریحی بوده است. پراکندگی چهار طبقه ارزش‌های مکانی و هم‌پوشانی دو به دوی آن‌ها در درون و پیرامون منطقه حفاظت‌شده دنا به‌طور تشریحی، تحلیل

1- Livingston

2- ArcGIS 10.2

شده است. پهنه استفاده مردمی با شمارش تعداد تلاقی ارزش‌های غیر حفاظتی، نقشه‌سازی شده و چگونگی گستره توزیع این پهنه نسبت به عوارض طبیعی و انسان ساخت توضیح داده شده است؛ همچنین براساس مهم‌ترین تهدیدهای منابع سرزمین طبق مرور منابع و مشاهده میدانی، مهم‌ترین تدابیر و اقدام‌های اصلاحی به‌منظور استفاده پایدار از پهنه استفاده مردمی و حفاظت مشارکتی، پیشنهاد شده است.

شایان ذکر است که شاخصه‌های ارزش مکانی معیشتی، شامل مناطقی بوده است که ارزش فراهم‌ساختن خدمات اکوسیستمی معیشتی را برای بقای جوامع محلی داشته‌اند. شاخصه‌های ارزش مکانی اقتصادی شامل مناطقی بوده است که بر مهیاکردن خدمات اکوسیستمی اقتصادی تمرکز داشته است. ارزش‌های سنتی، معنوی، گردشگری و زیبایی‌شناسی در مقوله ارزش مکانی فرهنگی قرار داده شده است. شاخصه‌های ارزش مکانی حفاظتی شامل مناطقی کمابیش دست‌نخورده‌تر بوده که حفظ آن‌ها به نسل‌های آینده اجازه می‌دهد منطقه و موهبت‌هایش را آن‌گونه که اکنون است، بشناسند و تجربه کنند.

نتایج

براساس داده‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها و بازبینی آن، شاخصه‌های هریک از ارزش‌های مکانی از دید جوامع محلی گردآوری شده است (جدول ۱).

همچنین براساس مرور منابع (اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۵: ۱۵؛ ابوالقاسمی، ۱۳۹۵: ۱۸؛ فروزه و همکاران، ۱۳۹۳؛ ملکیان و باقری، ۱۳۹۴؛ وارثی، ۱۳۸۱) و مشاهده میدانی، مهم‌ترین تهدیدهای منابع سرزمین در منطقه شامل تبدیل کاربری (کشت زیراشکوب جنگل‌ها، آتش‌زدن دامنه‌های جنگلی و فروش باغ‌ها به سنگ‌شکن‌ها)، بازده پایین آبیاری، عدم مدیریت الگو، تناوب و تنوع کشت، عدم کنترل مناسب پسماند، برداشت بی‌رویه و فروش گیاهان دارویی و خوراکی، تله‌گذاری و شکار غیر قانونی حیات‌وحش هستند.

جدول ۱. ارزش‌های مکانی و شاخصه‌های آن‌ها از دید جوامع محلی

ارزش مکانی	مهم‌ترین مناطق مورد نیاز یا توجه جامعه
معیشتی	مناطق کشت و چرای محدود، ماهی‌گیری محدود، مناطق برداشت محصولات جنگلی (هیزم، میوه وحشی، صمغ، قارچ، عسل)، مناطق برداشت گیاهان خوراکی و دارویی در حد مصرف خانوار
اقتصادی	مناطق کشت متمرکز (انگور، سیب، گردو، برنج، گندم، یونجه) و چرا، مناطق پرورش ماهیان سردآبی، معادن (نمک شرق سی‌سخت، شن و سیمان سی‌سخت و سنگ گچ کریک)، مناطق برداشت گیاهان دارویی و خوراکی: بلیط (بلوط ایرانی)، بادام، بن (بنه یا پسته کوهی)، کلخونگ (خنجوک)، زالزالک، گلابی وحشی، پرموسیر، لیزک (بن‌سرخ)، جاشیر، بیلهر (کندل کوهی)، چویل، تره کوهی، هلیپه (مریم‌نخودی)، اوریشوم کرو (آویشن‌سردسیری)، درمه (درمنه)، برنجاس (بومادران) و پیدن کهی (پونه کوهی) ^۱ ، مناطق گردشگری و مناطق شکار حیات‌وحش (مانند بز وحشی، گوزن زرد ایرانی، پلنگ ایرانی، کفتار راه‌راه، شنگ و سنجاب ایرانی) ^۲
فرهنگی	کوهگل و غار آن، دریاچه کوهگل، آبشار تنگ نمک کوهگل، چشمه سردو کوهگل، روستای زیبای کوخدان، روستای ماسوله‌ای کریک، چشمه طوف سی‌سخت، چشمه میشی سی‌سخت، دشتک سی‌سخت، مکان‌های مقدس قدیمی، ویرانه‌های سی‌سخت، شهر سی‌سخت و مناظر مشرف به جنگل‌های بلوط، زمین‌های کشاورزی، گردنه بیژن و کوه زنگویی
حفاظتی	مناطق طبیعی کمابیش دست‌نخورده‌تر مانند زیست‌گاه‌های حیات‌وحش و رویش‌گاه‌های طبیعی باقی‌مانده

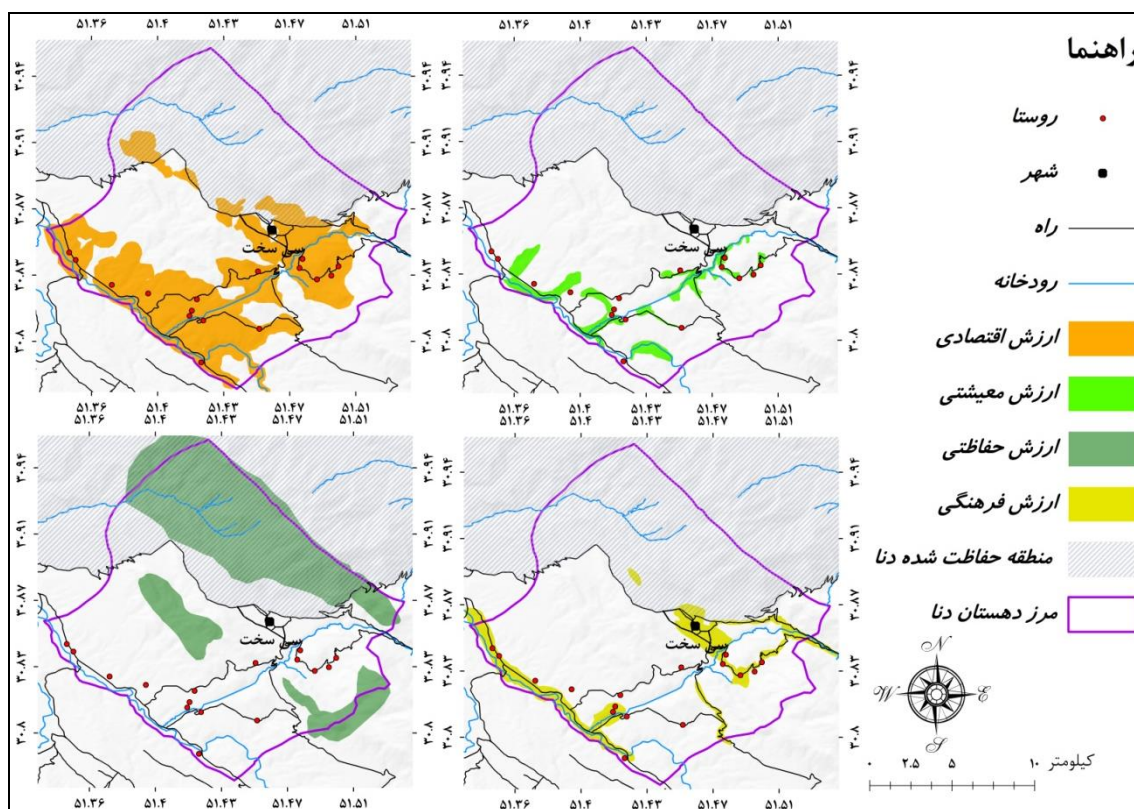
1- amygdalus spp, **pistacia atlantica**, Pistacia khinjuk, Crataegus azarollus, Pyrus glabra, Fritillaria imperialis, Allium jesdianum, Prangus ferulacea, Dorema aucheri, Ferulago angulata, Allium ampeloprasum, Teucrium polium, Thymus daensis, Artemisia aucheri, Achillea millefolium & Nepeta ispanica

2- Capra aegagrus, Dama mesopotamica, Panthera pardus tulliana, Hyaena hyaena, Lutra lutra, Sciurus anomalus

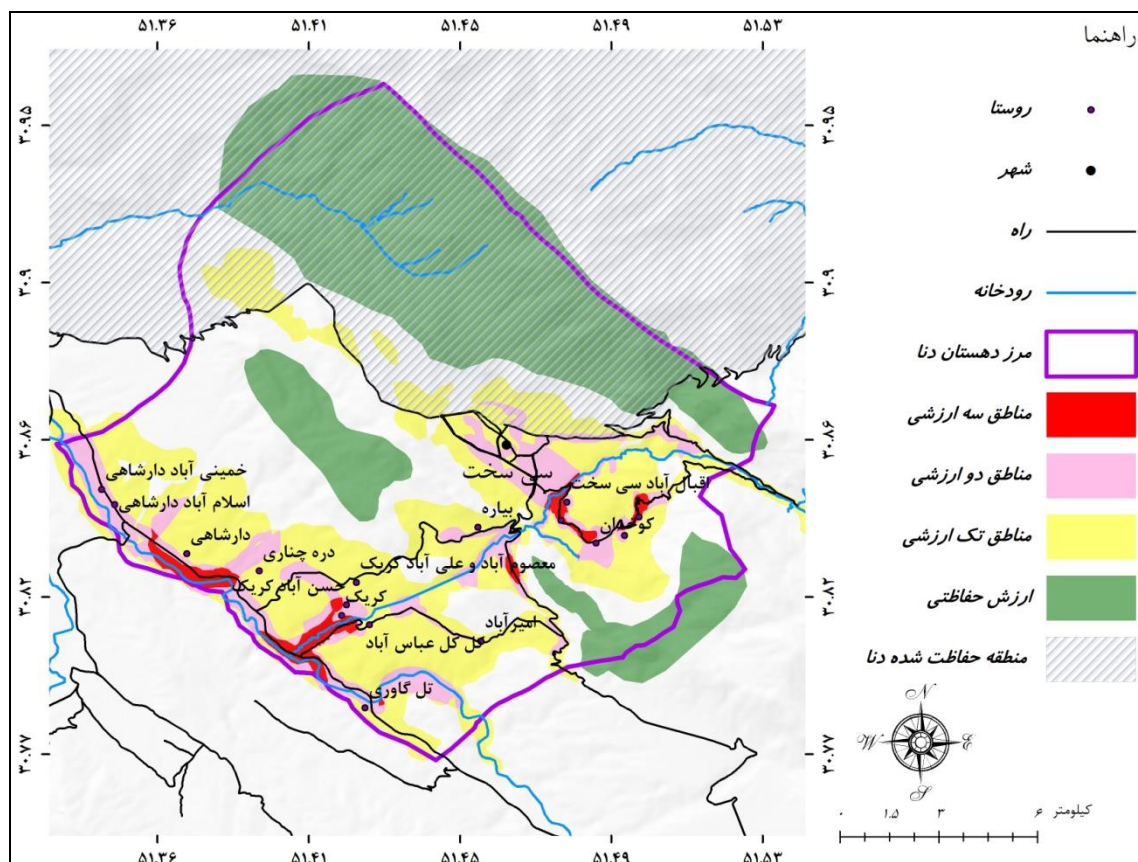
براساس نقشه‌های ارزش‌های مکانی چهارگانه که مشارکت‌کنندگان براساس ادراک خود نسبت به استفاده از سرزمین ترسیم کرده‌اند؛ مساحت ارزش‌های اقتصادی، فرهنگی و معیشتی به‌ترتیب ۸۰۸۵ هکتار، ۲۲۸۶ هکتار و ۱۲۸۲ هکتار بوده و ارزش حفاظتی، مساحت ۸۳۳۴ هکتار داشته است (شکل ۲).

بررسی هم‌پوشانی ارزش‌های مکانی نشان می‌دهد که ارزش مکانی حفاظتی ترسیم‌شده با مشارکت‌کنندگان، هیچ انطباق فضایی با دیگر ارزش‌های نقشه‌شده نداشته است؛ همچنین بیشترین تلاقی، میان ارزش‌های فرهنگی و اقتصادی (۱۶۸۰ هکتار) و سپس ارزش‌های معیشتی و اقتصادی (۱۱۲۳ هکتار) بوده است. انطباق ارزش‌های اقتصادی و معیشتی مربوط به وقوع فعالیت‌های گذران زندگی در کنار فعالیت‌های تولید درآمد بوده و انطباق ارزش‌های اقتصادی و فرهنگی، بیشتر مربوط به معیشت مرسوم از درآمد گردشگری و جاذبه‌های مناطق با ارزش فرهنگی است. ارزش‌های معیشتی و فرهنگی نیز در ۴۶۴ هکتار تلاقی دارند. پهنه استفاده مردمی شامل مناطق سه‌ارزشی، دوازشی و تکارزشی است که به‌ترتیب سه، دو یا یک نوع از سه ارزش معیشتی، اقتصادی و فرهنگی را دارند.

عمده پراکنش پهنه استفاده مردمی، نزدیک و متمرکز بر مناطقی با عوارض طبیعی و انسان‌ساخت قابل توجه است (شکل ۳)؛ به عبارت دیگر، بیشترین سطح پهنه استفاده مردمی در ارتفاع زیر ۲۵۰۰ متر و در حوالی رودخانه‌ها، جاده‌ها و سکونت‌گاه‌ها است؛ همچنین بخش‌هایی از منطقه حفاظت‌شده دنا با برخی استفاده‌های جوامع محلی که شامل ارزش‌های اقتصادی یا فرهنگی است، تلاقی دارد که به‌ویژه در اطراف شهر سی‌سخت قابل توجه است.



شکل ۲. نقشه‌های ارزش‌های مکانی چهارگانه براساس ادراک جوامع محلی نسبت به استفاده از سرزمین



شکل ۳. پهنه استفاده مردمی و عرصه‌های دارای ارزش حفاظتی

براساس یافته‌ها، اگرچه عمده سطح منطقه حفاظت‌شده دنا از دیدگاه مشارکت‌کنندگان، با ارزش مکانی حفاظتی انطباق دارد، اما این منطقه در مجاورت پهنه استفاده مردمی و حتی تحت نفوذ استفاده‌های اقتصادی و فرهنگی است؛ بنابراین برنامه‌ریزی و مدیریت برای حفاظت مشارکتی از ارزش مکانی حفاظتی، همگام با برنامه‌ریزی استفاده پایدار از منابع مربوط به سایر ارزش‌های مکانی (پهنه استفاده مردمی) معنا می‌یابد و به کمک‌های آموزشی به اهالی منطقه و حمایت مالی نیاز دارد؛ همچنین وجود مناطق با ارزش حفاظتی در بیرون منطقه حفاظت‌شده، نشان از ارزش‌های عمیق ذاتی منطقه مورد مطالعه است که خوشبختانه حتی در ذهنیت مردم محلی جای دارد و باید حمایت و تقویت شود؛ افزون بر این، مناطقی از پهنه استفاده مردمی که به دلیل هم‌پوشانی ارزش‌ها، دارای سه یا دو ارزش هستند، نسبت به مناطق تک‌ارزشی، تحت فشار استفاده‌های بیشتری از منابع سرزمین هستند. این مناطق، باید در اولویت برنامه‌ریزی و مدیریت قرار داده شوند؛ زیرا هسته ارائه خدمات اکوسیستمی به اهالی منطقه هستند.

برنامه‌ریزی آموزشی و طرح‌ریزی بودجه حمایتی به منظور استفاده پایدار از پهنه استفاده مردمی و حفاظت مشارکتی از سرزمین و به‌ویژه منطقه حفاظت‌شده دنا، باید بر گرفتن چنین تدبیرها و اقدام‌های اصلاحی متمرکز باشد: کنترل تبدیل کاربری زمین‌ها (جلوگیری از کشت زیراشکوب جنگل‌ها، جلوگیری از آتش‌زدن دامنه‌های جنگلی، جلوگیری از فروش باغ‌ها به سنگ‌شکن‌ها)، افزایش بازده آبیاری، مدیریت صحیح الگو، تناوب و تنوع کشت، کنترل مناسب پسماند، جلوگیری از برداشت بی‌رویه گیاهان دارویی و خوراکی و جلوگیری از تله‌گذاری و شکار غیر قانونی حیات وحش.

بحث

عمده چالش پهنه‌بندی حفاظت در درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده ناشی از تکیه صرف بر دیوان‌سالاری اداری و دیدگاه برنامه‌ریزان حرفه‌ای است؛ اما واقعیت آن است که سیمای سرزمین پیرامون مناطق حفاظت‌شده، زیر سلطه استفاده‌های مردمی است؛ همچنین فضای جغرافیایی، پیچیده‌تر از آن است که تنها با تخصیص یک کاربری زمین به هر مکان مشخص شود؛ به عبارت دیگر، سرزمین تنها شامل شرایط بیوفیزیکی نیست؛ بلکه شامل هویت جوامع نیز هست. پهنه استفاده مردمی مکان‌های ارزشمندی را دربر می‌گیرد که هدف نقشه‌سازی آن‌ها، نادیده گرفته‌نشدن استفاده‌های جوامع محلی در برنامه‌ریزی و مدیریت حفاظت از سرزمین است. این پژوهش بر شناسایی و نقشه‌سازی مشارکتی ارزش‌های وابسته به مکان برای جوامع محلی دهستان دنا متمرکز بوده است. روش‌شناسی نوشتار پیش رو، تلفیقی از روش ایزاری (متعلق به رویکرد منطقه‌گرا) و روش ارتباطی (متعلق به رویکرد فرایندگرا) بوده است. در ادامه، به روایی و پایداری پژوهش حاضر، براساس پیشینه پژوهش، مبانی نظری، مشاهدات و تجربه‌های موجود پرداخته می‌شود.

ازسویی در سال‌های اخیر، پژوهشگران رشته‌های مختلف با عبور از دیدگاه اثبات‌گرایانه و حرکت به‌سوی دیدگاه تفسیرگرایانه به انجام پژوهش کیفی تمایل بیشتری نشان داده‌اند. ازسوی دیگر، به دلیل پیچیدگی‌های ذاتی و ماهیت بین‌رشته‌ای علوم محیط‌زیستی نیز در بسیاری موارد پژوهش کیفی مناسب‌تر و انعطاف‌پذیرتر بوده است. در پژوهش‌های کمی از آزمون‌های آماری به‌منظور ارزیابی دقت و برآورد ضریب اطمینان استفاده می‌شود؛ اما اطمینان از روایی در پژوهش‌های کیفی، مفهومی نسبی‌گرایانه دارد. هدف مطالعه مردم‌نگاری، شناخت ادراک جهان اجتماعی از منظر مشارکت‌کنندگان درباره پدیده‌ای خاص (برای مثال نوع، شیوه و پراکنش فعالیت‌های آن‌ها) است. به‌گونه‌ای که مشارکت‌کنندگان براساس ذهنیت خود از زمینه مورد نظر، پاسخی ارائه می‌دهند (رودگرمی و اکبرزاده، ۱۳۹۳؛ رنجر و همکاران، ۱۳۹۱)؛ ازاین‌رو، در چنین پژوهش‌هایی، بیشتر استفاده از روش‌های ارتقای روایی مورد نظر است که خلاصه مهم‌ترین آن‌ها به این شرح است: (۱) ارتباط مستمر با محیط پژوهش، مشاهده میدانی و آشنایی عمیق پژوهشگر با شرایط اجتماعی - فرهنگی منطقه؛ (۲) استفاده از روش‌ها و ابزارهای متعدد جمع‌آوری داده و کسب داده‌های موازی؛ (۳) مطالعه موردی و نمونه کوچک؛ (۴) انتخاب نمونه هدفمند و بسندگی نمونه‌گیری تا اشباع اطلاعاتی و (۵) خلاصه‌سازی طبقات داده‌ها به‌وسیله پژوهشگر و بازبینی آن با مشارکت‌کنندگان (عباس‌زاده، ۱۳۹۱؛ نیک‌نشان و همکاران، ۱۳۸۹؛ فقیهی و علیزاده، ۱۳۸۴). به دلیل به‌کارگیری و رعایت این موارد در پژوهش حاضر، صحت اطلاعات به حد مطلوبی ارتقا یافته است. این فرایند در بخش مواد و روش‌ها به‌طور مفصل بیان شده است.

«نظریه نشانگی کارتوگرافی» و «نظریه اجتماعی، اخلاق و کارتوگرافی» در مناطق حفاظت‌شده و پیرامونشان، مبنای به‌کارگیری نقشه‌سازی مشارکتی است (هارلی، ۱۹۹۲؛ کاستی، ۲۰۱۴). برپایه این نظریه‌ها، شناسایی و تعیین مکان‌دار ارزش‌های جمعی سرزمین از دیدگاه مردم به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر حفاظت و استفاده پایدار از سرزمین، با روش‌های مشابه و نزدیک در برخی مناطق جهان انجام شده و روایی قابل قبول را داشته است (کرنی^۱، ۲۰۰۷؛ دیسیکوبولوم و کرابتری^۲، ۲۰۰۶؛ توپال^۳ و همکاران، ۲۰۰۱). روش‌شناسی یادشده به‌ویژه در زمینه حفاظت مشارکتی محیط‌زیست، هم مورد تقاضا و استفاده بوده و هم به‌لحاظ تعمیم‌پذیری و کاربردپذیری عملی به‌منظور

1- Kearney

2- Dicicco-Bloom & Crabtree

3- Toupal

استفاده در موارد دیگر، پایایی داشته است (رامیز گومز و همکاران، ۲۰۱۶؛ برون و فاگرهولم، ۲۰۱۴؛ کاستی، ۲۰۱۴؛ پالومو و همکاران، ۲۰۱۴؛ مک‌لین^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ سیرب و والز، ۲۰۱۲؛ ستار، ۲۰۰۴؛ تالن^۲، ۲۰۰۰). لازم به ذکر است که این پایایی به معنی کسب داده‌های مشابه در موارد دیگر نیست؛ بلکه به معنای قابلیت تعمیم روش‌شناسی پژوهش است؛ زیرا هر مطالعه موردی، شرایط خاص خود را دارد؛ از این رو پهنه استفاده مردمی در دهستان‌های دیگر کشور، می‌تواند به لحاظ انواع ارزش‌های مکانی و شاخصه‌های آن‌ها از دید جوامع محلی، متفاوت بوده و هم‌پوشانی و هم‌جواری متفاوتی نسبت به منطقه حفاظت‌شده مورد نظر داشته باشد که شناخت متفاوتی را درباره ادراک جوامع محلی نسبت به استفاده از سرزمین برای برنامه‌ریزان فراهم می‌سازد. چنین پژوهش‌هایی می‌توانند در آینده به ساده‌سازی گفتگو با جوامع محلی برای کاهش دامنه تعارضات، افزایش سازش با حفاظت، تقویب انگیزه مشارکت مستمر در حفاظت و در نهایت تاب‌آوری تصمیمات تخصیص کاربری اراضی میان توسعه و حفاظت کمک کند.

نتیجه‌گیری

جلب مشارکت و افزایش حمایت اجتماعی برای تحقق اهداف حفاظتی سرزمین، پیش از هر چیز نیازمند شناسایی مکان‌دار عرصه‌های مورد توجه و نیاز جوامع محلی به منظور حفظ رفاه آن‌ها است؛ زیرا جوامع محلی براساس دانش ذهنی و ادراک خود از محیط پیرامون، برای هر مکانی، هویتی قائل بوده و ارزش یا ارزش‌هایی متصور هستند (ویلا^۳ و همکاران، ۲۰۱۴؛ بان^۴ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ریر^۵ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مک‌لین و همکاران، ۲۰۱۳؛ هاسلت^۶ و همکاران، ۲۰۱۰). بر همین اساس و به منظور ایفای نقش حفاظتی مناطق حفاظت‌شده، درک مزایایی که می‌تواند پشتیبان جوامع محلی باشد، مهم است؛ بنابراین پیش از هر اقدامی، لازم است دانش جوامع محلی از ارزش‌های مکانی عرصه‌های درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده جمع‌آوری و تحلیل شود. شناسایی مکان‌دار ارزش‌های قابل درک برای جامعه محلی با نقشه‌سازی مشارکتی، باید به مثابه جزئی از مقدمات برنامه‌ریزی مناطق حفاظت‌شده مورد توجه قرار داده شوند.

براساس بحث و یافته‌های پژوهش حاضر، به کارگیری نقشه‌سازی مشارکتی و سایر ابزارهای مردم‌نگاری، منجر به خلق داده‌ها و اطلاعات جدیدی شده است. مهم‌ترین محصول و ارزش افزوده این مطالعه، بسط محدوده شناخت فضایی برنامه‌ریز از سرزمین با ایجاد نگرشی منطبق بر واقعیت جامعه است. این نگرش مکان‌دار شامل مناطق و موارد زیر بوده است: (۱) درون منطقه حفاظت‌شده دنا در نزدیکی پهنه استفاده مردمی و در مناطق مشخصی در نفوذ استفاده‌های اقتصادی و فرهنگی است (مناطق با ارزش غیر حفاظتی درون منطقه حفاظت‌شده). (۲) همچنین در ذهنیت مردم محلی، مناطق مشخصی با ارزش حفاظتی در بیرون منطقه حفاظت‌شده وجود دارد. (۳) افزون بر این، مناطق وسیعی از دهستان دنا با عنوان پهنه استفاده مردمی قابل بررسی است که به‌طور عمده در خارج از منطقه حفاظت‌شده دنا است؛ (۴) پهنه استفاده مردمی در بخش‌هایی عملکردهای دو یا چندگانه اکوسیستمی دارد. تشخیص تمامی این مناطق، شناختی گسترده و نگرش متفاوتی را درباره مکان به برنامه‌ریز ارائه می‌دهد که مبتنی بر ادراک فضایی مردم از سرزمین مادری است. درک دیدگاه جوامع سکونت‌گاهی دهستان دنا نسبت به محیط

1- McLain

2- Talen

3- Villa

4- Ban

5- Reyers

6- Haslett

پیرامون خود، پشتیبان برنامه‌ریزی فضایی و تخصیص کاربری اراضی به‌منظور استفاده پایدار از سرزمین و حفاظت مشارکتی در آینده خواهد بود.

جامع‌تر و مانع‌ترشدن روش‌شناسی شناخت سرزمین و تناسب رویه آن با محتوا به‌منظور بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده، مستلزم بسط شیوه‌های ترکیب‌گرا است؛ البته باید توجه داشت که این ترکیب‌گرایی، تنها شامل دیدن هم‌زمان درون و پیرامون مناطق حفاظت‌شده و استفاده هدفمند از ابزارهای متنوع جمع‌آوری اطلاعات نیست؛ بلکه لازم است در مطالعات دیگری، این نقشه‌های جدید مبتنی بر دیدگاه جوامع محلی در کنار نقشه‌های متداول مبتنی بر دیدگاه برنامه‌ریزان حرفه‌ای تحلیل، بازنگری و تصمیم‌گیری نهایی شوند. به این ترتیب زمینه برای رفتار فعال جوامع محلی در استفاده پایدار از سرزمین و حفاظت از آن، فراهم می‌شود، رفتار برنامه‌ریز از حالت مشاوره‌ای به حالت تسهیل‌گری گرایش می‌یابد. شکل دولت‌محور ارزیابی، زمینه‌محور و مردم‌محور می‌شود و در نهایت ارتباط مبانی تفکر با اجرای تدابیر متناسب و اقدام‌های اصلاحی تقویت می‌شود. به کارگیری شیوه پژوهش حاضر برای سایر دهستان‌های پیرامون منطقه حفاظت‌شده دنا و همچنین دهستان‌ها و بخش‌های پیرامون سایر مناطق حفاظت‌شده کشور شایسته است و پیشنهاد می‌شود. امید است به کمک نقشه‌سازی مشارکتی، فرصت شناسایی، آموزش و توانمندسازی جوامع محلی در مدیریت درون و پیرامون مناطق حفاظت فراهم شود که خود زمینه‌ساز مشارکت آن‌ها برای ارائه و اجرای راه‌حل‌های نوآورانه در آینده است. چنین روشی، هم مهیاکننده زبان مشترک جلب عملی مشارکت اهالی در گفتمان میان حفاظت و استفاده‌های مردمی است، هم به لحاظ نظری مشروعیت‌بخش نقشه‌سازی است و هم زمینه‌ساز یادگیری از دانش جوامع محلی است.

منابع

- ابوالقاسمی، شیرین (۱۳۹۵). *برنامه حفاظت و توسعه پایدار کوهستان زاگرس مرکزی*. سازمان حفاظت محیط‌زیست و صندوق تسهیلات جهانی محیط زیست. تهران: معارف.
- اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کهگیلویه و بویراحمد (۱۳۹۵). *برنامه مدیریت جامع منطقه آبخیز مدیریتی دنا*. تهران: سازمان حفاظت محیط‌زیست.
- انجمن دامون (۱۳۹۶). *دستورالعمل حفاظت از گونه‌های شاخص زیستی در منطقه زاگرس مرکزی*. تهران: سازمان حفاظت محیط‌زیست.
- رنجبر، هادی؛ حق‌دوست، علی‌اکبر؛ صلصالی، مهوش؛ خوشدل، علیرضا؛ سلیمانی، محمدعلی؛ بهرامی، نسیم (۱۳۹۱). نمونه‌گیری در پژوهش‌های کیفی: راهنمایی برای شروع. *مجله دانشگاه علوم پزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران*، ۱۰ (۳)، ۲۳۸-۲۵۰.
- رودگر، پژمان؛ اکبرزاده، عباس (۱۳۹۳). *راهکارهای تحقیق کیفی برای علوم محیط‌زیستی*. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶ (۱)، ۶۱۵-۶۳۱.
- عباس‌زاده، محمد (۱۳۹۱). تأملی بر اعتبار و پایایی در تحقیقات کیفی. *جامعه‌شناسی کاربردی*، ۲۳ (۱)، ۱۹-۳۴.
- فروزه، محمدرحیم؛ حشمتی، غلامعلی؛ بارانی، حسین (۱۳۹۳). گیاه‌مردم‌نگاری گونه‌های خوراکی و دارویی مرتع دیلگان، استان کهگیلویه و بویراحمد. *پژوهش‌های انسان‌شناسی ایران*، ۴ (۱)، ۱۰۹-۱۲۹.
- فقیهی، ابوالحسن؛ علیزاده، محسن (۱۳۸۴). روایی در تحقیق کیفی. *مدیریت فرهنگ سازمانی*، ۳ (۹)، ۵-۱۹.
- ملکیان، منصوره؛ باقری، راحله (۱۳۹۴). تأثیر اندازه و شکل مناطق حفاظت‌شده بر غنا و تنوع گونه‌ای پستانداران، مطالعه موردی استان کهگیلویه و بویراحمد. *مجله پژوهش‌های جانوری*، ۲۸ (۲)، ۲۳۳-۲۴۳.

- منتظری، مجید (۱۳۹۴). بررسی نقش ناهمواری‌ها در شکل‌گیری خرده‌نواحی اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد. *جغرافیا و توسعه*، (۴۰)، ۱-۱۸.
- نیک‌نشان، شقایق؛ نوروزی، رضاعلی؛ نصر اصفهانی، احمدرضا (۱۳۸۹) تحلیلی بر رویکردهای روایی در پژوهش کیفی. *روش‌شناسی علوم انسانی*، ۱۶ (۶۲)، ۱۴۱-۱۶۰.
- وارثی، حمیدرضا (۱۳۸۱). دنا و اکوتوریسم. *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۱۱ (۴۳)، ۳۴-۳۷.
- یاوری، احمدرضا؛ طیب‌زاده، نگار (۱۳۹۶) *سنجش و ارزیابی در برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین*. تهران: آوای قلم.

References

- Abbaszadeh, M. (2012). Validity and reliability in qualitative researches. *Journal of Applied Sociology*, 23 (1), 19-34. (In Persian)
- Abolghasemi, S. (2016). *Conservation and sustainable development program of central Zagros Mountains*. Department of the environment and global environment facility, Tehran: Maaref. (In Persian)
- Andrade, G. S. M., & Rhodes, J. R. (2012). Protected areas and local communities: an inevitable partnership toward successful conservation strategies?. *Ecology and Society*, 17 (4), 1-16.
- Baker, J., Milner-Gulland, E. J. & Leader-Williams, N. (2011). Park gazettement and integrated conservation and development as factors in community conflict at Bwindi Impenetrable Forest. *Conservation Biology*, 26 (1), 160-70.
- Ban, N. C., Mills, M. J., Jordan Tam, J., C Hicks, C. & Klain, S. (2013). A social-ecological approach to conservation planning: Embedding social considerations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11 (4), 194-202.
- Brown, G. & Fagerholm, N. (2014). Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: a review and evaluation. *Ecosystem Services*, 13, 119-133.
- Brown, G. & Reed, P. (2012). Social landscape metrics: measures for understanding place values from public participation geographic information systems (PPGIS). *Landscape Research*, 37 (1), 73-90.
- Canavire-Bacarreza, G. & Hanauer, M. (2013). Estimating the impacts of Bolivia's protected areas on poverty. *World Development*, 41, 265-285.
- Casti, E. (2014). A reflexive cartography and environmental conservation: a model of participatory zoning. *Global Bioethics*, 25 (2), 125-135.
- Chambers, R. (1994). The Origins and Practice of Participatory/Rural Appraisal. *World Dev*, 22, 953-969.
- Chao, S. (2012). *Forest peoples: numbers across the world*. Forest Peoples Program. Stratford Road: 1c Fosseyway Business Centre.
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemen, L., Petz, K. & Palomo, I. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 4, 4-14.
- Cumming, G. S. (2011). Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience and sustainability. *Landscape Ecology*, 26, 899-909.
- Damoon Association (2017). *Bio-indicator species protection guidelines in the central Zagros region*. Tehran: department of the environment. (In Persian)
- Dicicco-Bloom, B. & Crabtree, B. F. (2006). The qualitative research interview. *Medical education*, 40 (4), 314-21.
- Dudley, N., Groves, C., Redford, K. H. & Stolton, S. (2014). Where now for protected areas? Setting the stage for the 2014 World Parks Congress. *Oryx*, 48 (4), 496-503.
- Fagerholm, N., Käyhkö, N., Ndumbaro, F. & Khamis, M. (2012). Community stakeholders' knowledge in landscape assessments, mapping indicators for landscape services. *Ecological Indicators*, 18, 421-433.
- Faghihi, A. & Alizade, M. (2005). Validity in qualitative research. *Organizational culture management*, 3 (9), 5-19. (In Persian)
- Fisher, J. A., Patenaude, G., Giri, K., Lewis, K., Meir, P. & Pinho, P. (2014). Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: a conceptual framework.

- Ecosystem Services*, 7, 34-45.
- Foroze, M. R., Heshmati, G. & Barani, H. (2014). Ethno botany in Dilgan rangeland for edible and medicinal species. *Iranian Journal of Anthropological Research*, 1 (7), 109-129. (In Persian)
- García-Llorente, M., Martín-López B. & Iniesta-Arandia, I. (2012). The role of multi-functionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: An ecosystem service approach. *Environmental Science and Policy*, 19-20, 136-146.
- Gardner, C. J. (2011). IUCN management categories fail to represent new, multiple-use protected areas in Madagascar. *Oryx*, 45 (3), 336-346.
- Harley, J. B. (1992). *Deconstructing the Map, Discourse text and metaphor in the representation of landscape*. London and New York: Routledge, 277-312.
- Haslett, J. R., Berry, P. M., Bela, G., Jongman, R. H. G., Pataki, G., Samways, M. J. & Zobel, M. (2010). Changing conservation strategies in Europe: A framework integrating ecosystem services and dynamics. *Biodiversity and Conservation*, 19, 2963-2977.
- Hull, V., Weihua, X., Wei, L., Shiqiang, Z., Andrés, V., Jindong, Z., Mao-Ning, T. & Jinyan, H. (2011). Evaluating the efficacy of zoning designations for protected area management. *Biological Conservation*, 144 (12), 3028-3037.
- Kareiva, P. & Marvier, M. (2012). What is conservation science?. *Bio Science*, 62, 962-969.
- Kearney, M. H. (2007). Going deeper versus wider in qualitative sampling. *Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing*, 36 (4), 299.
- Kohkilouyeh and Boyer-Ahmad general department of environmental protection (2016). Dena watershed Comprehensive management program. Tehran: department of the environment. (In Persian)
- Kolahi, M., Sakai, T., Moriya, K., Makhdoum, M. F. & Koyama, L. (2013). Assessment of the effectiveness of protected areas management in Iran: case study in Khojir National Park. *Environ. Manag.*, 52 (2), 514-530.
- Lausche, B., & Burhenne. F. (2011). *Guidelines for Protected Areas Legislation*. IUCN, Zoning within a protected area. Bonn: IUCN Environmental Law Centre.
- Lele, S., Wilshusen, P., Brockington, D., Seidler, R. & Bawa, K. (2010). Beyond exclusion: Alternative approaches to biodiversity conservation in the developing tropics. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2 (1-2), 94-100.
- Leroux, S. J., Krawchuk, M. A., Schmiegelow, F., Cumming, S. G., Lisgo, K., Anderson, L. G. & Petkova, M. (2010). Global protected areas and IUCN designations: do the categories match the conditions?. *Biological Conservation*, 143 (3), 609-616.
- Livingston, W. G. (2009). *Discovering the academic and social transitions of re-enrolling student veterans at one institution: A grounded theory*. A Dissertation for the Degree Doctor of Philosophy Educational Leadership, Clemson University.
- Malekian, M. & bagheri, R. (2015). The influence of size and shape of protected areas on species diversity and richness of mammals, a case study on Kohgiluyeh & Boyer Ahmad protected areas. *Journal of animal research (Iranian journal of biology)*, 28 (2), 233-143. (In Persian)
- Martín-López B., García-Llorente, M., Palomo, I. & Montes C. (2011). The conservation against development paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain). *Ecological Economics*, 70 (8), 1481-1491.
- Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M. & Palomo, I. (2012). Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *Plos one*, 7 (6), 1-11.
- McDonald, R. I. & Boucher, T. M. (2011). Global development and the future of the protected area strategy. *Biological Conserationv*, 144 (1), 383-392.
- McLain, R., Poe, M., Biedenweg, K., Cervený, L., Besser, D. & Blahna, D. (2013). Making sense of human ecology mapping: an overview of approaches to integrating socio-spatial data into environmental planning. *Human Ecology*, 41, 651-665.
- Montazeri, M. (2015). Zoning of Climatic Sub Regions of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province by Emphasis on Land Roughness. *Geography and development Iranian journal*, (40), 1-18. (In Persian)
- Naughton-Treves, L. (2012). Participatory Zoning to Balance Conservation and Development in

- Protected Areas. *Integrating Ecology and Poverty Reduction*, 17, 235-251.
- Nikneshan, S., Norouzi, R. A. & Nasr Isfahani, A. R. (2010). Analytic Study of Approaches to Validity in Qualitative Research. *Methodology of social science and humanities journal*, 16 (62), 141-160. (In Persian)
- Pagella, T. F. & Sinclair, F. L. (2014). Development and use of a typology of mapping tools to assess their fitness for supporting management of ecosystem service provision. *Landscape Ecology*, 29, 383-399.
- Palomo, I., Martín-López B., Zorrilla-Miras, P., García del Amo, D. & Montes, C. (2013 a). Deliberative mapping of ecosystem services within and around Doñana National Park (SW Spain) in relation to land use change. *Regional Environmental Change*, 14, 237-251.
- Palomo, I., Martín-López, B., Potschin, M., Haines-Young, R. & Montes, C. (2013 b). National parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 4, 104-116.
- Palomo, I., Montes, C. & Martin-Lopez, B. (2014). Incorporating the Social-Ecological Approach in Protected Areas in the Anthropocene. *BioScience*, 64 (3), 181-191.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research and evaluation methods, Integrating theory and practice*. USA: International educational and professional publisher, Sage Publications.
- Petursson, J. G. & Vedeld, P. (2015). The “nine-lives” of protected areas. A historical-institutional analysis from the transboundary Mt. Elgon, Uganda and Kenya. *Land Use Policy*, 42, 251-263.
- Ramirez-Gomez, S. O. I., Brown, G. G. & Tjon Sie Fat, A. (2013). Participatory mapping with indigenous communities for conservation: challenges and lessons from suriname. *Electronic Journal of Information System in Developing Countries*, 58 (1), 1-22.
- Ramirez-Gomez, S. O. I., Greg, B. & Pita, A. (2016). Verweijb, René Boot, Participatory mapping to identify indigenous community use zones: Implications for conservation planning in southern Suriname. *Journal for Nature Conservation*, 29, 69-78.
- Ranjbar, H., Haghdooost, A. A., Salsali, M., Khoshdel, A., Soleimani, M. & Bahrami, N. (2012). Sampling in qualitative research: A guide for beginning. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 10 (3), 238-250. (In Persian)
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D. & Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 5242-5247.
- Reyers, B., Biggs, R., Cumming, G. S., Elmqvist, T., Hejnowicz, A. P. & Polasky, S. (2013). Getting the measure of ecosystem services: a social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 107 (11), 268-273.
- Rotich, D. (2012). Concept of zoning management in protected areas. *Journal of Environment and Earth Science*, 2 (10), 173-183.
- Roudgarmi, P. & Akbarzadeh, A. (2015). Qualitative Research Approaches for Environmental Sciences: A review. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), 615-631. (In Persian)
- Salerno, J. D., Mulder, M. B. & Kefauver, S. C. (2014). Human migration, protected areas, and conservation outreach in Tanzania. *Conserv. Biol*, 28, 841-850.
- Satar, M. (2004). *Using Participatory GIS to Identified Local Land use zoning for conservation in Merauke District, Papua, Indonesia*. Thesis Research to get Master Degree in Urban and Regional Planning, Institut Teknologi Bandung, 1-8.
- Schägnier, J. P., Brander, L., Maes, J. & Hartje, V. (2013). Mapping ecosystem services' values: current practice and future prospects. *Ecosystem Services*, 4, 33-46.
- Serna-Chavez, H. M., Schulp, C. J. E., van Bodegom, P. M., Bouten, W., Verburg, P. H. & Davidson, M. D. (2014). A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. *Ecological Indicators*, 39, 24-33.
- Shafer, C. L. (2015). Cautionary thoughts on IUCN protected area management categories V–VI. *Global Ecology and Conservation*, 3, 331-348.
- Stevens, S. (2014). *A new protected area paradigm. Indigenous Peoples, National Parks, and Protected Areas: A New Paradigm Linking Conservation, Culture and Rights*. University of

- Arizona Press, Tucson, 47-83.
- Stortini, C. H., Shackell, N. L. & O'Dor, R. K. (2015). A decision-support tool to facilitate discussion of no-take boundaries for Marine Protected Areas during stakeholder consultation processes, *Journal for Nature Conservation*, 23, 45-52.
- Syrbe, R.-U. & Walz, U. (2012). Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 21, 80-88.
- Talen, E. (2000). Bottom-Up GIS: A new tool for individual and group expression in participatory planning. *Journal of the American Planning Association*, 66, 279-294.
- Toupal, R. S., Zedeño M. N., Stoffle R. W. & Barabe P. (2001). Cultural landscapes and ethnographic cartographies: Scandinavian-American and American Indian knowledge of the land. *Environmental Science & Policy*, 4 (4), 171-184.
- Varesi, H. R. (2002). Dena and ecotourism. *SEPEHR*, 11 (43), 34-37. (In Persian)
- Villa, F., Voigt, B. & Erickson, J. D. (2014). New perspectives in ecosystem services science as instruments to understand environmental securities. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 369, 1-15.
- Wenwu, Du., Sofia, M. & Isami, K. (2015). Models and Approaches for Integrating Protected Areas with Their Surroundings: A Review of the Literature. *Sustainability*, 7 (7), 8151-8177.
- Wiseman, A. W. (2009). *Educational leadership: global contexts and international comparisons*, Lehigh university. USA: Emerald Group Publishing.
- Yavari, A. R. & Tayebzadeh, N. (2017). *Evaluation and assessment methods of landscape planning*. Tehran: Avaye Ghalam. (In Persian)
- Zhang, Z., Sherman, R., Yang, Z., Wu, R., Wang, W., Yin, M., Yang, G. & Ou, X. (2013). Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. *Journal for Nature Conservation*, 21 (4), 225-240.



شبیه‌سازی عددی اثرات ثانویه اقدامات طراحی شده کنترل جزیره حرارتی شهری در تابستان بر کیفیت هوا در کلان‌شهر تهران

ولی‌اله شیخی^۱، حسین ملکوتی^{۱*}، سرمد قادر^۲

^۱گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و تکنولوژی دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۲گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
تاریخچه مقاله: دریافت ۱۱ دی ۱۳۹۸ پذیرش ۲ اسفند ۱۳۹۸ دسترسی آنلاین ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۹	
کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، تغییر اقلیم، تهران، شبیه‌سازی‌های عددی، جزیره گرمایی شهری	
استناد: شیخی، ولی‌اله؛ ملکوتی، حسین؛ قادر، سرمد (۱۳۹۹). شبیه‌سازی عددی اثرات ثانویه اقدامات طراحی شده کنترل جزیره حرارتی شهری در تابستان بر کیفیت هوا در کلان‌شهر تهران. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۴ (۱)، ۶۹-۹۲. doi: 10.22126/GES.2020.4895.2178	جزیره گرمایی شهری، تفاوت دما بین دمای شهری و روستایی را توصیف می‌کند. با توجه به تأثیرات مورد انتظار بر سلامتی انسان و کیفیت هوا، یافتن راهبردهای کاهش جزایر گرمایشی شهری بسیار مهم است. نوشتار پیش رو شبیه‌سازی‌های عددی در یک بازه تابستانی برای بررسی تأثیر اقدامات طراحی شده کاهش جزیره گرمایی شهری روی کیفیت هوای شهری تهران را ارائه کرده است. از مدل WRF/Chem نسخه شیمی مدل پیش‌بینی تحقیقاتی وضع هوا WRF به‌منظور بررسی تأثیر افزایش سطوح با پوشش گیاهی شهری و سطوح بسیار بازتابنده بر غلظت آلاینده‌های اولیه (کربن مونوکسید، نیتریک اکسید) و همچنین آلاینده‌های ثانویه (ازن) درون دره شهری استفاده شد. به‌منظور در نظر گرفتن ناهمگونی‌های مناطق شهری، یک مدل چندلایه‌ای تاج‌پوشش شهری با مدل شیمی جفت شد. استفاده از این مدل تاج‌پوشش در گستره وسیع آن به معرفی چندین کلاس کاربری شهری در مدل شیمی نیاز دارد. کلان‌شهر تهران برای شبیه‌سازی آزمایش‌های طراحی شده در تابستان سال ۲۰۱۶ در نظر گرفته شد. اقدامات کاهش انتخاب شده در شبیه‌سازی‌ها قادر به کاهش دمای شهری در حدود ۱ تا ۳ درجه کلوین و غلظت متوسط روزانه ازن به‌اندازه ۵٪ تا ۱۰٪ شدند؛ همچنین نتایج مدل‌سازی‌ها اثرات ثانویه منفی بر کیفیت هوای شهری که به‌شدت مربوط به کاهش اختلاط عمودی در لایه مرزی شهری است را ارائه دادند. در نتایج شبیه‌سازی افزایش ۱ تا ۲۰ درصدی در آلودگی‌های اولیه مشاهده شده است. برخلاف کاهش متوسط روزانه غلظت ازن، سطوح بسیار بازتابنده به‌علت تابش طول موج کوتاه بازتابی شدید که واکنش‌های فتوشیمیایی را سرعت می‌بخشد، می‌تواند افزایش غلظت ازن حداکثری را تا ۹٪ در ساعات ظهر خورشیدی به‌دنبال داشته باشد.

مقدمه

افزایش دمای ناشی از فعالیت‌ها و دستکاری‌های انسان در زمین، به دلیل تفاوت قابل ملاحظه ظرفیت حرارتی سطوح مصنوعی نسبت به سطوح طبیعی منجر به ایجاد جزیره گرمایی شهری^۱ شده است. افزایش و رشد چشم‌گیر فعالیت‌های انسانی در حوزه صنعت، به ویژه در سال‌های اخیر، باعث افزایش تولید و انتشار آلاینده‌های هوا شده است که بر ترکیب شیمیایی هوای شهری نیز تأثیرگذار هستند. براساس پژوهش‌های انجام‌شده، دمای متوسط سالانه مناطق مرکزی یک کلان‌شهر، حداقل در حدود ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بالاتر از مناطق اطراف آن است، به گونه‌ای که در شب‌های صاف و آرام، مراکز کلان‌شهرها حتی می‌توانند تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد دمای بالاتر را تجربه کنند (اکه^۲، ۱۹۸۲). میزان شار گرمای مصنوعی ناشی از احتراق سوخت، مصرف انرژی، سیستم‌های تهویه مطبوع مصنوعی، فعالیت‌های متابولیک انسانی و همچنین کاهش سرعت باد با توجه به زبری ایجادشده با ساخت و سازهای شهری، به تشکیل شرایط دینامیک اتمسفری خاص در مناطق شهری کمک می‌کند. الگوهای ثانویه ایجادشده به دلیل توسعه شهرها و روستاها، می‌توانند بر پیچیدگی پراکندگی آلاینده‌ها در محیط‌های روستایی اثر داشته باشند (آرنفیلد^۳، ۲۰۰۳). در این راستا مطالعات و پژوهش‌های دقیقی بر تأثیرات جزیره گرمایی کلان‌شهرها در کشورهای مختلف صورت گرفته است (سانتاموریس^۴ و همکاران، ۲۰۱۱).

به تازگی پژوهش‌هایی درباره جزیره حرارتی شهری در هر دو زمینه مدل‌سازی (جیاناروس^۵ و همکاران، ۲۰۱۳؛ لاوت^۶ و همکاران، ۲۰۱۶) و سنجش از دور (پنگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ قاضی و موندال^۸، ۲۰۱۸؛ زاکسک و اوستیر^۹، ۲۰۱۲) افزایش یافته است. تغییرات روزانه جزیره حرارتی سطحی در شرایط آب‌وهوایی ایده‌آل برای شهر پکن در چین بررسی شد (ژو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳). این بررسی، اثرات قابل توجهی از جزیره حرارتی بر لایه مرزی و سلامت شهری را نشان می‌دهد؛ همچنین در تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری برای مناطق مختلف شهری در لندن، ویژگی‌های مختلف لایه مرزی در سطوح شهری و روستایی که کنترل‌کننده جریان و پراکندگی شهری هستند، بررسی شد و نشان داده شد که در شرایط همراه با جزیره گرمایی شدید، سطح شهر بیشترین تأثیر را بر جو و به طور ویژه بر لایه مرزی شهری دارد (بارلو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۵).

پژوهش‌ها بر سطوح پیرامونی ساختمان‌ها نشان دادند که به کارگیری راهبردهای ویژه مانند استفاده از افزایش پوشش گیاهی شهری و یا به کارگیری نماهای اجراشده با مواد با قابلیت بازتابندگی بالا، قادر به کاهش شدت جزیره حرارتی شهری هستند. در مطالعه صورت‌پذیرفته در شهر لس‌آنجلس نشان داده شد که افزایش سپیدایی (آلبیدو) به اندازه ۰/۳ می‌تواند دمای هوای تابستانی را برای مناطق شهری تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد (طاها^{۱۲}، ۱۹۹۷ ب). همچنین تأثیر مثبت افزایش پوشش گیاهی شهری و افزایش سپیدایی سطح بر دمای هوا در شرایط موج گرمایی در شهر برلین مطالعه شد (سوبرت و گراسمن-کلارک^{۱۳}، ۲۰۱۳). این پژوهش نشان داد که بیشترین

1- Urban Heat Island

2- Oke

3- Arnfield

4- Santamouris

5- Giannaros

6- Lauwaet

7- Peng

8- Gazi & Mondal

9- Zakšek & Oštir

10- Zhou

11- Barlow

12- Taha

13- Schubert & Grossman-Clarke

تأثیر دو راهبرد افزایش پوشش گیاهی شهری و بازتابندگی، مربوط به زمان‌های شبانه است. استفاده از سطوح با سپیدایی بالا برای کاهش شدت جزیره حرارتی به‌طور ویژه برای تهران نیز پیشنهاد شده است (شاه‌محمدی^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۸۲).

در بررسی ارتباط بین جزیره حرارتی شهری و کیفیت هوا براساس داده‌های میدانی و مشاهداتی و شبیه‌سازی کیفیت هوا در منطقه شهری تاج‌ونگ مشخص شد که یک سیستم پرفشار پایدار می‌تواند در شکل‌گیری جزیره حرارتی و افزایش میزان ازن، PM_{2.5} و PM₁₀ به دلیل شرایط آب و هوایی ایستا در حوضه کمک کند (لای و چنگ^۲، ۲۰۰۹). از طرفی باید توجه کرد که افزایش پوشش گیاهی شهری و استفاده از سقف‌های با بازتاب بالا می‌تواند به میزان قابل توجهی مصرف انرژی (میزان مصرف برق به‌ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما، ۲۰٪ تا ۴۰٪ افزایش می‌یابد) را کاهش دهد و در نتیجه آن، کیفیت هوا افزایش یابد (اکبری^۳ و همکاران، ۲۰۰۱).

پژوهش‌های اخیر نشان داد که توانایی کنترل توزیع مکانی آلاینده‌های شهری به‌واسطه افزایش آشفستگی و پراکندگی توسعه مناطق شهری تغییر یافته است (سارات^۴ و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه جدیدی که با شبیه‌سازی به‌وسیله مدل WRF/Chem نسخه شیمی مدل پیش‌بینی تحقیقاتی وضع هوا WRF برای بررسی اثرات فرایند اختلاط در لایه مرزی اتمسفری شبانه روی غلظت ازن در شهرها صورت پذیرفت، مشخص شد که غلظت ازن نزدیک به سطح در شب‌های با پایداری کم، زمانی که اختلاط فعال وجود دارد، به دلیل افزایش پراکندگی اکسید نیتروژن که مسئولیت تیراسیون ازن و همچنین اختلاط ازن از لایه باقیمانده به سطح را دارد، بالاتر است (کلین^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش میزان سپیدایی سطح از ۰/۲ به ۰/۵ که افزایش پایداری را به دنبال دارد، باعث کاهش غلظت حداکثری ازن شبیه‌سازی شده در بین ساعت‌های ۱۴:۰۰ و ۱۶:۰۰ ساعت محلی در مناطق شهری و در جهت باد ساحل لس‌آنجلس و ساکرامنتو شد (طاها، ۲۰۰۸)؛ همچنین با به‌کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور در منطقه شهری هلسینکی، تأثیر پایداری اتمسفر بر غلظت سطحی آلاینده‌ها بررسی شد (ووود^۶ و همکاران، ۲۰۱۳). در این پژوهش، بالاترین غلظت ذرات در شرایط پایدار یا در انتقال پایداری از پایدار به خنثی اندازه‌گیری شد.

هدف اصلی نوشتار پیش رو بررسی تأثیر اقدامات مختلف به‌منظور کاهش جزیره حرارتی در کیفیت هوای شهری در کلان‌شهر تهران است؛ اما به‌طور کلی می‌توان هدف را بررسی نقش فرایندهای دینامیکی و شیمیایی در لایه مرزی شهری بر میزان غلظت آلاینده‌های اولیه و ثانویه در تاج‌پوشش شهری بیان کرد. درحالی‌که مطالعات موجود به‌طور عمده بر میزان تأثیرات غلظت ازن شهری تمرکز دارند، پژوهش حاضر فاز شیمی کامل گاز شهری و همچنین آلاینده‌های اولیه را بررسی کرده است.

مواد و روش‌ها

طراحی و راه‌اندازی شبیه‌سازی‌های عددی

در نوشتار پیش رو از مدل WRF/Chem نسخه شیمی مدل پیش‌بینی تحقیقاتی وضع هوا WRF نسخه ۳/۵/۱ (گریل^۷ و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده شده است. دامنه مدل برای آشیانه داخلی ۱۰۳ در ۷۹ سلول شبکه‌ای با

1- Shahmohamadi

2- Lai & Cheng

3- Akbari

4- Sarraf

5- Klein

6- Wood

7- Grell

تفکیک افقی ۱/۳۳ کیلومتر در نظر گرفته شد (شکل ۱). دامنه به نواحی ارتفاعی بالاتری در شمال و در جنوب به دشت کویر گسترش می‌یابد. این اندازه شبکه اجازه بررسی تعداد قابل توجهی از شبکه‌های شهری برای منطقه تهران را فراهم می‌کند. تعداد ترازهای قائم، ۳۲ سطح که ۵ تراز در ۱۰۰ متر نزدیک به زمین واقع شده، در نظر گرفته شد. بازه شبیه‌سازی ۱۷ جولای تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶، دوره‌ای از تنش گرمایی در تهران که می‌تواند به‌عنوان دوره خاصی برای شرایط آب‌وهوایی آینده در تهران لحاظ شود، در نظر گرفته شد. نتایج روز ابتدایی شبیه‌سازی به‌مثابه اسپین آپ^۱ در نظر گرفته شده و از تجزیه و تحلیل‌ها حذف شد.

طرح تعیین پارامتر اثر ساختمانی^۲ (مارتیلی^۳ و همکاران، ۲۰۰۲) با مدل WRF/Chem همراه شده و همان‌طور که در پژوهش چن^۴ و همکاران (۲۰۱۱) شرح داده شد، استفاده شد. طرح چندلایه‌ای، ماهیت سه‌بعدی سطوح شهری را محاسبه می‌کند و ساختمان‌ها را به‌مثابه چشمه و چاهه گرما، رطوبت و حرکت در نظر می‌گیرد. اثرات سطوح افقی (سقف و جاده) و عمودی (دیوار) روی انرژی جنبشی تلاطمی، دمای پتانسیل و اندازه حرکت نیز با این مدل پوشش داده شده است. طرح ساختمانی، چندین لایه را در درون تاج پوشش شهری در نظر می‌گیرد که اجازه رسیدن به وضوح بالای عمودی در نزدیکی زمین و تعامل مستقیم با لایه مرزی شهری را فراهم می‌کند.

به‌منظور تولید شرایط مرزی شیمیایی برای بزرگ‌ترین دامنه، از ابزار پیش‌پردازنده موزیسی^۵ استفاده شده و شرایط اولیه برای داخلی‌ترین دامنه از نسخه چهارم موزارت^۶ (مدلی برای ازن و ردیاب‌های شیمیایی مرتبط با آن) تولید (ایمونس^۷ و همکاران، ۲۰۱۰) و در ادامه داده‌های بزرگ‌ترین دامنه برای شرایط مرزی دامنه‌های داخلی استفاده شد. لیست نشر انسان‌ساز از داده‌های جهانی ریترو^۸ (داده‌های بازتحلیل‌شده ترکیبات شیمیایی تروپوسفری) (شولتز^۹ و همکاران، ۲۰۰۷: ۵۰) از خروجی پیش‌پردازنده پرپ-چم-سورس^{۱۰} (فریتاس^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱) حاصل شد.

برای بهبود نتایج شبیه‌سازی‌ها، لیست نشر به‌روزرسانی‌شده تهران (شهبازی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۶ الف) روی داده‌های انسان‌ساز جهانی در دامنه چهارم ترسیم و در دو زمان متفاوت به مدل معرفی شد. wrfchemi_[00z,12z]_A_d04 - (شکل ۲). لیست نشر تهران برای سال ۲۰۱۳ براساس چشمه‌های اصلی آلاینده‌ها شامل چشمه‌های ایستگاهی مثل مناطق صنعتی، خانگی، پایانه‌ها و چشمه‌های سیّار (حمل‌ونقل جاده‌ای) تهیه شده که نشان می‌دهد در سال‌های اخیر الگوهای نشر آلاینده‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته است. درحالی‌که نشر SO₂ در جنوب و غرب شهر، برای مثال ناشی از نیروگاه‌های برق و پالایشگاه‌های نفت قابل ملاحظه است، نشر VOC ها، CO و NO₂ در مرکز شهر به‌دلیل ترافیک بالا و همچنین مصارف خانگی و صنعتی در این کلان‌شهر بالاتر است.

1- Spin-up

2- BEP

3- Martilli

4- Chen

5- mozbc

6- MOZART

7- Emmons

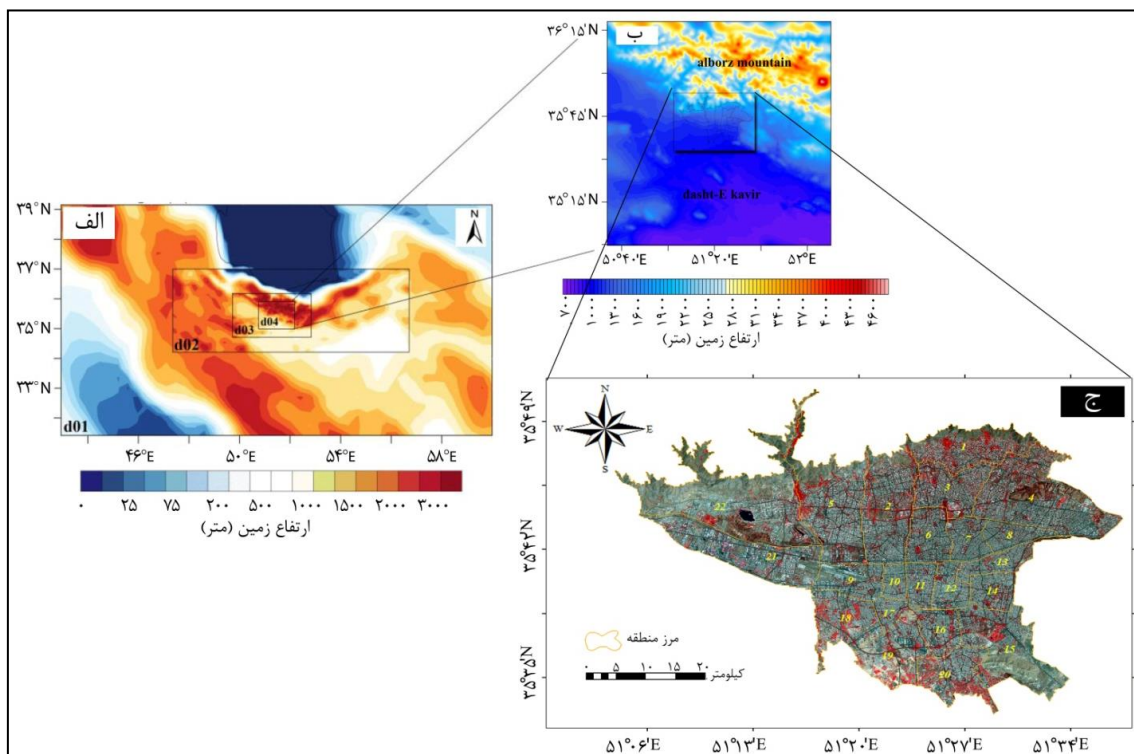
8- REanalysis of the TROpospheric chemical composition (RETRO)

9- Schultz

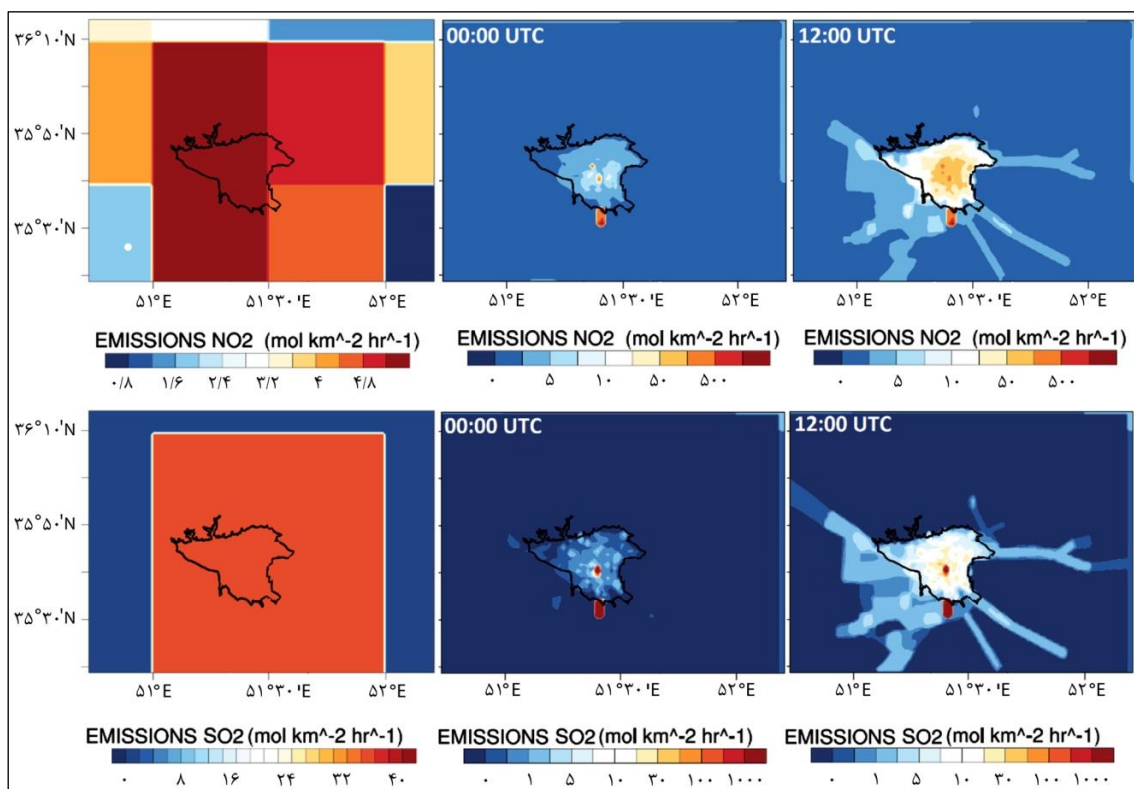
10- PREP-CHEM SOURCES

11- Freitas

12- Shahbazi



شکل ۱. موقعیت دامنه‌های مدل‌سازی با قدرت تفکیک ۱، ۴، ۱۲، ۳۶ (الف، خروجی نرم‌افزار این.سی.ال) همراه با نمایش جداگانه کوچک‌ترین دامنه (دامنه ۴) با شهر تهران درون دامنه (ب، خروجی نرم‌افزار این.سی.ال)؛ همچنین شهر تهران با مناطق بیست و دوگانه آن (ج) در شکل آورده شده است.



شکل ۲. مقایسه لیست نشر جهانی RETRO با لیست نشر محلی به‌روزرسانی شده برای دو ترکیب شیمیایی NO₂ (بالا) و SO₂ (پایین) برای دامنه چهارم شبیه‌سازی (خروجی نرم‌افزار این.سی.ال).

نسخه ۲۰۰۵ مکانیسم‌های شیمیایی پیوند کربنی^۱ (یاروود^۲ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲) و طرح ذرات معلق مدل دینامیکی کیفیت ذرات معلق برای اروپا^۳ برای شبیه‌سازی‌ها استفاده شد (اکرم^۴ و همکاران، ۱۹۹۸). برای معرفی انتشارات گازی و ابروسل طبیعی در مدل از بخش نشر بیوشیمی در پایگاه داده‌های نشر جهانی^۵ استفاده شد (گونزر^۶ و همکاران، ۲۰۱۲).

برای تنظیمات میکرو فیزیک، طرح تک‌لحظه‌ای^۷ با شش کلاس اعمال شد، برای تابش خورشید طرح دودیا^۸ و برای تابش طول موج بلند از طرح RRTM استفاده شد. شار تلاطمی گرما، اندازه حرکت و اجزای موجود در لایه مرزی جوی با طرح لایه مرز سیاره‌ای میلور-یامادا-جانجیک^۹ تعیین پارامتر شد (هو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰). طرح کین-فریتش^{۱۱} فقط برای داخلی‌ترین دامنه برای پارامترسازی همرفت کومولوسی استفاده شد و فرایندهای سطح زمین با مدل سطح زمین نوحا^{۱۲}، یک مدل چندلایه‌ای خاک که شامل معادلات پیش‌یابی برای درجه حرارت خاک و محتوای آب مایع در خاک است (میشل^{۱۳}، ۲۰۰۵: ۱۰)، بیان شد. مشابه با شرایط اولیه و مرزی هواشناسی، دما و رطوبت اولیه خاک از داده‌های NCEP FNL با تفکیک ۱×۱ درجه که برای هر شش ساعت در دسترس است، گرفته شده است (وبگاه سازمان جهانی هواشناسی^{۱۴}). تنظیمات کامل استفاده‌شده برای شبیه‌سازی انتقال شیمیایی WRF-BEP در ادامه آورده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. پیکربندی شبیه‌سازی‌های پایه WRF-BEP

Parameter/scheme	Specification	Parameter/scheme	Specification
Geographical input data	1 km USGS landuse	Meteorological BC	۱×۱ Deg NCEP FNL data
dx, dy	۱/۳۳ کیلومتر	Urbanization scheme	BEP (۲۰۰۲ و همکاران، ۲۰۰۲)
West-east [grid cells]	۱۰۳	Microphysics	Single-Moment
South-north [grid cells]	۷۹	Longwave	RRTMG (ماور ^{۱۵} و همکاران، ۱۹۹۷)
Vertical layers	۳۲	Shortwave	Dudhia
Time frame	۷/۱۷-۷/۲۳-۲۰۱۶	Cumulus (only 4th domain)	Kain-Fritsch
Lowest model level	۱۰ متر	Land surface model	Noah LSM
Land surface model	NoahLSM	Photolysis scheme	Madronich F-TUV (مادرونیچ ^{۱۶} ، ۱۹۸۷)
Chemistry & Aerosol	CB05 Chemistry with MADE sectional aerosols	Dry deposition	Wesley
Biochemistry	MEGAN global data	Chemical boundary	MOZART global data

1- Carbon Bond mechanism (CB05)

2- Yarwood

3- Modal Aerosol Dynamics Model for Europe (MADE)

4- Ackermann

5- Modeling system for estimating the net emission of gases and aerosols (MEGAN)

6- Guenther

7- Single-Moment

8- Dudhia

9- Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)

10- Hu

11- Kain-Fritsch

12- NOAA-LSM

13- Mitchell

14- World Meteorological Organization (WMO)

15- Mlawer

16- Madronich

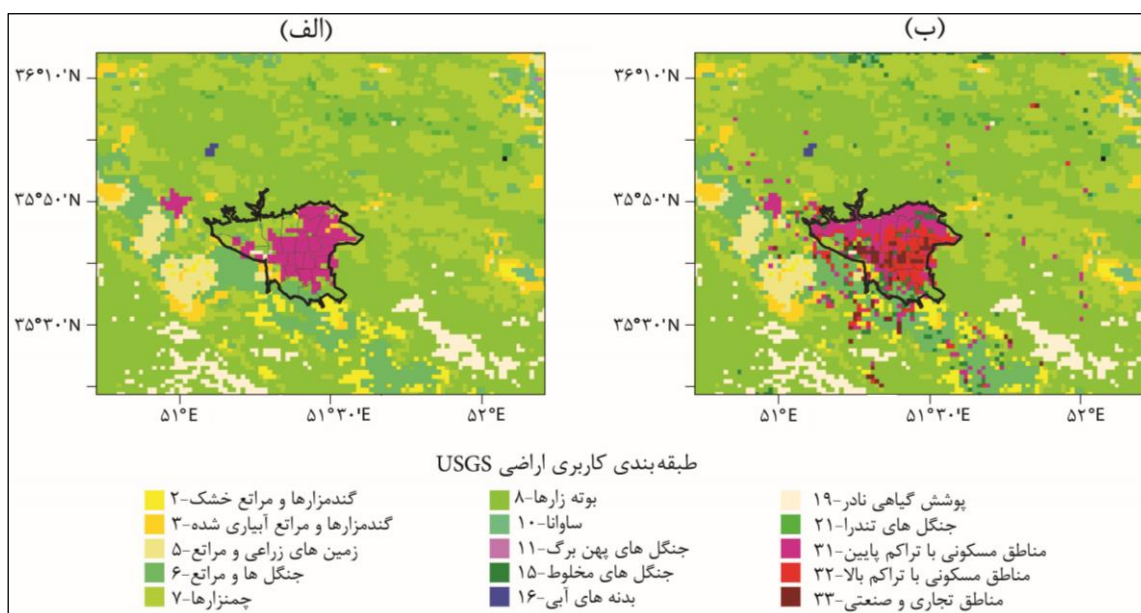
داده‌های ورودی و پیش‌پردازش

مناطق شهری با استفاده از سلول‌های شبکه‌ای به شاخص‌های کاربری زمین ۳۱ (مسکونی با تراکم پایین)، ۳۲ (مسکونی با تراکم بالا) و ۳۳ (صنعتی و تجاری) طبقه‌بندی می‌شوند. این سه طبقه شهری براساس ظاهر و درصد سطوح نفوذناپذیر آن‌ها مشخص می‌شود. مسکونی با تراکم پایین (کلاس ۳۱) شامل مناطق با مخلوطی از ساختمان‌ها و پوشش گیاهی است که ۲۰٪ تا ۷۰٪ پوشش زمین پوشش گیاهی است. به‌طور مشابه، پوشش گیاهی در مناطق مسکونی با تراکم بالا (کلاس ۳۲) کمتر از ۲۰٪ است. صنعتی/تجاری (کلاس ۳۳) شامل زیرساخت‌ها و مناطق بسیار توسعه‌یافته است که به‌صورت مسکونی طبقه‌بندی نشده‌اند (یو.اس.جی.اس.^۱، ۲۰۰۶).

در نسخه فعلی مدل WRF/Chem، طبقه‌بندی‌ای با ۲۴ کلاس طبقه‌بندی زمین به‌طور پیش‌فرض به‌کار گرفته شده است، که اجازه تمایز کاربری‌های شهری در شبیه‌سازی (شکل ۳ الف) را فراهم نمی‌کند.

به‌منظور نشان‌دادن ناهمگونی سطوح زمین شهری و استفاده از مدل کنین شهری با گسترش کامل آن، کلاس اصلی شهری (۱) در مدل WRF/Chem (شکل ۳ الف) به سه زیرکلاس (۳۱ تا ۳۳) تقسیم می‌شود (شکل ۳ ب). شماره کلاس ۳۱ تا ۳۳ مطابق با BEP انتخاب شده است. کلاس‌های کاربری زمین ۲۵ تا ۳۰ در مجموعه داده‌های جدید استفاده نمی‌شوند.

از آنجاکه نهشت خشک آلاینده‌ها به‌طور عمده با نوع کاربری زمین کنترل می‌شود، دسته‌بندی‌های کاربری زمین برای مناطق شهری باید درون کد اصلی بخش نهشت خشک نیز مقداً دهی اولیه شود. به‌منظور محاسبه مقاومت کلی سطح به نهشت خشک گازی (IC) و سرعت نهشت به‌ترتیب، پارامترهای ورودی باید برای همه ۳۳ کلاس طبقه‌بندی‌شده در داده‌های ورودی کاربری زمین تعریف شود. نهشت خشک مسئول بخش بزرگی از حذف مواد شیمیایی ردیاب از اتمسفر است درحالی‌که میزان آن را می‌توان از مقاومت سطحی کل محاسبه کرد (وزلی، ۱۹۸۹؛ وزلی و لشت^۲، ۱۹۸۹).



شکل ۳. داده‌های ورودی برای کاربری زمین WRF الف: برای کاربری اراضی پیش‌فرض ۲۴ طبقه و ب: کاربری اراضی جدید ۳۳ طبقه.

خط سیاه نشانگر مرز شهر تهران است (خروجی نرم‌افزار ان.سی.ال).

همانند قانون اهم در مدارهای الکتریکی، مقاومت سطح برای یازده نوع وسلی برآورد شده است. با توجه به کمبود داده‌های مرجع، کلاس‌های استفاده از زمین ۳۱: «مسکونی با تراکم پایین»، ۳۲: «مسکونی با تراکم زیاد» و ۳۳: «صنعتی/ تجاری» به کلاس 1 Wesely (زمین شهری) ترکیب شده‌اند. کلاس فصلی روی ۱: «نیمه تابستان با پوشش گیاهی پرپشت» تنظیم شده است. تمام شرایط توصیف مقاومت سطح از کار وسلی (۱۹۸۹) بازیابی می‌شوند. همانند رسوب خشک، تعداد صحیح کلاس‌های کاربری زمین باید در بخش گسیل زیست‌ساز نیز مقداری اولیه شود. به‌طور کلی، یک فاکتور گسیل زیست‌ساز صفر برای کاربری اراضی شهری تعیین می‌شود.

به‌منظور شناسایی ویژگی‌های مورفولوژیکی منطقه شهری تهران، ویژگی‌های جاده‌ها و ساختمان‌ها باید درون BEP تعریف شود. میانگین عرض‌ها و جهت‌های جاده‌ها از خروجی‌های سلول شبکه‌ای برابر در گوگل‌ارث^۱ (حدود $1/5 \times 1/5$ کیلومتر) تخمین زده شد که نشان‌دهنده سه کلاس مختلف شهری مربوط به انواع کاربری زمین است. تمام جاده‌ها در این شبکه‌ها اندازه‌گیری شده و میانگین عرض جاده محاسبه شد. میانگین اندازه سقف ساختمان‌ها نیز به همان شیوه محاسبه شد. اطلاعات ارتفاع متوسط ساختمان برای هر طبقه شهری را اداره نقشه‌برداری شهر تهران ارائه داده است. پارامترهای مورفولوژیکی شهری که در درون BEP در نظر گرفته شده ارائه شده است (جدول ۲). هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی ویژه، تابندگی، سپیدایی و طول زبری اندازه حرکت برای سقف‌ها، دیوارها و جاده‌ها به‌صورت پیش‌فرض تعریف و مقادیر از سالامانکا^۲ و همکاران (۲۰۱۲) گرفته شده است.

آزمایش‌های شبیه‌سازی

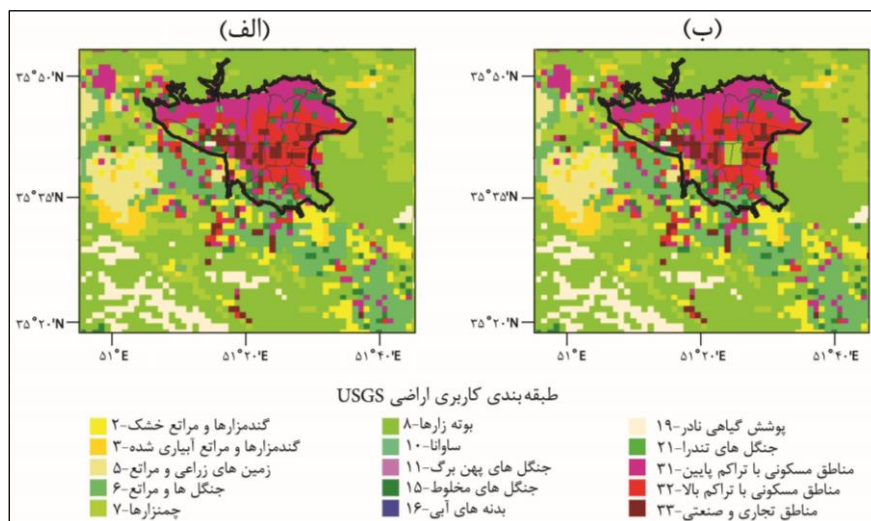
حالت پایه (کنترل) همراه با سه سناریو، با استفاده از طرح BEP (مارتیلی و همکاران، ۲۰۰۲) اجرا شد. طراحی‌های انجام گرفته نشان‌دهنده استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری مانند افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک)، افزایش سپیدایی سطوح ساختمانی (آلبیدو) یا تغییر تراکم ساختمان (تراکم) هستند. برای سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری، پانزده شبکه شهری در مرکز تهران، که ۳٪ از کل مناطق شهری را تشکیل می‌دهند، با چمن‌زار جایگزین شدند (شکل ۴). مدل سطح زمین در WRF توازن گرمایی و آبی را برای سطوح با پوشش گیاهی و توازن گرمای را برای سطوح خشک شده محاسبه می‌کند. تغییر یک سلول شبکه‌ای از نوع شهری به چمن‌زار (شکل ۴ ب) تغییر مقدار کسر پوشش گیاهی از ۰/۱۲ به ۰/۸ و تغییر کسر سطح بدون تبخیر از ۰/۸۸ به ۰/۲ را به‌دنبال دارد. در همان زمان که کسر پوشش گیاهی از ۰/۱۲ به ۰/۸ تغییر می‌کند، ارتفاع زبری Z_0 از ۱/۲ متر به ۰/۱۲ متر برای سلول‌های شبکه مربوطه کاهش می‌یابد. مقادیر از تنظیمات پیش‌فرض WRF نسخه ۳/۵ به‌دست آمد. یک افزایش سپیدایی در سقف و نماها با تغییر سپیدایی سطح برای تمام سلول‌های شبکه‌ای با کاربری اراضی شهری از ۰/۲ به ۰/۷ که رنگ سفیدی با بازتابندگی بالا را نشان می‌دهد (تاکابایاشی و موریاما^۳، ۲۰۰۷)، شبیه‌سازی شده است. این تغییر موجب افزایش تابش خورشیدی بازتاب‌شده از مناطق ساختمانی شده و با این روش، شار حرارتی کل را از سطح تا پایین‌ترین سطح اتمسفر تغییر می‌دهد.

تغییر تراکم ساختمان سناریوی سوم است که تحلیل شد. در شبیه‌سازی‌های حاضر عرض جاده‌های اصلی در جدول تاج‌پوشش شهری BEP از ۱۹ به ۲۲ متر (کلاس ۳۳)، از ۱۵ به ۱۸ متر (کلاس ۳۲) و از ۱۸ به ۲۱ متر (کلاس ۳۱) افزایش یافت. بقیه خواص شهری در مقایسه با حالت کنترل، ثابت باقی ماند. این تغییر باعث افزایش ۲۰٪ نسبت سقف/ جاده در جدول تاج‌پوشش شهری می‌شود. این تغییرات تأثیراتی بر توزیع گرما در دره‌های شهری با در نظر گرفتن سایه، بازتاب و به‌دام‌افتادگی تابش‌های طول موج کوتاه و بلند دارد.

1- Google Earth

2- Salamanca

3- Takebayashi & Moriyama



شکل ۴. تغییر کاربری زمین بین حالت پایه (الف) و سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری (ب) برای منطقه شهری تهران (خط سیاه) و سلول های شبکه اطراف آن (خروجی نرم افزار این.سی.ال.)

جدول ۲. پارامترهای خیابانی و ساختمانی و توزیع ارتفاع ساختمان همان طور که در مدل چند لایه ای تاج پوشش شهری (BEP) تعریف شده است.

پارامترهای خیابان				ارتفاع ساختمان ها			
کلاس شهری	درجه [جهت خیابان از شمال]	عرض خیابان [متر]	عرض ساختمان [متر]	ارتفاع [متر]	کلاس ۱ [%]	کلاس ۲ [%]	کلاس ۳ [%]
۱	۰	۱۹	۲۵	۵	۴۴	۳۳	۴۸
۱	۹۰	۱۹	۲۵	۱۰	۲۶	۲۰	۳۷
۲	۰	۱۵	۱۳	۱۵	۱۴	۲۳	۱۱
۲	۹۰	۱۵	۱۳	۲۰	۸	۱۸	۳
۳	۰	۱۸	۱۰	۲۵	۴	۴	۱
۳	۹۰	۱۸	۱۰	۳۰	۲	۲	-
				۳۵	۲	-	-

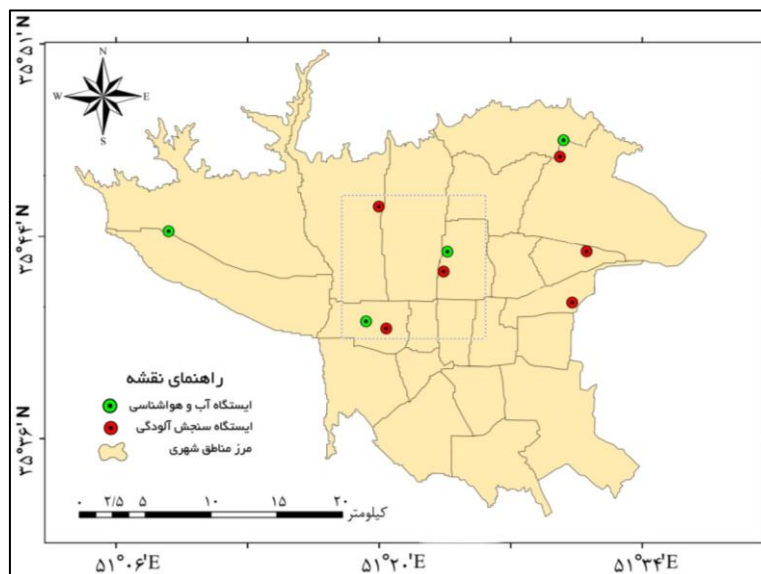
نتایج

اعتبارسنجی شبیه سازی پایه

شبیه سازی WRF_BEP برای اجرای کنترل در یک شبکه شهری واقع در مرکز تهران بررسی شد. غلظت های شبیه سازی شده ترکیبات اولیه و ثانویه در پایین ترین سطح مدل با میانگین گیری روی سه ایستگاه اندازه گیری شهری موجود (جدول ۳ و شکل ۵) در داخل سلول شبکه ای شهری در نظر گرفته شده در مدل مقایسه شد (جدول ۴).

جدول ۳. مشخصات ایستگاه های اندازه گیری کیفیت هوا در داخل منطقه شهری تهران که برای مقایسه بین مدل و اندازه گیری مورد استفاده قرار گرفت

ایستگاه	منطقه	ایستگاه	سال تأسیس	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
اقدسیه	۱	میدان نویناد خیابان شهید لنگری، داخل سازمان هواشناسی	۱۳۷۹	۳۵° ۴۷' ۴۵"	۵۱° ۲۹' ۰۳"
پونک	۵	میدان پونک، خیابان عدل، پارک ترافیک	۱۳۸۶	۳۵° ۴۵' ۴۴"	۵۱° ۱۹' ۵۳"
پیروزی	۱۳	انتهای خیابان پیروزی، جنب پارک پیروزی، خدمات شهری	۱۳۹۰	۳۵° ۴۱' ۴۵"	۵۱° ۲۹' ۳۷"
تربیت مدرس	۶	تقاطع بزرگراه چمران و جلال آل احمد، داخل محوطه دانشگاه تربیت مدرس	۱۳۹۱	۳۵° ۴۳' ۰۳"	۵۱° ۲۳' ۰۹"
گلبرگ	۸	بزرگراه رسالت، خیابان دردشت، خیابان ۷۲ شرقی اندیشه سرای گلبرگ	۱۳۸۷	۳۵° ۴۳' ۵۱"	۵۱° ۳۰' ۲۳"
میدان فتح	۹	میدان آزادی، میدان فتح، داخل ستاد مدیریت بحران	۱۳۸۹	۳۵° ۴۰' ۴۳"	۵۱° ۲۰' ۱۵"



شکل ۵. منطقه شهری تهران با ایستگاه‌های آب‌وهواشناسی (نقاط سبز) و کیفیت هوا (نقاط قرمز). مربع نشان داده شده در وسط تصویر با خط چین سلول شبکه 10 km^2 مربوط به WRF-Chem که برای ارزیابی اجرای مدل شیمیایی استفاده شده را نشان می‌دهد. برای مقایسه، میانگین ۳ ایستگاه قرار گرفته در کادر در نظر گرفته شد.

جدول ۴. مقایسه مشاهدات (میانگین برای سه ایستگاه) با حالت پایه (WRF_BEP) برای مدت‌زمان مدل‌سازی ۱۷ تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶. ارزیابی مطلق (Bias_abs) و نسبی (Bias_rel)، ضریب همبستگی R و ارزیابی مطلق برای شب و روز محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده برای آلاینده‌های ثانویه (ازن) و اولیه (CO , NO_2 , SO_2) و همچنین پارامترهای هواشناسی دمای دو متری (T_2) و سرعت باد (U10) نشان داده شده است.

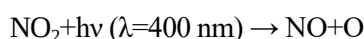
	OBS	WRF_BEP	Bias_abs	Bias_rell	R[-]	Bias_night	Bias_day
$\text{O}_3[\text{ppb}]$	۳۱/۳۷	۲۹/۷۶	-۱/۶	-۰/۰۵	۰/۷۸	-۶/۱۱	۱/۹۲
$\text{SO}_2[\text{ppb}]$	۷/۹۸	۶/۸۳	-۱/۱۵	-۰/۱۴	۰/۶۵	-۰/۱۳	-۱/۹۵
$\text{NO}_2[\text{ppb}]$	۳۴/۰۱	۲۶/۵۱	-۷/۴۹	-۰/۲۳	۰/۷۳	-۴/۶۹	-۹/۶۹
$\text{CO} [\text{ppb}]$	۲۲۴/۷۶	۲۴۳/۱۳	۱۸/۳۷	-۰/۰۸	۰/۲۵	۵۲/۳	-۸/۲۹
$T_2 [^\circ\text{C}]$	۳۱/۸۲	۳۴/۲۱	۲/۳۹	۰/۰۷	۰/۸۸	-	-
U10 [m/s]	۱/۷۷	۱/۹۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۴۶	-	-

میانگین تغییرات روزانه ازن، CO ، NO_2 و SO_2 برای شبیه‌سازی حالت پایه (WRF_BEP) محاسبه شده و با مشاهدات (OBS) مقایسه شد (شکل ۶).

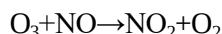
شکل‌گیری و حذف ازن در تروپوسفر به‌طور عمده ناشی از ترکیب اکسیژن اتمی و اکسیژن مولکولی در حضور یک عامل سوم جذب‌کننده انرژی (M) است که M می‌تواند نیتروژن یا اکسیژن مولکولی و حتی ذرات، سطوح یا مولکول‌های گاز ردیاب باشد (معادله ۱). اتم‌های اکسیژن به‌طور عمده از تجزیه نوری NO_2 (معادله ۲) به‌دست می‌آیند که طول موج آستانه برای تجزیه NO_2 و تولید حالت پایه اتم‌های NO و O دارای مقدار $397/8$ نانومتر است. به‌دلیل واکنش‌های تیتراسیون انجام گرفته با NO در غروب، ازن کم شده و دوباره تبدیل به NO_2 می‌شود (معادله ۳) که باعث می‌شود چرخه نیتروژن بسته شود. با توجه به معادلات ۱ تا ۳ به‌تنهایی، هیچ تولید خالصی از ازن مشاهده نمی‌شود و واکنش در حالت تعادل قرار دارد.



معادله ۱



معادله ۲



معادله ۳

با مقایسه ضرایب سرعت واکنش می‌توان مشاهده کرد که از بین رفتن ازن به‌طور قابل توجهی سریع‌تر از تولید ازن در معادله ۲ رخ می‌دهد. برای تولید خالص ازن حضور اکسیدهای نیتروژن به‌تنهایی کافی نیست و عامل سوم M مورد نیاز است. اطلاعات بیشتر درباره روابط شیمیایی تشکیل‌دهنده ازن را می‌توان در مطالعه فینالیسون و پیتس^۱ (۱۹۹۹: ۲۶۴) یافت.

غلظت ازن حداکثری در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در دوره مدل‌سازی بین ۴۵ تا ۸۵ ppb متغیر است. مدل برآورد کمتری از ازن در طول شب و برآورد بیشتری از ازن در طول روز را نشان داد (جدول ۴ و شکل ۶ الف). غلظت بیش از حد پایین ازن در طول شب ممکن است به دلیل برآورد کمتر غلظت ازن در لایه باقی‌مانده یا اختلاط پایین‌سو خیلی ضعیف ازن از لایه باقیمانده به سمت سطح باشد. از آنجاکه ازن در لایه باقی‌مانده شبانه با تیتراسیون و نهشت خشک مصرف و حذف نمی‌شود، غلظت در طول شب در آنجا بیشتر از نزدیک سطح است. اهمیت اختلاط عمودی برای غلظت‌های شبانه ازن در نزدیکی سطح در مطالعات متعددی گزارش شده است (کلین^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ژانگ و راثو^۳، ۱۹۹۹). قطعی نبودن کلی غلظت‌های شبیه‌سازی شده ازن در مناطق عرض‌های میانی با چندین مدل میان‌مقیاس کیفیت هوا را ایم^۴ و همکاران (۲۰۱۵) بررسی کرده‌اند. افزون بر کیفیت مکانیسم شیمی، پارامترکردن نهشت خشک و کیفیت عمومی پیش‌بینی هواشناسی، عدم قطعیت موجود در لیست نشر پیش‌ماده‌ها، می‌تواند دلیل خطا در غلظت‌های ازن شبیه‌سازی شده باشد.

برای گونه‌های شیمیایی با طول عمر بالا مانند CO (شکل ۶ ب)، غلظت‌های بسیار پایین در طول روز زمانی که اختلاط خوب هوا وجود دارد، تا حدودی می‌تواند به مقادیر مرزی بیش از حد پایین نسبت داده شود. پیک CO در ساعت ۷ صبح، با یک برآورد بیشتر WRF_BEP به اندازه ۷۶ ppb (۲۲٪) بسیار خوب نمایش داده شده است. برای گونه‌های با طول عمر کوتاه‌تر، مانند NO₂ اثر شرایط مرزی کمتر است (جیوردانو^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). درباره NO₂، غلظت صبح به‌خوبی بازتولید می‌شود، اما WRF_BEP تمایل به برآورد کمتر مقادیر روزانه تا بیش از ۴۰٪ دارد (شکل ۶ ج). برآورد بیشتر اختلاط عمودی در روز ممکن است یکی از دلایل برآورد کمتر NO₂ نزدیک سطح باشد. اگر NO بیشتری با اختلاط روزانه در نزدیکی سطح حذف شود، NO کمتری برای تولید NO₂ در نزدیکی سطح، در دسترس است (سنفیلد و پاندیس^۶، ۲۰۱۲: ۱۷۵).

غلظت‌های SO₂ همانند NO₂ برای دوره‌های شبانه بهتر شبیه‌سازی شده و تمایل به برآورد کمتر در طول دوره روز مشاهده می‌شود؛ اما به‌نظر می‌رسد روند تغییرات (شکل ۶ د) به‌خوبی بازتولید شده است. اگرچه به‌نظر می‌رسد پروفایل‌های روزانه گازهای خروجی بسیار خوب تولید می‌شود، برآورد بیشتر در طول ساعات پرتردد ممکن است ناشی از این واقعیت باشد که تکامل روزانه لایه مرزی کمی تأخیر دارد که به سرعت منجر به برآورد کمتر اختلاط می‌شود.

اریبی نسبی برای ترکیبات اولیه و ثانویه شبیه‌سازی شده از ۰/۵- برای ازن تا ۰/۲۳- برای NO₂ است، اندازه اریبی در روز در مقایسه با اریبی شبانه برای NO₂ و SO₂ برخلاف CO و ازن بیشتر است. همبستگی بین WRF_BEP و OBS به‌جز برای CO بیشتر از ۰/۵ است.

1- Finlayson-Pitts & Pitts Jr

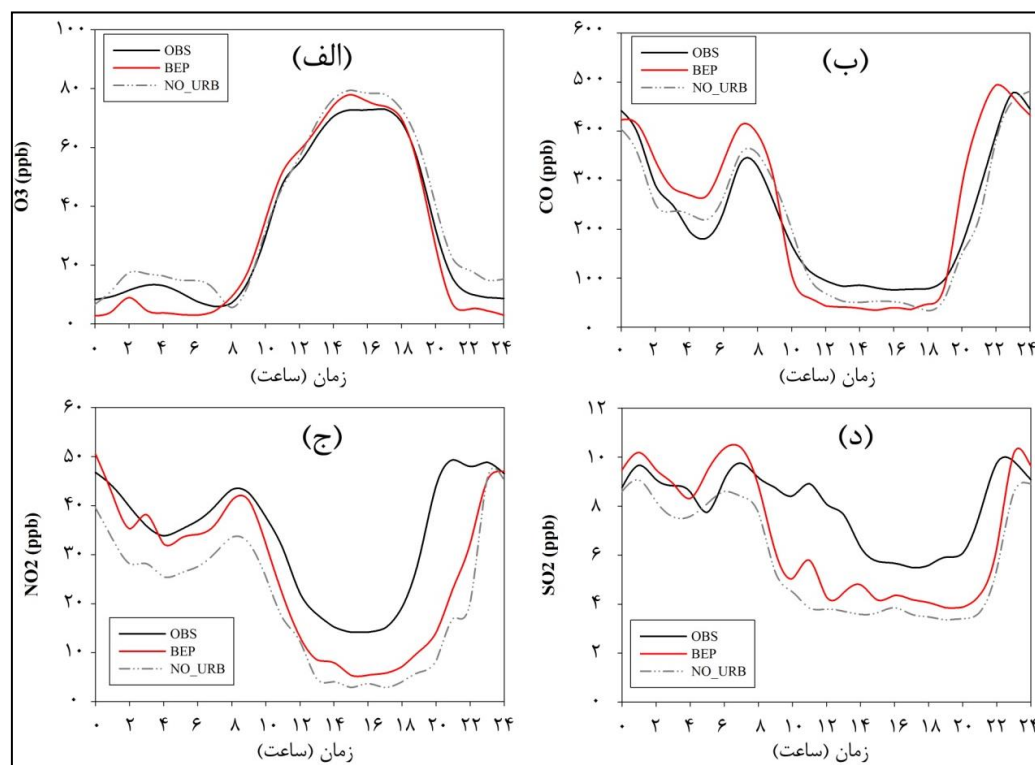
2- Klein

3- Zhang & Rao

4- Im

5- Giordano

6- Seinfeld & Pandis



شکل ۶. تغییرات روزانه غلظت مدل سازی شده ازن (الف)، CO (ب)، NO₂ (ج)، SO₂ (د) در یک شبکه شهری با استفاده از BEP (قرمز) در مقایسه با میانگین مشاهدات از ایستگاه‌های اندازه‌گیری واقع در داخل آن سلول شبکه‌ای (مشکی). منحنی‌ها نشان‌دهنده مقادیر میانگین برای دوره ۱۷ تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶ است.

به‌طور کلی، با عملکرد بهبود یافته به‌طور میانگین درجه حرارت ۲/۳۹ درجه سانتی‌گراد در طول روز بیشتر برآورد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سرعت باد پایین مشاهده‌شده برای دوره تابستانی مورد بررسی، تا حدودی توانسته با WRF_BEP بازتولید شود.

ضریب همبستگی برای دما بیشتر از ۰/۵ است؛ اما این ضریب برای سرعت باد کمتر از ۰/۵ را نشان می‌دهد. اگرچه تفکیک افقی شبکه‌ای ۱/۳۳ کیلومتر برای شبیه‌سازی الگوی جریان در مناطق ناهموار نامناسب به‌نظر می‌رسد؛ با این وجود آزمایش‌های بیشتر نشان داد که WRF_BEP توانایی بازسازی مسیرهای باد و وزش باد در این منطقه را دارد؛ همچنین خطای مقادیر مطلق، هدف اصلی نوشتار پیش رو را مختل نمی‌کند؛ زیرا این مطالعه به‌طور عمده تغییرات نسبی بین سناریوها و حالت پایه را بررسی کرده است.

نتایج شبیه‌سازی‌های عددی

اثرات روی پارامترهای هواشناسی

مقادیر میانگین دمای پتانسیل ۲ متری (T₂)، سرعت باد ۱۰ متری (U₁₀)، انرژی جنبشی تلاطمی (TKE) و ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای (PBLH) و همچنین تابش طول موج کوتاه پایین‌سو و بالاسو (SW) برای ارائه اثر تغییرات کاربری و سطوح بر این متغیرها در ادامه آورده شده است (جدول ۵). رفتار پارامترهای TKE و PBLH مطالعه شده‌اند؛ زیرا تبادل تلاطمی بر توزیع و رقیق‌سازی قائم آلاینده‌های اولیه درون تاج‌پوشش شهری تأثیر می‌گذارد. انرژی جنبشی تلاطمی به‌صورت پیش‌آگهی محاسبه شده و برای تعیین ضریب پخش پیچکی در طرح لایه مرزی MYJ استفاده می‌شود (جانکیک^۱، ۱۹۹۴؛ جانکیک، ۲۰۰۱: ۴۰). ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای به‌صورت ارتفاعی

تعریف می‌شود که در آن عبارت $\text{TKE} \times 2$ اولین بار به کمتر از $0.2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ افت می‌کند (یامادا^۱، ۱۹۸۲). دوره میانگین‌گیری ۱۷ تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶ است. میانگین روزانه (ساعت ۰۷:۰۰ تا ۲۰:۰۰) و میانگین شبانه (ساعت ۲۱:۰۰ تا ۰۶:۰۰) برای بررسی‌های بیشتر محاسبه شده است (جدول ۵).

به‌طور میانگین، به‌ترتیب دمای هوا، $3/37$ درجه سلسیوس و $1/7$ درجه سلسیوس برای سناریو آلبیدو و پارک کاهش می‌یابد. افزایش در بازتاب سطح (آلبیدو) باعث کاهش شدیدتر دما در طول روز نسبت به دوره شبانه می‌شود. با این حال، در افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک) اثر خنک‌کننده در طول شب، بهتر از سناریو آلبیدو است. برای سناریو تراکم، برای روز و شب، تنها یک اثر جزئی در نوسان دما مشاهده شد.

میانگین سرعت باد در طول دوره شبیه‌سازی پایین و کاهش نسبی از حالت پایه به آلبیدو کمابیش 40% است. چه‌بسا کاهش سرعت باد ناشی از این واقعیت باشد که دمای نزدیک به سطح پایین‌تر در شهر برای حالت آلبیدو منجر به ازدست‌رفتن جمله تولید شناوری در معادله تولید TKE شود که باعث کاهش سرعت اصطکاکی u^* می‌شود (استال^۲، ۱۹۸۸: ۶۷). برای سناریو افزایش پوشش گیاهی شهر، افزایش کوچکی در U_{10} در مرکز شهر، به‌دلیل کاهش ارتفاع زبری به‌سبب حذف ساختمان‌ها دیده می‌شود. به‌نظر این اثر می‌رسد اثرات دمایی را بیشتر کند. سناریو تراکم تأثیری بر سرعت باد نشان نداد.

درباره میانگین روزانه، می‌توان کاهش TKE حدود $0.23 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ و کاهش PBLH به‌ترتیب حدود 292 - متر و 110 - متر برای سناریو آلبیدو و پارک را مشاهده کرد. کاهش عمده در اختلاط تلاطمی و ارتفاع لایه مرزی را می‌توان به سناریو آلبیدو با یک کاهش شبیه‌سازی شده TKE به‌اندازه $0.34 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ و کاهش PBLH ، 432 - متر در روز نسبت داد. کاهش ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای برای سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک) در طول روز حدود 165 - متر و در طول شب حدود 42 - متر است. اثر لایه مرزی شبانه بزرگ‌تر می‌تواند به خنک‌سازی به‌وسیله تبخیر در سطوح پوشش گیاهی در شب منجر شود.

هنگام کاهش تراکم ساختمان (تراکم)، WRF-Chem اثر جزئی بر TKE و PBLH نشان می‌دهد که می‌تواند صرف‌نظر شود. افزایش آلبیدو مصالح ساختمانی به افزایش تابش طول موج کوتاه بازتابی منجر می‌شود. برای حالت پایه و تراکم، به‌طور متوسط حدود 15% از میانگین روزانه تابش طول موج کوتاه از سطح بازتاب می‌شود، درحالی‌که این مقدار برای پارک حدود 20% و برای آلبیدو به حدود 40% می‌رسد.

جدول ۵. اثر سناریوهای کاهشی UHI بر دمای پتانسیل دو متری (T2)، سرعت باد ده متری (U10)، انرژی جنبشی تلاطمی (TKE)، ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای (PBLH) و تابش طول موج کوتاه پایین‌سو و بالاسو در سطح (SW) در مرکز شهر. مقادیر برای میانگین دوره مدل‌سازی ۱۷ تا ۲۳ اوت ۲۰۱۶ ارائه شده است.

scenario	$\text{T2 (}^\circ\text{C)}$	$\text{TKE (m}^2/\text{s}^2)$	SW_D (W/m)	SW_U (W/m)	U10 (m/s)	PBLH (m)
control	۳۴/۲۱	۰/۴۴	۳۷۳/۸۹	۵۶/۲	۱/۷۷	۱۲۰۶/۵۱
	(۲۷/۹۲، ۳۹/۱۵)	(۰/۲۴، ۰/۵۹)			(۱/۱۷، ۲/۲۴)	(۸۷۶/۹۵، ۱۴۶۵/۴۵)
albedo	۳۰/۸۴	۰/۲۰	۳۷۹/۹۷	۱۵۰/۵	۱/۲۴	۹۱۴/۲۴
	(۲۶/۴۱، ۳۴/۳۲)	(۰/۱۶، ۰/۲۵)			(۰/۸۲، ۱/۵۷)	(۷۶۳/۶۶، ۱۰۳۲/۵۵)
park	۳۲/۵۱	۰/۲۱	۳۷۴/۹۳	۷۳/۴	۱/۸۲	۱۰۹۵/۷۱
	(۲۶/۱۳، ۳۷/۵۲)	(۰/۱۱، ۰/۲۷)			(۱/۰۶، ۲/۴۱)	(۸۳۴/۹۹، ۱۳۰۰/۵۶)
density	۳۳/۹۸	۰/۴۳	۳۷۳/۹۰	۵۴/۷	۱/۷۳	۱۲۱۶/۷۴
	(۲۷/۶۱، ۳۸/۹۸)	(۰/۲۳، ۰/۵۸)			(۱/۱۱، ۲/۲۱)	(۸۷۱/۳۴، ۱۴۸۸/۱۲)

تفاوت در تابش بازتابی طول موج کوتاه (SW_UP) بین پارک و حالت پایه می‌تواند به تغییر آلبیدو برای مناطق ساخته‌شده (۰/۱۵) به مقادیر چمن‌زار (۰/۲۰) مرتبط شود. کمابیش نبود تفاوت در تابش خورشیدی بین حالت پایه و تراکم نیز می‌تواند تأثیر بسیار کم این سناریو روی درجه حرارت را نشان دهد. به نظر می‌رسد که تغییر تراکم ساختمان به اندازه ۱٪ کوچک تغییرات غیر معنی‌داری روی درجه حرارت، سرعت باد و اختلاط در مدل تاج‌پوشش شهری BEP ایجاد کند.

اثر بر غلظت آلاینده‌ها

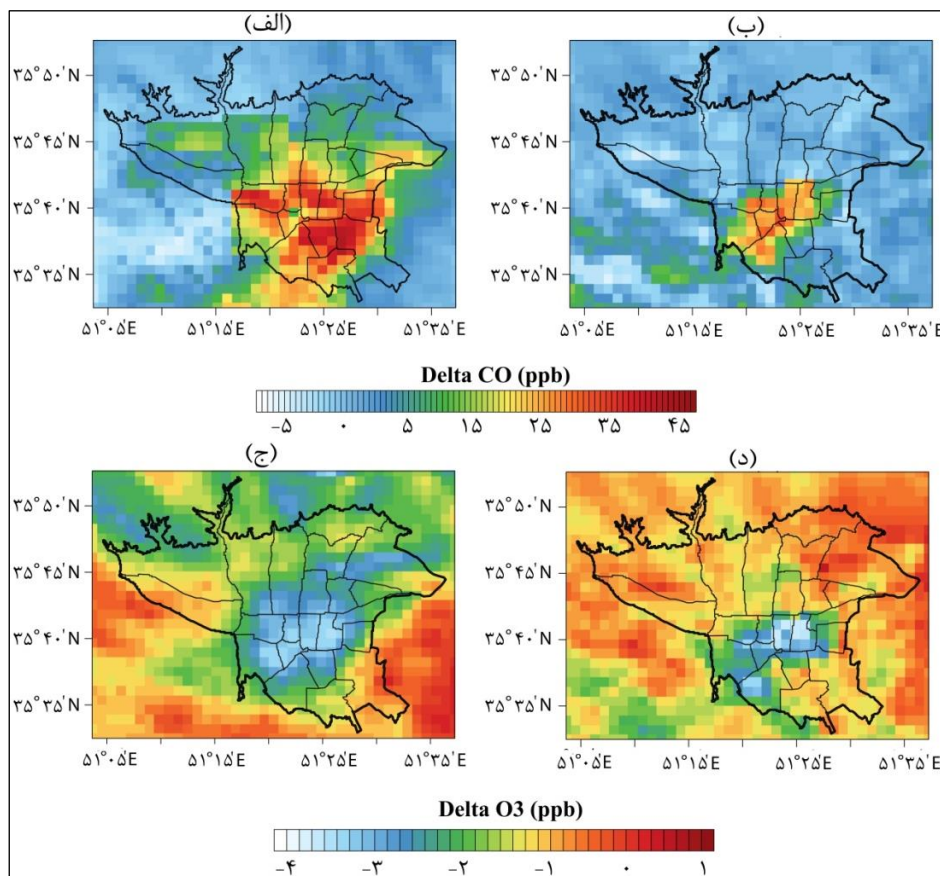
مقادیر میانگین غلظت‌های نزدیک به سطح (~۱۰ متری) مربوط به SO_2 , NO , NO_2 , CO و ازن در بازه زمانی شبیه‌سازی (۱۷ تا ۲۳ جولای) براساس مقادیر میانگین در مرکز شهر برای حالت پایه و سه سناریو محاسبه شده است (جدول ۶). به‌طور کلی، کاهش دمای هوای نزدیک به سطح، باعث افزایش آلاینده‌های اولیه مانند NO , SO_2 و CO می‌شود. هرچند NO_2 به‌طور عمده از نشر اولیه سرچشمه می‌گیرد، اما این آلاینده از تیتراسیون NO نیز حاصل می‌شود. درباره NO , SO_2 و CO ، قوی‌ترین تأثیر در حالت آلبیدو یافت می‌شود. افزایش مقدار متوسط غلظت NO به اندازه ۲۲٪، SO_2 به بیش از ۴٪ و افزایش مقدار متوسط CO در این سناریو به حدود ۱۹٪ می‌رسد. افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک) به افزایش غلظت هرسه ترکیب به ترتیب به اندازه ۱۰٪، ۱٪ و ۱۰٪ منجر می‌شود. دی‌اکسید نیتروژن برای سناریو آلبیدو و پارک به ترتیب به میزان ۱۶٪ و ۵٪ افزایش یافته است. با این حال کاهش دمای هوا می‌تواند به کاهش غلظت متوسط ازن به بیش از ۵٪ (آلبیدو) و ۱۰٪ (پارک) منجر شود. اثرات کوچک سناریو تراکم ساختمانی بر متغیرهای هواشناسی (جدول ۵) منجر به تأثیرات جزئی بر غلظت آلاینده‌ها می‌شود؛ بنابراین، تراکم در بحث‌های مطرح‌شده در ادامه این مقاله حذف شد.

یک تصویر بزرگ‌نمایی‌شده از داخلی‌ترین دامنه مدل WRF-Chem که به‌طور کامل منطقه شهری تهران واقع در مرکز دامنه را دربر می‌گیرد، با تفکیک افقی ۱/۳۳ کیلومتر نشان داده شده است (شکل ۷). در این تصویر اثرات فضایی سناریوها در منطقه شهری تهران برای CO (الف و ب) و ازن (ج و د) نشان داده شده است. رنگ‌های مختلف اثرات را بر غلظت نزدیک به سطح نشان می‌دهد که برای آلاینده‌های اولیه مثبت و برای آلاینده‌های ثانویه منفی است.

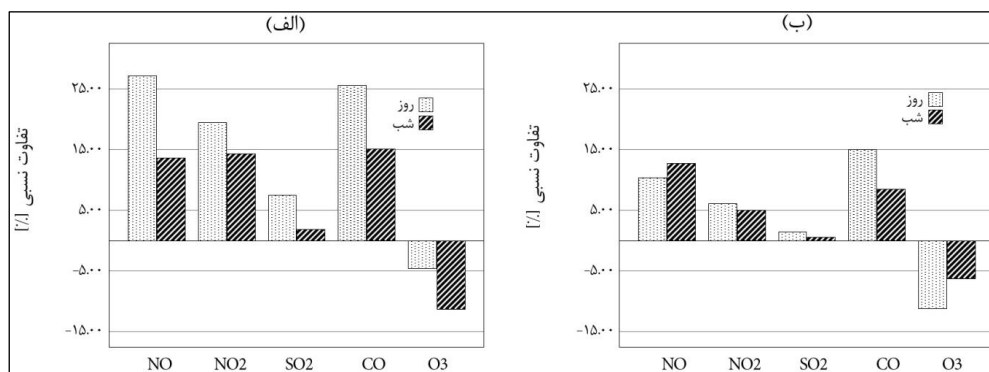
درحالی‌که اثرات روی آلاینده‌های اولیه برای سناریو آلبیدو، با حداکثر افزایش غلظت ۴۶ ppb (۱۹٪) مشخص‌تر است، وضعیت برای ازن با حداکثر کاهش میانگین ۳/۱۵ ppb (۱۱٪) برای سناریو پارک، متفاوت است؛ افزون بر این، میانگین نسبی تفاوت غلظت بین سناریو و حالت پایه (کنترل) به‌طور جداگانه برای شب و روز آورده شده است (شکل ۸).

جدول ۶. تأثیر اقدامات طراحی‌شده برای کاهش جزیره حرارتی بر میانگین دوره شبیه‌سازی، میانگین غلظت روزانه و شبانه NO , NO_2 و CO و ازن در مرکز شهر برای پایین‌ترین سطح مدل (~۱۰ متری). مقادیر برای میانگین دوره مدل‌سازی ۱۷ تا ۲۳ اوت ۲۰۱۶ به صورت ppb ارائه شده است.

Density	Park	Albedo	Control	Scenario
(۴/۶۵, ۹/۳۸) ۷/۳۰	(۵/۱۴, ۱۰/۲۱) ۷/۹۸	(۵/۱۸, ۱۱/۷۶) ۸/۷۸	(۴/۵۶, ۹/۲۵) ۷/۱۹	NO [ppb]
(۳۸/۲۲, ۱۷/۸۴) ۲۶/۸۱	(۳۹/۴۶, ۱۸/۹۲) ۲۷/۹۶	(۴۲/۹۲, ۲۱/۲۹) ۳۰/۸۱	(۳۷/۵۶, ۱۷/۸۳) ۲۶/۵۱	NO_2 [ppb]
(۸/۷۹, ۵/۳۲) ۶/۸۵	(۸/۸۳, ۵/۴۰) ۶/۹۱	(۸/۹۴, ۵/۷۲) ۷/۱۴	(۸/۷۸, ۵/۳۲) ۶/۸۳	SO_2 [ppb]
(۳۵۱/۰۸, ۱۸۰/۲۰) ۲۵۵/۳۹	(۳۶۸/۱۴, ۱۹۲/۵۸) ۲۶۹/۸۳	(۳۹۰/۷۰, ۲۱۰/۲۵) ۲۸۹/۶۵	(۳۳۹/۴۷, ۱۶۷/۴۳) ۲۴۳/۱۳	CO [ppb]
(۸/۱۸, ۴۶/۰۵) ۲۹/۳۹	(۷/۸۲, ۴۱/۳۷) ۲۶/۶۱	(۷/۴۰, ۴۴/۴۵) ۲۸/۱۵	(۸/۳۴, ۴۶/۵۹) ۲۹/۷۶	O_3 [ppb]



شکل ۷. تفاوت مطلق بین اجرا سناریو و حالت پایه برای میانگین غلظت شبیه‌سازی شده CO (الف و ب) و ازن (ج و د) برحسب ppb در پایین‌ترین سطح مدل. سناریوی آلودگی در سمت چپ و سناریو پارک در سمت راست نشان داده شده است (خروجی نرم‌افزار این.سی.ال).



شکل ۸. تفاوت نسبی بین مقادیر میانگین شبیه‌سازی شده در سناریو آلودگی (الف) و پارک (ب) با حالت پایه (کنترل). مقادیر روز با رنگ خاکستری و مقادیر شبانه با رنگ سیاه نشان داده شده است. مقادیری که برای NO، NO₂، CO و O₃ با مقادیر منفی محاسبه می‌شوند، نشان‌دهنده کاهش نسبی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش در غلظت میانگین نزدیک به سطح است.

گرچه غلظت مطلق NO₂، SO₂ و CO در طول شب بیشتر از روز است، به‌جز برای NO در سناریو افزایش پوشش گیاهی، تأثیرات نسبی کاهش دما بر غلظت در طول روز بیشتر است. افزون بر وابستگی شدید به منابع گسیل محلی، غلظت روزانه NO_x، SO₂ و CO برای سناریوها نسبت به شبیه‌سازی حالت پایه بیشتر است؛ زیرا هردو سناریو باعث کاهش دمای نزدیک زمین و در نتیجه کاهش اختلاط تالاطمی می‌شوند. این اثر برای سناریو آلودگی از سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک) برجسته‌تر است. درباره سناریو افزایش پوشش گیاهی

شهری، به جز برای NO، اثرات نسبی روزانه قوی تر است؛ افزون بر این، به هر حال این شکل نشان می دهد که غلظت های عموماً بسیار کم در شب (جدول ۶)، منجر به تغییرات کوچک می شود که اثرات نسبی بزرگ را به دنبال دارد. از آنجاکه در طول روز، ازن اضافی می تواند به علت افزایش میزان فوتولیز روی سطوح با بازتاب بالا شکل بگیرد، در این مطالعه افزایش آلودگی مناطق ساختمانی باعث کاهش مشخص تری از متوسط غلظت ازن در طول شب نسبت به طول روز شده است.

تغییرات روزانه

تفاوت میانگین ساعتی نسبی (میانگین گیری شده روی یک ساعت مشابه از روز برای همه روزهای مورد مطالعه) بین سناریوها (پارک، آلودگی) و حالت پایه برای غلظت های نزدیک به سطح ازن، NOx و CO نشان داده شده است (شکل ۹).

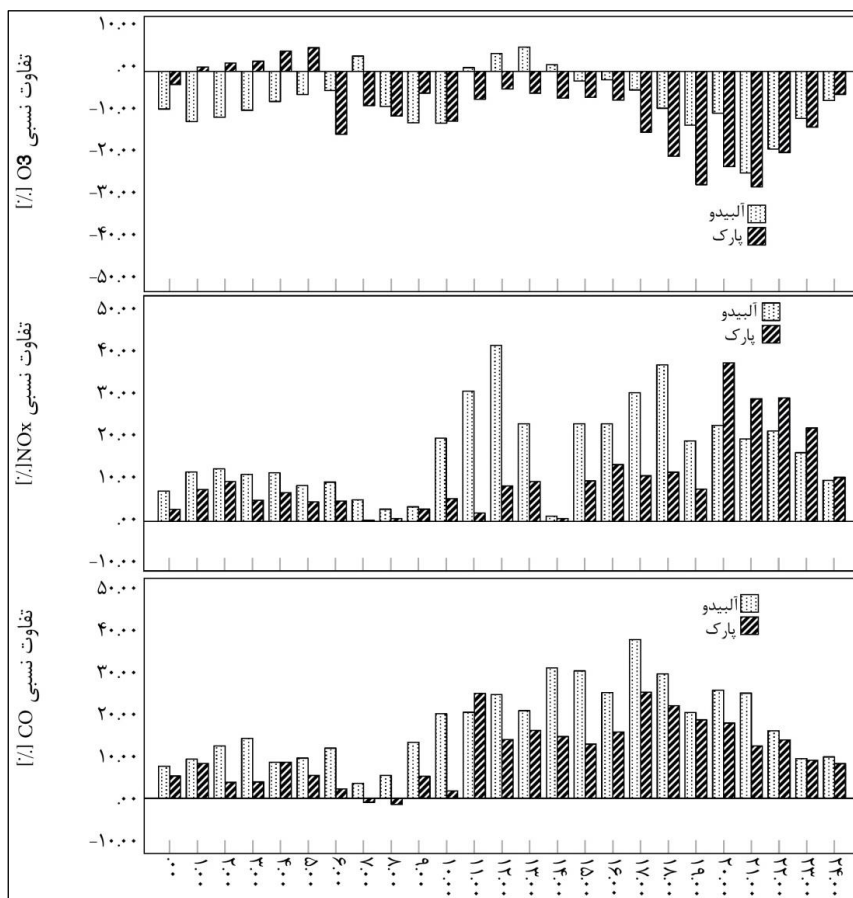
به طور کلی، دوره های روزانه همان نتایجی را که پیش از این بیان شده است، با کاهش در ترکیبات ثانویه و افزایش در ترکیبات اولیه نشان می دهند. کاهش شدید غلظت ازن برای سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری در ساعات عصر می تواند با خنک سازی معنی دارتر سطح بالای سطوح سبز نسبت به سطوح مصنوعی توضیح داده شود. اختلاط تلاطمی در هر دو سناریو به طور خاص پیش از ظهر کاهش می یابد که اختلاط پایین سو ازن از سطوح بالاتر در این زمان را کاهش می دهد (کلین^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ولاسکو^۲ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ افزون بر این، مقدار زیادی از ازن با تیتراسیون NOx حذف می شود. به طور کلی، بالاترین کاهش نسبی ازن با بالاترین سطوح NOx مطابقت دارد (شکل ۹).

بیشترین افزایش نسبی روزانه NOx می تواند به NO گسیل شده که از رقیق سازی آن به علت اختلاط اتمسفری پایین جلوگیری می شود، نسبت داده شود. غلظت NO در ارتباط با NO₂ است که در طول روز به تدریج رشد می کند. NO که در عصر گسیل می شود، به سرعت با ازن واکنش می دهد تا NO₂ را دوباره تشکیل دهد که منجر به افزایش نسبی بالا NO₂ در آنجا می شود (شکل ۹). درباره CO، حداکثرهای صبح برای آلودگی به علت کاهش قابل ملاحظه ای از افزایش دمای سطح در سطوح با بازتاب بالا در ساعات صبح (شکل ۹) بالاتر است که به تبادل تلاطم عمودی کاهش یافته در طول این زمان منجر می شود.

برای حالت آلودگی، افزایش کوچکی در بیشینه برای میانگین نسبی تغییرات ساعتی ازن را می توان در بین ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۴:۰۰ مشاهده کرد (شکل ۹). این اثر را می توان با تابش طول موج کوتاه بازتاب شده بالا (جدول ۵) توضیح داد که به افزایش در میانگین ساعتی حداکثر غلظت ازن در دوره شبیه سازی تا ۵/۹۴٪ منجر می شود. شکل ۱۰ نشان دهنده افزایش نسبی بیشینه های روزانه غلظت ازن بین ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۴:۰۰ برای هریک از روزهای مدل سازی است. برای سناریوی سپیدایی تفاوت ها می تواند به ۱۰ ppb (۹٪) هم برسد. برای سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک)، کاهش یکنواختی در غلظت های بیشینه ازن برای تمام روزها قابل مشاهده است.

ترکیبات اولیه

غلظت آلاینده های اولیه شبیه سازی شده استخراج شده از پایین ترین تر از شبیه سازی، به صورت منفی با متغیر دینامیکی TKE در همان سطح همبستگی دارد. افزایش در جمله انرژی جنبشی تلاطمی (TKE) موجب کاهش CO و NOx می شود (شکل ۱۱).



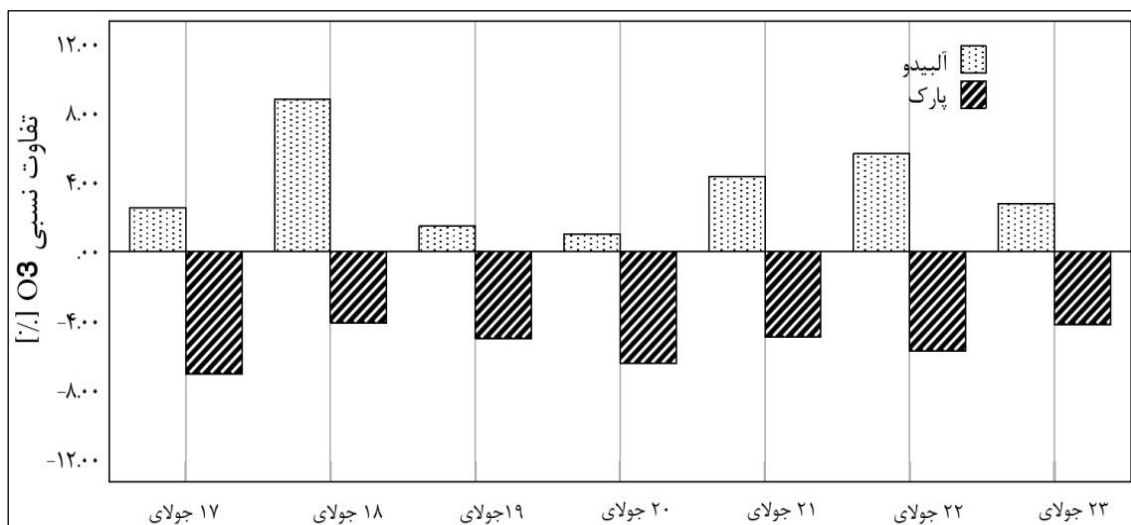
شکل ۹. اختلاف نسبی میانگین ساعتی دوره‌های روزانه، در غلظت ازن، NOx و CO (ppb) بین سناریوهای (آلبیدو و پارک) و حالت پایه (کنترل)، برای میانگین سه سلول شبکه‌ای شهری در مدل برای پایین‌ترین تراز مدل (۱۰ متر).

اگرچه سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری (پارک) بیشترین تأثیر را در TKE نشان می‌دهد، اثر این سناریو روی غلظت CO و NOx کوچک‌تر از سناریو سپیدایی است (شکل ۷). اثر به‌دام‌افتادگی در دره‌های خیابانی زمانی که ویژگی‌های بازتابی سقف‌ها و دیوارها اصلاح می‌شود، همچنان مؤثر است، درحالی‌که در سناریو پارک ساختمان‌ها به‌طور کامل با پوشش گیاهی طبیعی جایگزین می‌شوند. پوشش‌های طبیعی تمایل دارند گرمای محسوس را به گرمای نهان تبدیل کنند که به‌نوبه خود، دمای زمین و ارتفاع متوسط لایه مرزی را کاهش می‌دهد. هیچ ارتباط مستقیمی بین غلظت آلاینده‌های اولیه و دما یافت نشد. با این حال تغییر در غلظت یک آلاینده به‌علت کاهش اختلاط لایه مرزی جو، می‌تواند اثرات ثانویه‌ای بر ترکیبات دیگر ازراه واکنش‌های شیمیایی ایجاد کند.

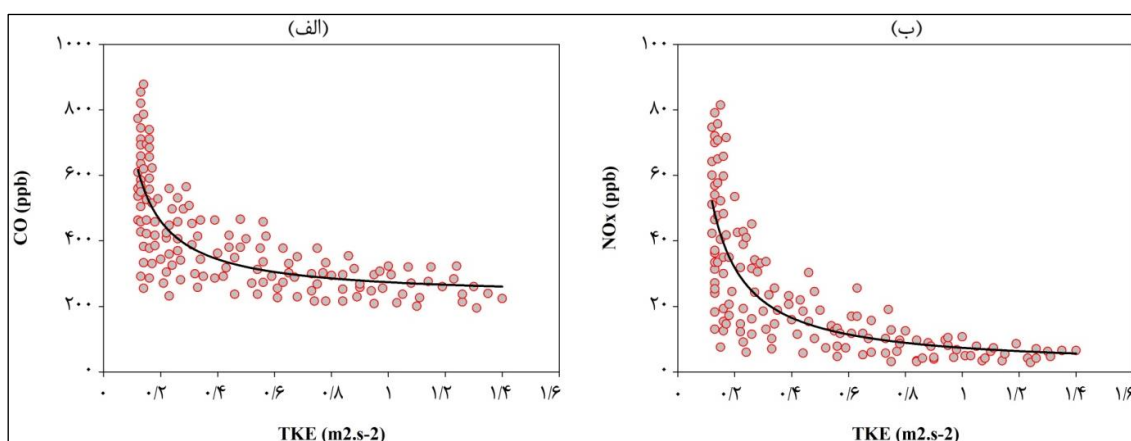
ترکیبات ثانویه

غلظت ازن پایین‌تر همراه با کاهش درجه حرارت به‌طور مستقیم نمی‌تواند با یک تغییر در دینامیک لایه مرزی، از آنجاکه برای آلاینده‌های اصلی CO و NOx معتبر است، توضیح داده شود.

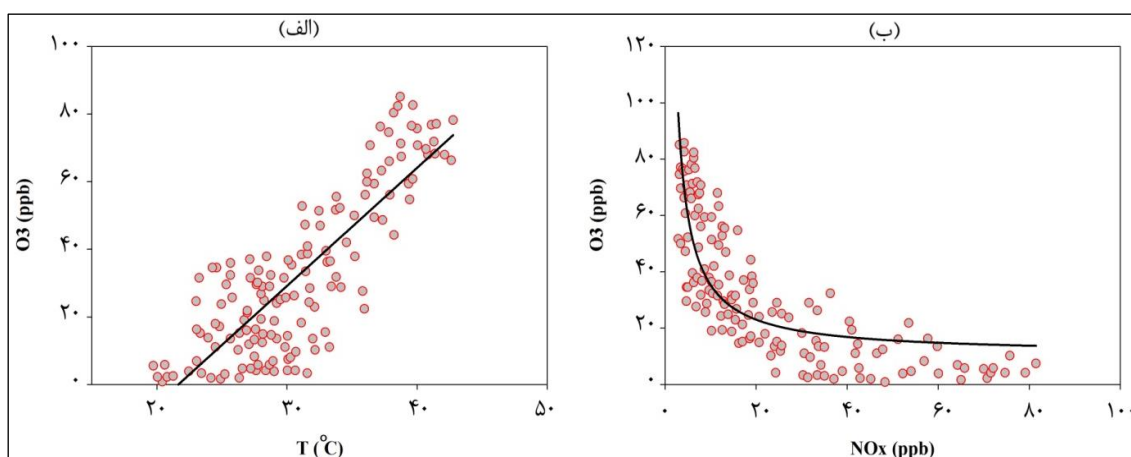
شکل ۱۲ دو نمونه را نشان می‌دهد که می‌تواند برای توضیح کاهش متوسط غلظت ازن که برای سناریوهای آلبیدو و پارک شبیه‌سازی شده است، استفاده شود. از یک‌سو، ازن رابطه لگاریتمی منفی با غلظت NO را نشان می‌دهد و NO بالاتر به دلیل اختلاط تلاطمی ضعیف‌تر منجر به نرخ بالاتر تیتراسیون NO می‌شود؛ از سوی دیگر، همبستگی ازن و دما، به‌صورت رگرسیون خطی مشاهده می‌شود. هیچ همبستگی معنی‌داری بین VOC های اولیه شبیه‌سازی‌شده (برای مثال فرمالدئید HCHO) و غلظت ازن یافت نشد.



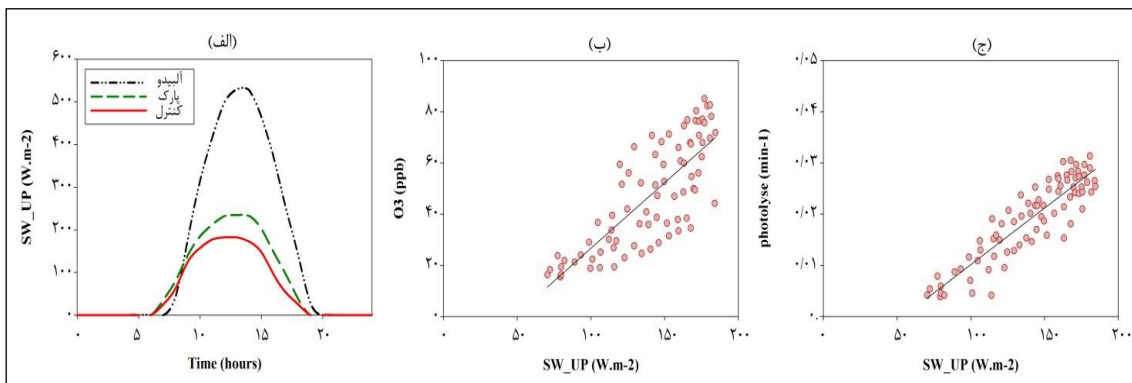
شکل ۱۰. تفاوت نسبی بین سناریو (آلبیدو و پارک) و حالت پایه (کنترل) برای غلظت ازن بین ساعت ۱۱:۰۰ و ۱۴:۰۰. نتایج سناریو آلبیدو با رنگ خاکستری و پارک با رنگ سیاه نمایش داده شده است.



شکل ۱۱. وابستگی غلظت آلاینده‌های اولیه CO (الف) و NOx (ب) به انرژی جنبشی تلاطمی (TKE) برای مقادیر ساعتی دوره شبیه‌سازی (۱۷ تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶). مقادیر برای اجرای حالت پایه نمایش داده شده است.



شکل ۱۲. همبستگی بین غلظت NO [ppb] سطحی و غلظت ازن سطحی (الف) و همبستگی بین دما پتانسیل دومتري [C°] و غلظت ازن سطحی [ppb] (ب) برای خروجی ساعتی مدل در یک دوره شبیه‌سازی (۱۷ تا ۲۳ جولای ۲۰۱۶) (چپ). مقادیر برای اجرای کنترل نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۳. متوسط چرخه روزانه تابش طول موج کوتاه بازتاب شده (SW_UP) برای کنترل و دو سناریو (الف). همبستگی بین تابش طول موج کوتاه بازتابی SW_UP و غلظت سطح O_3 (ب) و نرخ فوتولیز O_3 (ج) برای خروجی ساعتی مدل برای حالت پایه (کنترل).

بحث

یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که واکنش‌های فتوشیمیایی در تروپوسفر را کنترل می‌کند، تابش طول موج کوتاه است (سنفیلد و پاندیس، ۲۰۱۲: ۱۷۵). این جنبه افزایش بیشینه سطحی ازن در طول روز بین ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۴:۰۰ هنگامی که بازتاب سطح افزایش می‌یابد، را توضیح می‌دهد (شکل ۹). افزایش آلبدو از ۰/۲ به ۰/۷ برای سقف و نمای ساختمان در مدل شهری، منجر به افزایش تابش طول موج کوتاه بازتابی می‌شود. این اثر برای سناریوی افزایش پوشش گیاهی شهری مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۳). در مقایسه با سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری، حالت آلبدو افزایش تابش طول موج کوتاه بازتابی تا ۱۹۰٪ را نشان می‌دهد. این مقدار اضافی انرژی، باعث تسریع در واکنش‌های فتوشیمیایی می‌شود و از این راه شکل‌گیری ازن را راه‌اندازی می‌کند. افزایش ازن برای دوره کوتاهی بین ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۴:۰۰، منجر به این نتیجه‌گیری می‌شود که میانگین روزانه غلظت ازن می‌تواند با استفاده از افزایش پوشش گیاهی شهری به‌جای سقف‌ها و نماهای با بازتاب بالا به‌طور مؤثرتری کاهش یابد. شکل ۱۳ رابطه خطی مثبت بین تابش طول موج کوتاه بازتابی (Wm^{-2}) و غلظت ازن نزدیک سطح (ppb) را نشان می‌دهد؛ همچنین رابطه مثبت بین متغیر SW_UP و نرخ فوتولیز (min^{-1}) از این جنبه پشتیبانی می‌کند.

براساس کار طاها (۱۹۹۷ ب)، غلظت ازن بیشینه بین ۱۴:۰۰ و ۱۶:۰۰ ساعت محلی برای منطقه شهری لس‌آنجلس و محیط اطراف آن زمانی که سپیدایی سطح سقف‌ها و دیوارها از ۰/۲ به ۰/۵ افزایش یافت با کاهش ۴/۷٪ روبه‌رو شد. در مطالعه‌ای مشابه، برای منطقه شهری ساکرامنتو (طاها، ۲۰۰۸)، زمانی که سپیدایی شهر به‌طور گسترده افزایش یافت، کاهش ۱۸ درصدی بیشینه ازن مشاهده شد. حداکثر کاهش دما در هر دو مطالعه به ترتیب به اندازه ۴/۵ و ۳ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. با این حال، در این مطالعه افزایشی در غلظت ازن تا ۹٪ برای سناریو آلبدو حدود ساعت ۱۳:۰۰ یافت شد. برخی از دلایل ممکن برای این تفاوت در اینجا را می‌توان با استفاده از همبستگی‌های نشان داده‌شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ بررسی کرد. در مرحله اول، افزایش بیشتری از سپیدایی سطح سقف و دیوارها از ۰/۲ به ۰/۷ (تاکاباشی و موریاما، ۲۰۰۷) وجود داشت که ۶۷٪ بیشتر از افزایش استفاده‌شده دو مطالعه دیگر (طاها، ۲۰۰۸ و ۱۹۹۷ الف) است. از طرفی کاهش نتیجه‌شده در حداکثر دمای هوای منطقه شهری تهران ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد که حدود ۲/۳۳ تا ۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از کاهش دما گزارش شده طاها (۲۰۰۸) بود.

کاهش میزان غلظت ازن در بیشتر زمان‌های روز (شکل ۹) به‌روشنی می‌تواند با کاهش دما که منجر به کاهش

تشکیل ازن می‌شود (شکل ۱۲)، توضیح داده شود. با این حال، برای تابش خورشیدی بالاتر بین ۱۰:۰۰ تا ۱۴:۰۰، تأثیر مقدار اضافی تابش طول موج کوتاه بازتابی تاحدودی می‌تواند اثرات دما بر شیمی در سناریو آلبیدو را جبران کند. چه‌بسا این مورد در پژوهش طاه‌ها و همکاران (۲۰۰۸)، جایی که کاهش دما بزرگ‌تر و افزایش تابش خورشیدی بازتابی کمتر از مورد این مطالعه است، وجود ندارد؛ همچنین، کاهش دمای بزرگ‌تر یافته‌شده در کار طاه‌ها و همکاران (۲۰۰۸)، می‌تواند منجر به کاهش بیشتر اختلاط تلامی در طول روز و در نتیجه افزایش بیشتر غلظت NOx در نزدیکی زمین شود. این به‌نوبه خود منجر به تیتراسیون بیشتر ازن در مقیاسه با مطالعه فعلی می‌شود. در نهایت، گسیل و نسبت VOC/NOx ممکن است برای مناطق مورد نظر متفاوت باشد و همچنین گسترش بیشتر شهرها در ایالات متحده و توپوگرافی‌های مختلف می‌تواند تأثیر تغییر سپیدایی شهری بر غلظت‌های ازن را تغییر دهد.

نگارندگان پژوهش حاضر با مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها با داده‌های مشاهداتی، تأکید دارند که مدل به‌طور کلی تغییرات ساعتی متغیرهای هواشناسی را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند، اما برآورد بیشتر یا کمتر غلظت آلاینده هوا در طول دوره شبیه‌سازی را نشان می‌دهد (گراسمن و سوبرت و کلارک، ۲۰۱۳). یکی از دلایل روش مقایسه است؛ برون‌داده‌های شبیه‌سازی در ابتدای هر ساعت استخراج می‌شوند، درحالی‌که اندازه‌گیری‌ها به‌طور میانگین یا میانگین روزانه گزارش می‌شوند. دلیل دیگر برآوردهای شار انسانی و بیوژنیک است (اکبری و همکاران، ۲۰۰۱). موضوع دیگر مربوط به قسمت شبیه‌سازی است که هفت روز متوالی در طول دوره موج گرما را شامل می‌شود، درحالی‌که پراکندگی و شکل‌گیری آلاینده‌ها ممکن است در دوره زمانی طولانی‌ای رخ دهد. تنظیمات هواشناسی و شیمیایی مدل WRF/Chem، پیکربندی‌شده در اینجا منطقی است، اما تنظیمات دیگری نیز ممکن است منطقی باشد.

مطالعه حاضر آشکار کرده است که افزایش در آلبیدو و پوشش گیاهی شهری قادر به بهبود کیفیت هوا و به‌دنبال آن، کاهش روزانه غلظت متوسط ازن است. این پژوهش، یافته‌های مطالعاتی پیشین را پشتیبانی می‌کند (طاه‌ها، ۱۹۹۷؛ اکبری، ۲۰۰۱). به هر حال دربارهٔ بیشینه غلظت‌های ازن، افزایشی در حدود ۱۰٪ برای سناریو آلبیدو در زمان‌هایی که بیشینه ازن روزانه اتفاق می‌افتد، شبیه‌سازی شد. درحالی‌که طاه‌ها (۱۹۹۷؛ ب و ۲۰۰۸) کاهش در بیشینه ازن روزانه را گزارش داده‌اند. این را می‌توان به افزایش بیشتر سپیدایی اعمال‌شده در این مطالعه مرتبط دانست، درحالی‌که کاهش دمای شبیه‌سازی‌شده برای تهران به‌میزان قابل توجهی از شهرهای ایالات متحده در پژوهش طاه‌ها (۱۹۹۷؛ ب و ۲۰۰۸) کمتر بود.

نتیجه‌گیری

در نوشتار پیش رو آزمایش‌های شبیه‌سازی با استفاده از WRF-Chem جفت‌شده با مدل شهری چندلایه آرایش ساختمانی BEP برای شهر تهران برای یک بازه تابستانی در سال ۲۰۱۶ به‌منظور ارزیابی اقدامات کنترل جزیره حرارتی شهری که می‌تواند روی کیفیت هوای شهری اثرات جانبی داشته باشد، پیاده‌سازی و مطالعه شد. از آنجاکه این دوره خاص مطالعه موردی بارزی برای پیش‌بینی تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی تابستانی در تهران را فراهم می‌آورد، انتخاب شده است (سودودی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

اقدامات انتخاب‌شده می‌توانند هردو اثر مثبت و منفی بر غلظت و پراکندگی آلاینده‌های اولیه و ثانویه را داشته باشند. برای آلودگی ثانویه ازن، نتایج این شبیه‌سازی کاهش غلظت‌های نزدیک به سطح در حدود ۵٪ تا ۱۰٪ هنگام

استفاده از سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری یا استفاده از سطوح با بازتابندگی بالا را نشان می‌دهد. درباره آلاینده‌های اولیه CO، SO₂ یا NO_x اثر مثبت دما کاهش یافته وارونه می‌شود. نتایج مدل نشان می‌دهد که کاهش دما تأثیر قابل توجهی بر ساختار دینامیکی لایه مرزی شهری دارد. کاهش انرژی جنبشی تلاطمی (TKE) به علت دمای پایین‌تر منجر به کاهش نرخ اختلاط تلاطمی و کاهش در ارتفاع لایه اختلاط می‌شود که غلظت سطحی بالاتر آلودگی‌های اولیه را در پی دارد. این موضوع به‌طور ویژه برای سناریویی که در آن سپیدایی سقف و دیوار ساختمان‌ها افزایش یافت (افزایش نسبی آلاینده‌های اولیه تا ۲۰٪) مشاهده شد.

با این حال، هدف نوشتار پیش رو، ارائه و پیشنهاد نظریه‌ای برای به‌کارگیری یک اقدام کاربردی ویژه نیست، از آنجاکه اثرات مختلف مثبت و منفی باید در برابر یکدیگر امتحان شوند و مطالعات دقیق‌تری برای چنین تصمیم‌گیری‌ای مورد نیاز است؛ این مطالعه موردی، شبیه‌سازی برای شهری در شرایط خاص آب‌وهوایی را فراهم می‌کند؛ زیرا برای شهرهایی با اندازه‌ها، مکان‌ها، تراکم جمعیت، شرایط گسیل یا شرایط هواشناسی مختلف، اقدامات مشابه ممکن است اثرات متفاوتی را بر کیفیت هوا داشته باشد؛ همچنین اثرات توضیح داده‌شده در پژوهش حاضر، تغییر در گسیل آلاینده‌ها را در نظر نمی‌گیرد که در عمل می‌تواند کارآمدترین راهبرد برای بهبود کیفیت هوا در شهر باشد؛ افزون بر این، نوشتار پیش رو در شرایط هواشناسی همراه با آسمانی صاف و دوره‌ای آفتابی تابستانی با سرعت باد کم صورت پذیرفته است.

پیشنهاد می‌شود پژوهشی برای ارزیابی اثرات افزایش سپیدایی سطح در طول یک سال برای مشاهده اثرات آن در فصل زمستان و در طول سال نیز انجام پذیرد. تنظیمات هواشناسی و شیمیایی مدل WRF/Chem، پیکربندی‌شده در اینجا منطقی است، اما تنظیمات دیگری نیز ممکن است منطقی باشد؛ همچنین، تعیین پارامترهای جایگزین برای دیدن اثرات سپیدایی سطح در یک رویکرد دوطرفه توزیع شده، مانند آنچه برای مطالعات بیشتر انجام خواهیم داد می‌تواند مفید باشد؛ همچنین پیشنهاد می‌شود اثرات سایر استراتژی‌های کاهش‌ی بر آب‌وهوای شهری و کیفیت هوا در رویکرد دوطرفه بررسی شود.

References

- Ackermann, I. J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ebel, A., Binkowski, F. S. & Shankar, U. (1998). Modal aerosol dynamics model for Europe: Development and first applications. *Atmospheric environment*, 32 (17), 2981-2999.
- Akbari, H., Pomerantz, M. & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70 (3), 295-310.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23 (1), 1-26.
- Barlow, J. F., Halios, C. H., Lane, S. & Wood, C. R. (2015). Observations of urban boundary layer structure during a strong urban heat island event. *Environmental Fluid Mechanics*, 15 (1), 373-398.
- Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C., Grossman-Clarke, S., Loridan, T., Manning, K. W., Martilli, A. & Miao, S. (2011). The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *International Journal of Climatology*, 31 (2), 273-288.
- Emmons, L. K., Walters, S., Hess, P. G., Lamarque, J.-F., Pfister, G. G., Fillmore, D., Granier, C., Guenther, A., Kinnison, D. & Laepple, T. (2010). Description and evaluation of the Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4 (MOZART-4). *Geoscientific Model Development*, 3 (1), 43-67.
- Finlayson-Pitts, B. J. & Pitts Jr, J. N. (1999). *Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments, and applications*. California. Elsevier.

- Freitas, S., Longo, K., Alonso, M., Pirre, M., Marecal, V., Grell, G., Stockler, R., Mello, R. & Sánchez Gácita, M. (2011). PREP-CHEM-SRC-1.0: a preprocessor of trace gas and aerosol emission fields for regional and global atmospheric chemistry models. *Geoscientific Model Development*, 4 (2), 419-433.
- Gazi, M. A. A. & Mondal, I. (2018). Urban Heat Island and its effect on Dweller of Kolkata Metropolitan area using Geospatial Techniques. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6 (10), 741-753.
- Giannaros, T. M., Melas, D., Daglis, I. A., Keramitsoglou, I. & Kourtidis, K. (2013). Numerical study of the urban heat island over Athens (Greece) with the WRF model. *Atmospheric Environment*, 73 (11), 103-111.
- Giordano, L., Brunner, D., Flemming, J., Hogrefe, C., Im, U., Bianconi, R., Badia, A., Balzarini, A., Baró, R. & Chemel, C. (2015). Assessment of the MACC reanalysis and its influence as chemical boundary conditions for regional air quality modeling in AQMEII-2. *Atmospheric Environment*, 115 (7), 371-388.
- Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, R., McKeen, S. A., Frost, G., Skamarock, W. C. & Eder, B. (2005). Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39 (37), 6957-6975.
- Guenther, A., Jiang, X., Heald, C., Sakulyanontvittaya, T., Duhl, T., Emmons, L. & Wang, X. (2012). The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geoscientific Model Development*, 5 (6), 1471-1492.
- Hu, X.-M., Nielsen-Gammon, J. W. & Zhang, F. (2010). Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58 (6), 1831-1844.
- Im, U., Bianconi, R., Solazzo, E., Kioutsioukis, I., Badia, A., Balzarini, A., Baró, R., Bellasio, R., Brunner, D. & Chemel, C. (2015). Evaluation of operational on-line-coupled regional air quality models over Europe and North America in the context of AQMEII phase 2. Part I: Ozone. *Atmospheric Environment*, 115 (1), 404-420.
- Janjić, Z. I. (1994). The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122 (6), 927-945.
- Janjić, Z. I. (2001). *Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP mesomodel NOAA/NWS/NCEP Off.* NOAA, USA.
- Klein, P. M., Hu, X.-M. & Xue, M. (2014). Impacts of mixing processes in nocturnal atmospheric boundary layer on urban ozone concentrations. *Boundary-layer meteorology* 150, 107-130.
- Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., van Lipzig, N. P., Maiheu, B., & Hooyberghs, H. (2016). Assessing the current and future urban heat island of Brussels. *Urban Climate*, 15 (3), 1-15.
- Madronich, S. (1987). Photodissociation in the atmosphere: 1. Actinic flux and the effects of ground reflections and clouds. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 92 (8), 9740-9752.
- Martilli, A., Clappier, A. & Rotach, M. W. (2002). An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, 104 (9), 261-304.
- Mellor, G. L. & Yamada, T. (1982). Development of a turbulence closure model for geo-physical fluid problems. *Rev. Geophys*, 20 (4), 851-875.
- Mitchell, K. (2005). *The community NOAA-LSM–User’s guide public release version 2.7. 1.* NOAA, USA.
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J. & Clough, S. A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102 (14), 16663-16682.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), 1-24.
- Peng, F., Wong, M., Nichol, J. & Chan, P. (2016). Historical GIS data and changes in urban morphological parameters for the analysis of urban heat islands in Hong Kong. *International*

- archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, XLI-B2 (12), 55-62.
- Salamanca, F., Martilli, A. & Yagüe, C. (2012). A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal of Climatology*, 32 (15), 2372-2386.
- Santamouris, M., Synnefa, A. & Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85 (12), 3085-3102.
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V. & Guedalia, D. (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric Environment*, 40 (10), 1743-1758.
- Schubert, S. & Grossman-Clarke, S. (2013). The Influence of green areas and roof albedos on air temperatures during Extreme Heat Events in Berlin, Germany. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (2), 131-143.
- Schultz, M., Rast, S., van het Bolscher, M., Pulles, T., Brand, R., Pereira, J., Mota, B., Spessa, A., Dalsøren, S. & van Noije, T. (2007). *Emission data sets and methodologies for estimating emissions*, RETRO project report D1-6, Hamburg.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. (2012). *"Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change,"* John Wiley & Sons. New jersey.
- Shahbazi, H., Reyhanian, M., Hosseini, V. & Afshin, H. (2016 a). The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach. *Emission control science and technology*, 2 (1), 44-56.
- Shahmohamadi, P., Cubasch, U., Sodoudi, S. & Che-Ani, A. (2012). *Mitigating urban heat island effects in Tehran metropolitan area. Air Pollution—A Comprehensive Perspective*; Rijeka, IntechOpen.
- Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U. & Che-Ani, A. (2014). Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014 (3).1-20.
- Stull, R. B. (1988). *Similarity theory*. In "An Introduction to Boundary Layer Meteorology". Springer. Vancouver.
- Taha, H. (1997 a). Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 31 (11), 1667-1676.
- Taha, H. (1997 b). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25 (2), 99-103.
- Taha, H. (2008). Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. *Atmospheric Environment*, 42 (38), 8795-8809.
- Takebayashi, H. & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42 (8), 2971-2979.
- USGS (2006). The National Land Cover Database. Accessed at: <http://landcover.usgs.gov/usgslandcover.php>; 05/25/2014.
- Velasco, E., Márquez, C., Bueno, E., Bernabé, R., Sánchez, A., Fentanes, O., Wöhrschimmel, H., Cárdenas, B., Kamilla, A. & Wakamatsu, S. (2007). Vertical distribution of ozone and VOCs in the low boundary layer of Mexico City. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 8 (12), 12751-12779.
- Wesely, M. & Lesht, B. (1989). Comparison of RADM dry deposition algorithms with a site-specific method for inferring dry deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 44 (3), 273-293.
- Wood, C., Järvi, L., Kouznetsov, R., Nordbo, A., Joffre, S., Drebs, A., Vihma, T., Hirsikko, A., Suomi, I. & Fortelius, C. (2013). An overview of the urban boundary layer atmosphere network in helsinki. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94 (11), 1675-1690.
- Yarwood, G., S. Rao, M. Yocke, & G.Z. Whitten. (2005). Updates to the Carbon Bond Mechanism: CB05, US EPA Final Report, *Report to the U.S. Environmental Protection Agency, RT-04006758* (13), 161 pp.
- Zakšek, K. & Oštir, K. (2012). Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis. *Remote Sensing of Environment*, 117 (2), 114-124.
- Zhang, J. & Rao, S. T. (1999). The role of vertical mixing in the temporal evolution of ground-level

ozone concentrations. *Journal of Applied Meteorology*, 38 (12), 1674-1691.

Zhou, J., Chen, Y., Zhang, X. & Zhan, W. (2013). Modelling the diurnal variations of urban heat islands with multi-source satellite data. *International journal of remote sensing*, 34 (21), 7568-7588.



بررسی تغییرپذیری زمانی - مکانی شاخص سبزینگی آستانه جنگل‌های بلوط استان لرستان در پاسخ به تغییرات بارش

زهرا علیرضایی^۱، امیر گندمکار^{۲*}، مرتضی خداقلی^۱، علیرضا عباسی^۱

^۱گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^۲بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
تاریخچه مقاله: دریافت ۶ اسفند ۱۳۹۸ پذیرش ۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ دسترسی آنلاین ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۹	
کلیدواژه‌ها: آستانه سبزینگی جنگلی، بلوط ایرانی، تغییرپذیری بارش، ماهواره لندست.	
استناد: علیرضایی، زهرا؛ گندمکار، امیر؛ خداقلی، مرتضی؛ عباسی، علیرضا (۱۳۹۹). بررسی تغییرپذیری زمانی - مکانی شاخص سبزینگی آستانه جنگل‌های بلوط استان لرستان در پاسخ به تغییرات بارش. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۱)، ۹۳-۱۰۷. doi: 10.22126/GES.2020.5068.2205	جنگل‌های زاگرس از مهم‌ترین و اساسی‌ترین سرمایه‌های محیط‌زیستی کشور است که در تأمین منابع آب و خاک این منطقه نقش حیاتی ایفا می‌کند. هدف اساسی پژوهش حاضر آشکارسازی دینامیک فضایی شاخص سبزینگی جنگلی لرستان در پاسخ به تغییرات بارش است. در این راستا شاخص سبزینگی جنگلی استان از تصاویر لندست ۵ و ۸ برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد. مقادیر بارش استان نیز با استفاده از داده‌های بارش نه ایستگاه سینوپتیک منطقه و داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده پایگاه GPCC، برای دوره آماری یادشده با شبکه‌بندی ۰/۵ درجه قوسی فراهم شد. آستانه شاخص سبزینگی با استفاده از موقعیت دقیق ۱۷۰ درخت بلوط سالم از رویشگاه‌های مختلف استان لرستان طی مرداد و شهریور ۱۳۹۶ با استفاده از جی.پی.اس. گارمین نمونه‌برداری و از روی تصاویر سی متری لندست OLI و TM به‌دست آمد. با استفاده از تحلیل همبستگی فضایی، ارتباط بین تغییرات مساحت سالانه و دوره‌ای شاخص سبزینگی آستانه جنگل‌های بلوط و بارش، بررسی شد و تابع حساسیت تغییرات فضایی شاخص سبزینگی جنگلی با برازش یک مدل خطی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که آستانه $EVI > 0.4$ را می‌توان به‌مثابه آستانه پوشش جنگلی استان در نظر گرفت. تحلیل همبستگی بیانگر آن بود که سری زمانی هجده ساله پوشش جنگلی، ۰/۷۲ با توزیع فضایی بارش در منطقه همبستگی داشته، در مقیاس ماهانه نیز، مقادیر تجمعی بارش ماه‌های اسفند تا اردیبهشت، بالاترین همبستگی را با شاخص سبزینگی جنگلی ماه شهریور داشتند. تحلیل فضایی اجرای مدل برآوردگر سبزینگی بیانگر آن بود که آستانه بارشی سبزینگی بلوط ($EVI > 0.4$) برابر ۳۲۰ میلی‌متر بوده که در بالاتر از این آستانه به‌ازای افزایش هر میلی‌متر بارش سبزینگی بلوط‌های مورد بررسی، ۰/۰۸ شاخص EVI افزوده می‌شود.

مقدمه

توزیع جغرافیایی جوامع گیاهی مختلف، به‌طور چشم‌گیری به شرایط اقلیمی وابسته است. تغییرات عناصر اقلیم‌شناختی از جمله بارش، می‌تواند واکنش‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت کلونی‌های مختلف گیاهی را در به‌همراه داشته باشد (ونگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). ارتباط پوشش گیاهی و عوامل اقلیم‌شناختی تا اندازه‌ای نزدیک و متقابل است که بسیاری از پژوهشگران از جمله کوپن، طبقه‌بندی‌های سیستم‌های اقلیمی خود را براساس ساختار کلی جوامع گیاهی، انجام داده‌اند (گوارد و پرنس^۲، ۱۹۹۵). شرایط اقلیم‌شناختی و پوشش گیاهی هر منطقه ارتباط دوطرفه و درهم‌تنیده‌ای دارند. درواقع شرایط اقلیمی توزیع فضایی گونه‌ها، دوره رشد، نیازهای فنولوژیکی و حتی انتخاب طبیعی را مشخص کرده و از دیگرسو، پوشش گیاهی میکرواقلیم متعادل را در دل اقلیم عمومی منطقه به‌وجود می‌آورد که گاه با اقلیم اولیه تفاوت معنی‌داری دارد (برهان^۳ و همکاران، ۲۰۱۵).

بارش به‌منزله یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی نه‌تنها تغییرپذیری سالانه مراتع و زمین‌های کشاورزی؛ بلکه حتی کیفیت، بیماری‌ها، میزان سبزی‌نگی درختان را نیز متأثر می‌کند (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). تغییرپذیری‌های سالانه و درون‌سالی عناصر آب‌وهوایی به‌طور معمول برای دینامیک گیاهی اهمیت زیادی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند (احسانی و همکاران، ۱۳۸۶). قابلیت پیش‌بینی واکنش زیست‌بوم‌های زمینی به تغییر اقلیم، منوط به فهم ارتباط متقابل بین رشد گیاه و شرایط اقلیمی است (پوتر و بروکس^۴، ۱۹۹۸ و اسکولتز و هالپرت^۵، ۱۹۹۵). جنگل‌های زاگرس به‌مثابه وسیع‌ترین ناحیه رویشی ایران و با شش میلیون هکتار مساحت، حدود ۴۰٪ کل پوشش جنگلی ایران را دربر گرفته است (احسانی و همکاران، ۱۳۸۶). این ناحیه رویشی باعنوان جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، در بین یازده استان واقع در ناحیه رویشی زاگرس، استان‌های فارس، لرستان و خوزستان از نظر وسعت رویشگاه‌های جنگلی و درختی، مقام‌های اول تا سوم را دارند. طی دو دهه اخیر فاکتورهای زیادی حیات این جنگل‌های ارزشمند را به مخاطره انداخته‌اند و پژوهشگران حدود هفتاد دلیل برای تخریب این عرصه‌های ارزشمند در نظر گرفته‌اند که شامل عوامل محیطی و انسانی می‌شود. اطلاعات و امکانات فناوری سنجش از دور به‌دلیل توالی زمانی و مقیاس فضایی مناسب و دید کل‌نگری که دارد، به‌منزله یکی از مؤثرترین ابزارها برای مطالعه ارتباط متقابل بین گیاه و اقلیم است (چاندری^۶ و همکاران، ۱۹۸۷؛ توکر^۷ و همکاران، ۱۹۸۴).

با توجه به قابلیت بالای تصاویر ماهواره‌ای همچون به‌روزر بودن و نزدیکی به زمان حال، داشتن سری زمانی طولانی، برداشت اطلاعات در طول موج‌های متعدد، داشتن پوشش مشترک و دقت فضایی مناسب، سنجش از دور توانایی ارزیابی و پایش پوشش گیاهی را داشته و استخراج اطلاعاتی مانند میزان تراکم و اندازه کانوپی، نوع آن و میزان ذی توده را امکان‌پذیر می‌سازد. با توجه به اهمیت تأثیرات متقابلی که بین شرایط اقلیم‌شناختی هر منطقه و پوشش گیاهی آن برقرار است، این مسئله همواره یکی از دغدغه‌ها و موضوعات مورد علاقه پژوهشگران داخلی و خارجی بوده است. به‌طور کلی بارش یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در دینامیک زمانی و مکانی جنگل‌ها و مراتع است (آنمبا و استمان^۸، ۱۹۹۶).

درجه سبزی‌نگی درختان و همچنین میزان غنای مراتع به‌طور کلی و بدون توجه به گونه‌های مختلف جنگل و

1- Wang

2- Goward & Prince

3- Berhan

4- Potter & brooks

5- Schultz & Halpert

6- Choudhury

7- Tucker

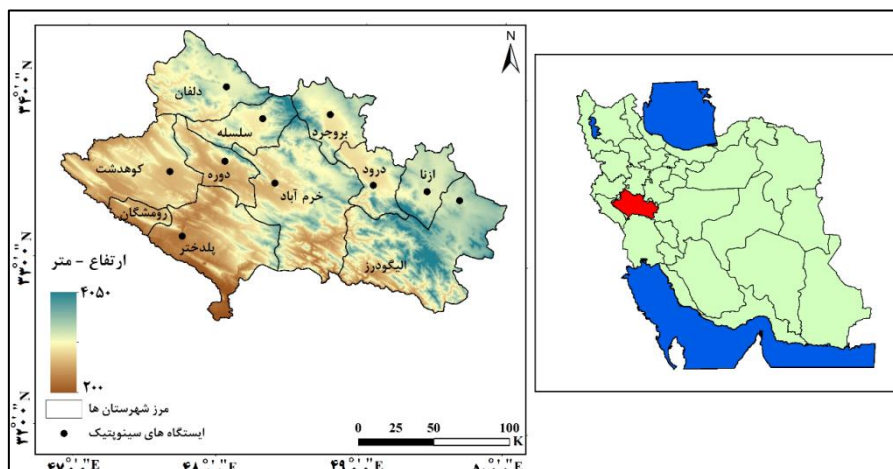
8- Anyamba & Eastman

مرتفع، وابستگی زمانی و مکانی چشم‌گیری هم به صورت هم‌زمان و هم باتأخیر، به بارش دارد. پژوهشگرانی ازجمله علیرضایی و همکاران (۱۳۹۸)، صدیقی‌فر^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، شیفو^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، و نیز فرخزاده و همکاران (۱۳۹۶)، به این وابستگی‌ها اشاره کرده‌اند؛ اما افزون بر همبستگی عمومی بین پوشش گیاهی و فاکتورهای اقلیم‌شناختی، رفتار و پاسخ هر گونه جنگلی نیز به تغییرپذیری فاکتورهای اقلیمی متفاوت است، این مسئله در پژوهش هادیان و همکاران (۱۳۹۲) به‌طور قابل توجهی اثبات شد که تیپ‌های مختلف تاج‌پوشش، تأثیرپذیری متفاوتی از بارش دارند؛ حتی رفتار جنگل و مرتع نیز در تأثیرپذیری از بارش متفاوت است. این رفتار متفاوت در برخی پژوهش‌ها آشکار شده است؛ به‌گونه‌ای که شیفو و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که گونه‌های مرتعی همبستگی مثبت معنی‌داری با بارش بهاره دارند؛ درحالی‌که تاج‌پوشش‌های جنگلی همگی متأثر از بارش‌های سالانه و تغییرات بین سالی بارش هستند؛ اما بارش تنها یکی از مؤلفه‌های اقلیمی تأثیرگذار در دینامیک زمانی و مکانی عرصه‌های پوشش گیاهی است.

برخی مؤلفه‌های اقلیمی دیگر همچون دمای هوای نزدیک تاج‌پوشش و دمای لایه خاک اطراف ریشه، در فنولوژی گیاه نقش اساسی دارند، در این زمینه صدیقی‌فر و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که نه‌تنها بارش، بلکه دما به‌صورت معنی‌داری دینامیک زمانی و مکانی عرصه‌های جنگلی را کنترل می‌کند. در سال‌های اخیر به‌ویژه در دو دهه اخیر، بیماری زوال بلوط بسیاری از جنگل‌های بلوط زاگرس را درگیر کرده و در تخریب و مرگ و میر این جنگل‌های بلوط نقش اساسی داشته است. بسیاری از مخاطرات اقلیمی همچون ریزگردها، سیل، خشکسالی و چرای دام در عرصه‌های جنگلی، کشت زیراشکوب، و غیره باعث این روند شده است. علیرضایی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که خشکسالی به‌مثابه یکی از مخاطرات دخیل در زوال بلوط نقش اساسی در تخریب این جنگل‌ها داشته است. فرخزاده و همکاران (۱۳۹۶)، نیز چنین اثری را مشاهده کردند. به‌طور کلی آگاهی از دینامیک زمانی - مکانی عرصه‌های جنگلی زاگرس، در پاسخ به ویژگی‌های بارش، در برنامه‌ریزی و مدیریت این جنگل‌ها نقش اساسی دارد. آگاهی از وضعیت این جنگل‌ها و آشکارسازی ارتباطات زمانی و مکانی آن‌ها با عوامل اقلیمی، می‌تواند، پیش‌هشدار قوی برای بررسی روند این جنگل‌ها باشد. هدف اساسی نوشتار پیش رو بررسی تغییرات فضایی سبزینگی جنگلی، در رویشگاه‌های بلوط استان لرستان و تأثیرپذیری آستانه سبزینگی این جنگل‌ها از بارش است.

معرفی منطقه مورد بررسی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های محیطی استان لرستان، تنوع توپوگرافیک است که این تنوع توپوگرافیکی، سبب تنوع در اقلیم و ویژگی‌های اقلیمی آن شده است (شکل ۱). استان لرستان از لحاظ وسعت جنگل‌های بلوط زاگرس دومین استان کشور پس از استان فارس است و گونه غالب جنگل‌های این استان بلوط است. در دهه اخیر به‌دلیل مختلف که متخصصان و سازمان‌های مربوطه هفتاد دلیل را بیان کرده‌اند، جنگل‌های بلوط استان دچار بیماری زوال بلوط شده است که خسارت‌های بسیار سنگینی به این جنگل‌های ارزشمند استان وارد کرده است. یکی از نشانه‌های این تخریب جنگل در استان لرستان، بروز سیلاب‌های شدید به‌دنبال بارش‌های سنگین و نیمه‌سنگین است که در سال‌های اخیر فراوانی آن بسیار افزایش داشته و نمونه بارز آن، سیل فروردین ۱۳۹۸ بود که به‌دنبال دو موج بارش، سیلاب ایجادشده، به‌دلیل از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع استان که همگی در نواحی پرشیب و رواناب‌خیز هستند، جریان‌ات سطحی شدیدی ایجاد شد که افزون بر فرسایش شدید خاک، منجر به ایجاد سیلاب‌های شدید و طغیان رودخانه‌ها نیز شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از دو دسته از داده‌ها استفاده شد. دسته اول داده‌ها شامل داده‌های بارش ماهانه استان طی دوره رشد درخت بلوط (دروه‌ای که میانگین کمینه دما زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد نیامده) ارائه شده است. منبع این داده‌ها، رکوردهای ماهانه بارش ثبت‌شده ایستگاهی طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ به‌وسیله نه ایستگاه سینوپتیک استان و بارش شبکه‌بندی‌شده پایگاه اقلیمی GPCP^۱ بوده است که با درون‌یابی این دو بارش، نقشه‌های توزیع فضایی بارش با شبکه‌بندی ۰/۲۵ درجه قوسی تولید شد. دسته دوم داده‌های مورد استفاده در نوشتار پیش رو مربوط به شاخص پوشش گیاهی بارز شده^۲ است که از سه باند قرمز، مادون قرمز و آبی ماهواره لندست در مقیاس ماهانه برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ گرفته شد (جدول ۱). لازم به ذکر است که از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ به‌دلیل مفقودی ۰/۲۱ از داده‌های تصاویر این سنجنده (ETM+) استفاده نشده است و به‌جای آن از سنجنده TM لندست ۵ استفاده شده است. در جدول ۲، سری زمانی تصاویر استفاده‌شده ماهواره لندست برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش

منبع	مقیاس زمانی
داده‌های بارش ماهانه	ماهانه - ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸
تصاویر ماهواره‌ای لندست	Earthexplorer.gov - پایگاه اقلیمی irimo.ir - GPCP برداشت شهریور (سپتامبر) - ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸

جدول ۲. مشخصات سری زمانی تصاویر گرفته‌شده ماهواره لندست ۵ و ۸ برای محاسبه شاخص EVI

سال	مشخصات زمانی تصویر گرفته‌شده	سال	مشخصات زمانی تصویر گرفته‌شده
۲۰۰۰	۱۰ سپتامبر ۲۰۰۰	۲۰۰۹	۴ سپتامبر ۲۰۰۹
۲۰۰۱	۶ سپتامبر ۲۰۰۱	۲۰۱۰	۷ سپتامبر ۲۰۱۱
۲۰۰۲	۱۰ سپتامبر ۲۰۰۲	۲۰۱۱	۱۰ سپتامبر ۲۰۱۱
۲۰۰۳	۱۲ سپتامبر ۲۰۰۳	۲۰۱۲	۴ سپتامبر ۲۰۱۲
۲۰۰۴	۶ سپتامبر ۲۰۰۴	۲۰۱۳	۷ سپتامبر ۲۰۱۳
۲۰۰۵	۹ سپتامبر ۲۰۰۵	۲۰۱۴	۱۰ سپتامبر ۲۰۱۴
۲۰۰۶	۳ سپتامبر ۲۰۰۶	۲۰۱۵	۴ دسامبر ۲۰۱۵
۲۰۰۷	۶ سپتامبر ۲۰۰۷	۲۰۱۶	۱۵ سپتامبر ۲۰۱۶
۲۰۰۸	۱ سپتامبر ۲۰۰۸	۲۰۱۷	۹ سپتامبر ۲۰۱۷

1- Global Precipitation Climatology Centre

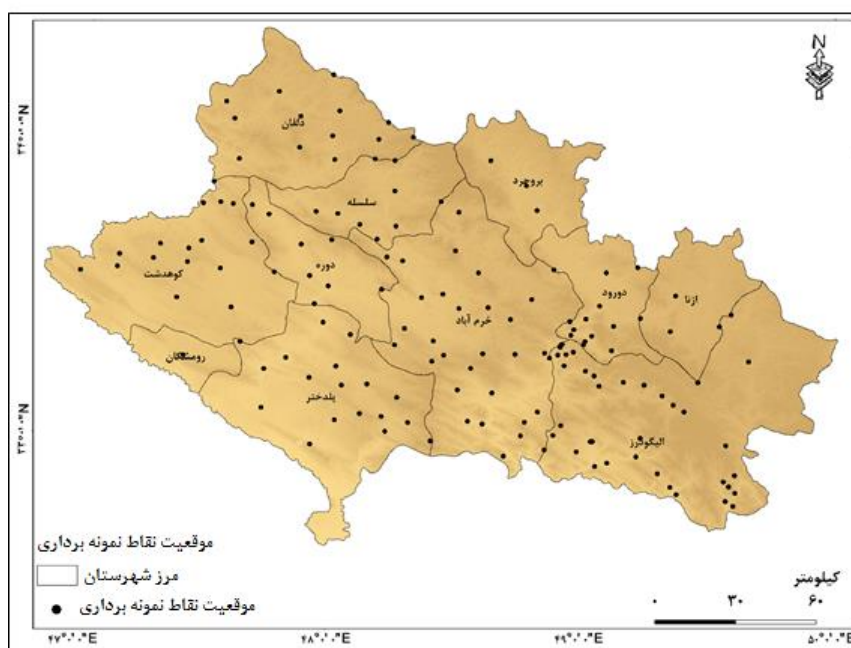
2- Enhanced Vegetation Index (EVI)

تعیین آستانه سبزینگی بارز شده درختان بلوط

برای تعیین آستانه سبزینگی درختان بلوط، از نمونه‌گیری هدفمندی از ۱۷۰ درخت بلوط در رویشگاه‌های مختلف استان لرستان، طی دو ماه مرداد تا شهریور (که منطبق بر دوره پیک رشد درخت بلوط است) سال ۱۳۹۶ استفاده شد. موقعیت تعداد ۱۷۰ درخت بلوط سالم با دستگاه سیستم موقعیت یاب جهانی^۱ گارمین، در رویشگاه‌های عمده بلوط استان، در سیستم مختصات UTM ذخیره و میزان شاخص بارز شده پوشش گیاهی برای آن موقعیت‌ها از روی تصاویر لندست برای سال‌های مختلف (شهریورماه هر سال) استخراج شد. میانگین فضایی و سالانه این مقادیر شاخص EVI، آستانه سبزینگی درختان بلوط را در شهریورماه برای استان لرستان نشان داد که این آستانه تنها مختص بلوط‌های این استان بوده و قابل تعمیم نیست. این میانگین متوسط که می‌توان آن را آستانه سبزینگی درختان بلوط در فصل پیک رشد، یعنی شهریورماه نامید؛ به‌طور متوسط با استفاده از تصاویر لندست در سال‌های دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، به‌طور متوسط برابر $EVI > 0.4$ تشخیص داده شد؛ بنابراین این آستانه مبنای تعیین پوشش سبزینگی بلوط سالم استان لرستان (همه نمونه‌ها از بلوط‌های سالم که بدون علائم زوال مانند زردی برگ، دفع صمغ قهوه‌ای، بودند انتخاب شده است) قرار گرفت. در شکل ۲ موقعیت نمونه‌برداری‌های میدانی از رویشگاه‌های جنگلی استان لرستان ارائه شده است.

استخراج شاخص بارز شده پوشش گیاهی

شاخص پیشرفته پوشش گیاهی به‌منظور بهبود شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۲ تهیه شده است؛ در این شاخص، اثرات پراکنش اتمسفری (از جمله هواگردها و ریزگردها) و همچنین خاک زمینه کاهش می‌یابد. این شاخص بهینه‌سازی شده، برای تقویت سیگنال‌های پوشش گیاهی در مناطق با بایومس بالا و کاهش تأثیرات جوی ارائه شده است. عدد به‌دست‌آمده برای این شاخص، در محدوده ۱- تا ۱ قرار دارد و عدد معمول که نشان‌دهنده پوشش گیاهی است، در محدوده ۰/۳ تا ۰/۸ قرار دارد. این شاخص از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.



شکل ۲. موقعیت نمونه‌برداری‌های میدانی درختان سالم از رویشگاه‌های استان لرستان در ماه شهریور

$$\text{رابطه ۱: شاخص EVI یا پوشش گیاهی بارز شده} \quad \text{EVI} = G \times \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + C1 \times \text{RED} - C2 \times \text{Blue} + L)}$$

در این رابطه، مؤلفه‌های Red، NIR و Blue میزان بازتابش ثبت شده تصویر سنجنده لندست ۵ و ۸ (TM و OLI)، در محدوده طول موج‌های قرمز، مادون قرمز نزدیک و آبی است؛ بنابراین رابطه بالا برای باندهای لندست ۵ و لندست ۸ به صورت رابطه‌های ۲ و ۳ درمی‌آید:

$$\text{رابطه ۲: برای سنجنده TM (لندست ۵)} \quad \text{EVI} = 2.5 \times \frac{(B4 - B3)}{(B4 + 6 \times B3 - 7.5 \times B1 + 1)}$$

$$\text{رابطه ۳: برای سنجنده OLI (لندست ۸)} \quad \text{EVI} = 2.5 \times \frac{(B4 - B5)}{(B5 + 6 \times B4 - 7.5 \times B2 + 1)}$$

در رابطه ۱، پارامتر L، فاکتور تنظیم بازتابش تاج پوشش جنگلی است که برای سنجنده‌های یادشده، برابر ۱ است، C1 و C2، مربوط به فاکتور میزان مقاومت اتمسفر یا تصحیح جوی است که در رابطه ۱ انجام گرفته است؛ بنابراین، در این شاخص بهینه‌سازی شده تأثیر نویزهای اتمسفری و پس‌زمینه تاج پوشش جنگلی حذف شده است. این تصاویر برای ماه سپتامبر (شهریورماه) هر سال طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ برای منطقه گرفته شد و در نرم‌افزار آرک جی.آی.اس^۱ مراحل محاسبه و استخراج شاخص از تصاویر انجام گرفت.

تحلیل همبستگی زمانی - مکانی

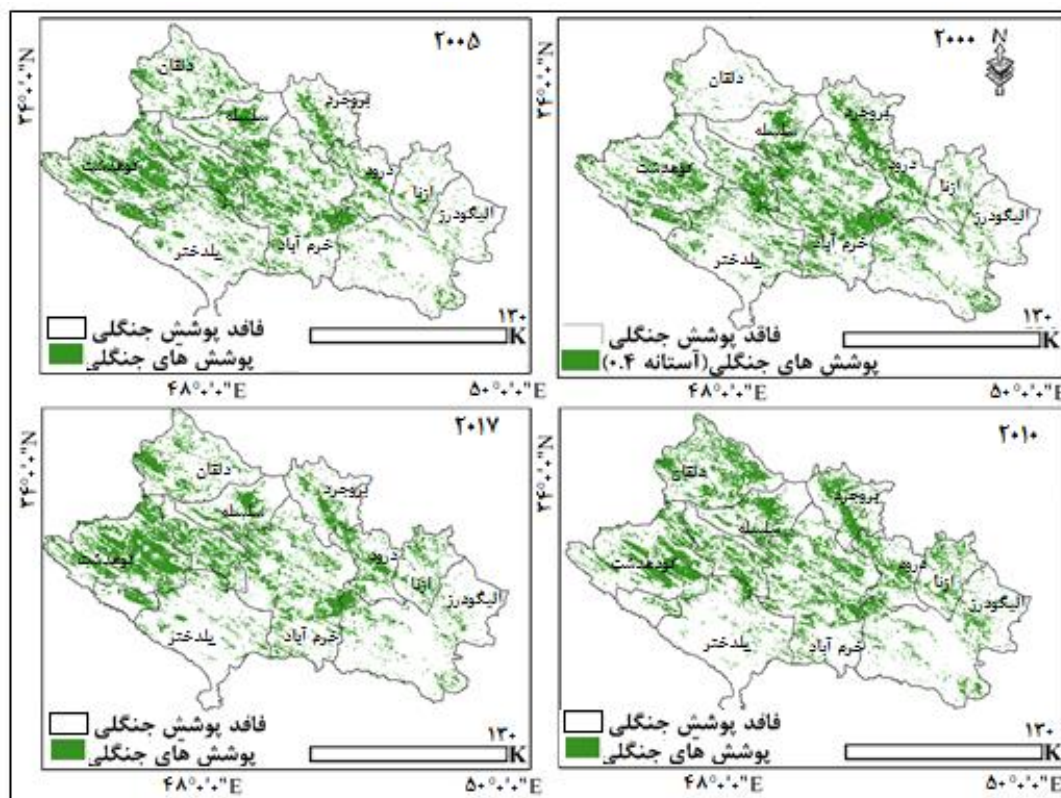
از مدل همبستگی فضایی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P-value = 0.05)، برای تحلیل ارتباط بین تغییرات فضایی پهنه‌های پوشش جنگلی استان لرستان و توزیع فضایی بارش براساس مقیاس سالانه و ماهانه استفاده شد. مدل همبستگی پیرسون در رابطه ۴ ارائه شده است:

$$\text{رابطه ۴} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

در این رابطه، مقدار X و Y درواقع مقادیر بارش و شاخص پوشش گیاهی EVI هستند که برای هرکدام از پیکسل‌های تصاویر به دست آمدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه بالا مبتنی بر کواریانس مقادیر پوشش گیاهی و بارش است. درنهایت پس از اینکه همبستگی بین تغییرات فضایی پهنه پوشش جنگلی طی هجده سال مورد بررسی با مقادیر بارش سالانه استخراج شد، به ارائه مدل برآوردگر خطی اتوماتیک برای ارائه تابع حساسیت دینامیک فضایی پوشش جنگلی به تغییرات بارش اقدام شد.

نتایج

توزیع فضایی شاخص پوشش گیاهی استخراج شده برای چهار دوره آماری ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷، با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ برای بررسی وضعیت پوشش جنگلی استان لرستان استخراج شد (شکل ۳). با استفاده از ۱۷۰ موقعیت نمونه برداری شده، زمینی از درختان بلوط سالم که نشانه‌های زوال بلوط نداشتند، از رویشگاه‌های مختلف استان لرستان، آستانه EVI برای استخراج سبزی‌نگی جنگلی استان از روی تصاویر لندست تعیین شد. این آستانه تجربی برابر $EVI \geq 0.4$ تعیین شد.



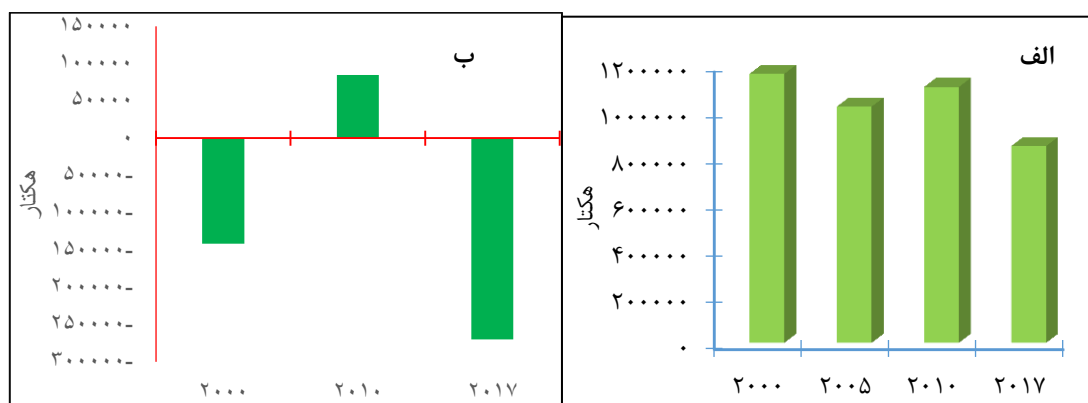
شکل ۳. توزیع فضایی پهنه‌های پوشش جنگلی استان که با استفاده از آستانه تجربی $EVI \geq 0.4$ (۱۷۰ نقطه نمونه برداری شده موقعیت‌های جنگلی استان، از تصاویر TM و OLI، ماهواره لندست ۵ و ۸ استخراج شده است)

پوشش‌های جنگلی یادشده با استفاده از ۱۷۰ موقعیت نمونه برداری شده میدانی استخراج شده است. با اعمال آستانه تعیین شده، توزیع فضایی پوشش‌های جنگلی با غالبیت گونه بلوط برای چهار دوره ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷، ارائه شده است. لازم به ذکر است که این توزیع فضایی سبزیگی جنگلی برای شهریور سال ۱۳۹۶ بوده است که با درصد مجازی از عدم قطعیت به سال‌های پیش نیز قابل تعمیم بود؛ اما برای مناطق دیگر به هیچ وجه قابل تعمیم نیست.

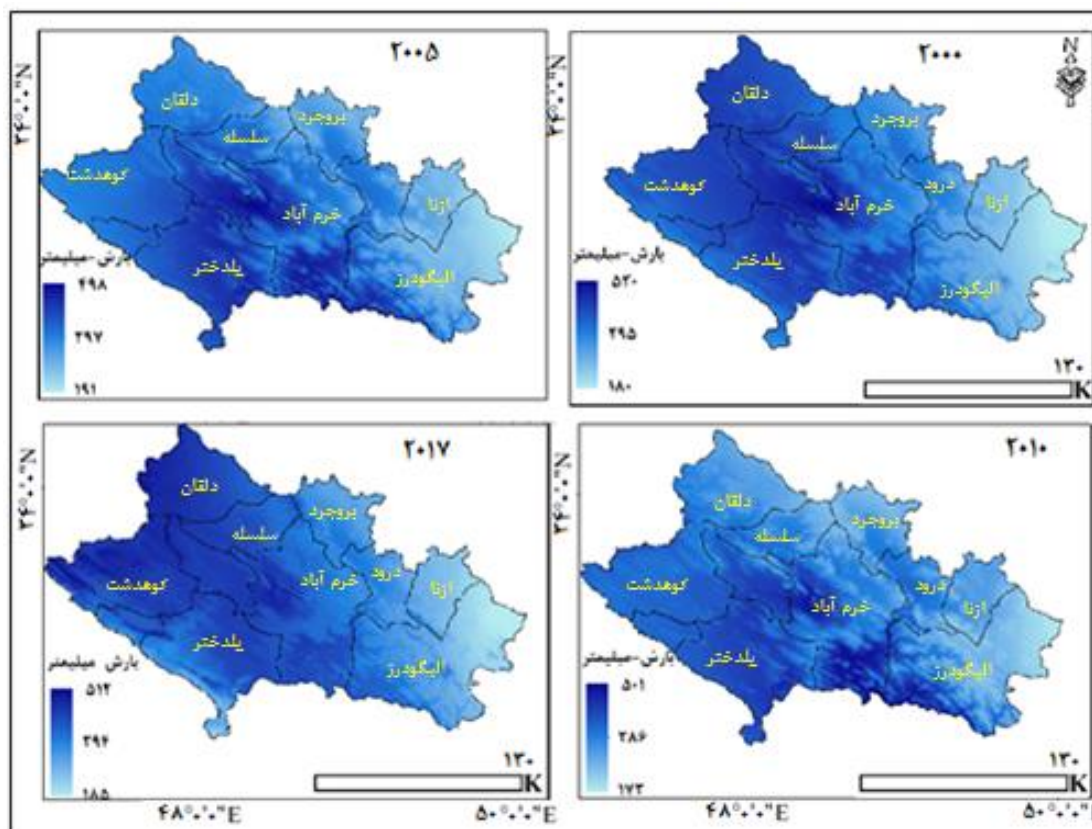
تغییرات فضایی مساحت پوشش‌های جنگلی استخراج شده از تصاویر TM و OLI، برای چهار دوره یادشده با استفاده از آستانه تجربی به دست آمد (شکل ۴). نتایج این بررسی تغییرات بیانگر آن بود که کمترین میزان پوشش گیاهی مربوط به سال ۲۰۱۷ و بیشترین آن مربوط به سال ۲۰۰۵ بوده است. در سال ۲۰۰۵ مساحت پوشش جنگلی استان لرستان که گونه غالب آن بلوط بوده است، برابر ۱۱۶۰۶۲۸ هکتار بوده است (۰/۴۱ از مساحت استان) که در سال ۲۰۰۵ میزان پوشش جنگلی با ۰/۱۲ کاهش (برابر ۱۴۱۵۴۰ هکتار) نسبت به سال ۲۰۰۵، مساحت آن به ۱۰۱۹۰۸۸ هکتار رسیده است (۰/۳۶ از مساحت کل استان). در سال ۲۰۱۰، میزان پوشش جنگلی برابر ۱۱۰۴۰۱۲ هکتار بوده است که نسبت به سال ۲۰۰۵ افزایش ۰/۰۸ در مساحت پوشش‌های جنگلی استان (برابر ۸۴۹۲۴ هکتار) مشاهده می‌شود، در حالی که در سال ۲۰۱۷ همان طور که مشاهده می‌شود، مساحت پوشش‌های جنگلی استان با کاهش ۰/۲۳ (۲۵۴۷۷۲ هکتار) نسبت به سال ۲۰۱۰ روبه رو شده است و مساحت آن به ۸۴۹۲۴۰ رسیده است (۰/۳۳ از مساحت استان)؛ بنابراین طی دوره هجده ساله مورد بررسی، حدود ۰/۲۶٪ از مساحت پهنه جنگلی که آستانه سبزیگی بالاتر از ۰/۴ EVI داشته، کم شده است.

در کنار تغییرات پوشش گیاهی در سطح استان لرستان، تغییرات فضایی بارش استان طی چهار دوره مورد

بررسی، یعنی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷، نیز تحلیل شد (شکل ۵). به‌طور کلی الگوی توزیع فضایی بارش، یعنی موقعیت هسته‌های پربارش و کم‌بارش طی دوره‌های مورد بررسی تغییرات معنی‌داری نداشته است و به‌طور کلی نواحی شرقی منطقه، یعنی شهرستان الیگودرز، بخش‌های شمال شرق استان بارش کمتری نسبت به نواحی غربی و جنوب غرب منطقه داشته‌اند. بارش استان لرستان، براساس میانگین دوره‌های پنج‌ساله بین ۱۷۵ تا ۵۲۰ میلی‌متر در سال متفاوت بوده است؛ تغییرپذیری درون‌سالی یا ماهانه بارش در سطح استان کمابیش بالا است؛ به‌طوری‌که ماه‌های فصل تابستان به‌ندرت بارش بالای سه میلی‌متر ثبت می‌شود؛ درحالی‌که در ماه‌های فصل زمستان و اوایل بهار، بارش‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابند، به‌طور کلی دوره بارش استان هشت ماه از سال، یعنی از مهر تا اوّل خرداد را دربر می‌گیرد و فصل خشک استان شامل ماه‌های خرداد تا شهریور است.



شکل ۴. مساحت جنگل‌های بلوط (ب) و تغییرات آن (الف) (جنگل‌های دارای آستانه سبزی‌نگی بالاتر از ۰/۴) در استان لرستان طی چهار دهه



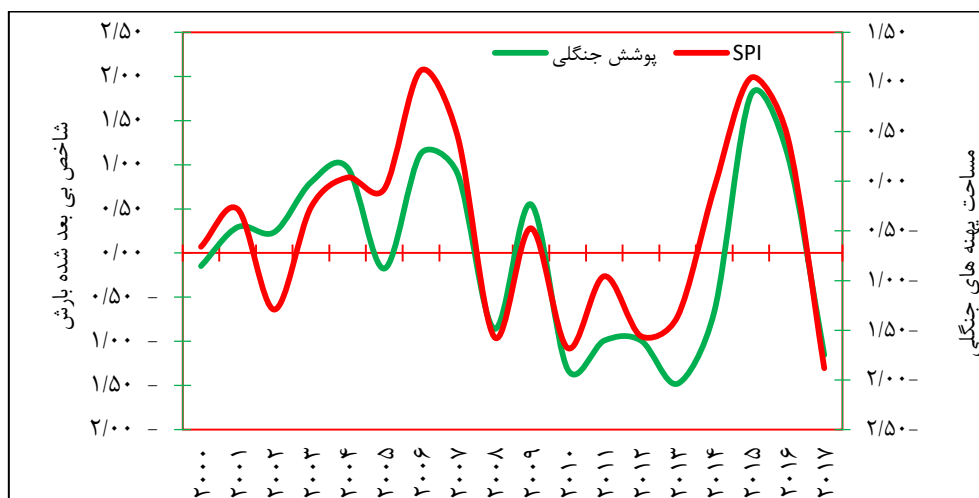
شکل ۵. توزیع فضایی بارش سالانه تجمعی استان لرستان طی دوره مطالعاتی مورد بررسی

در جدول ۳، ضرایب همبستگی بین توزیع فضایی شاخص سبزینگی جنگلی استخراج‌شده از تصاویر لندست طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، با مقدار بارش سالانه تجمعی و نیز میزان بارش سالانه ارائه شده است. همان‌طور که در این ماتریس مشاهده می‌شود، همبستگی فضایی بین توزیع پیکسل‌های شاخص سبزینگی جنگلی لندست ($EVI > 0.4$) با توزیع فضایی پیکسل‌های بارش استان لرستان، برابر ۰/۷۲ بوده است که در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار است. جهت مثبت همبستگی نشان‌دهنده آن است که هسته‌های بیشینه سبزینگی، یعنی توزیع فضایی رویشگاه‌های بلوط در استان لرستان که بیشینه سبزینگی داشته‌اند، هم‌خوانی فضایی بالایی با توزیع فضایی هسته‌های بارش استان لرستان داشته است که این همبستگی فضایی در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = 0.05$) معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در این جدول ضرایب همبستگی مشاهده می‌شود، سبزینگی جنگلی که با استفاده از آستانه تجربی یادشده به‌دست آمد، همبستگی معنی‌داری با توزیع فضایی بارش در سطح استان نشان داده است. این همبستگی به‌صورت ماهانه نیز بررسی شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سبزینگی جنگلی استخراج‌شده که مربوط به شهریورماه بلوط‌های استان لرستان بود، همبستگی بالایی با بارش ماه‌های اسفند تا اردیبهشت داشته است. درمورد همبستگی بین شاخص سبزینگی با بارش‌های سالانه نیز همان‌طور که در شکل ۶، دیده می‌شود، همبستگی کاملاً معنی‌داری مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده آن است در سال‌هایی که مجموع بارش سالانه بالاتر بوده، شاخص سبزینگی نیز بالاتر بوده است.

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل همبستگی‌ها هم در مقیاس ماهانه و هم در مقیاس سالانه بیانگر آن بود که همبستگی معنی‌داری بین توزیع زمانی و مکانی شاخص سبزینگی بلوط‌های استان لرستان در شهریورماه با توزیع زمانی و مکانی بارش سالانه برقرار است. این همبستگی در مقیاس فضایی نیز (همبستگی توزیع فضایی شاخص سبزینگی جنگلی با بارش) به‌اندازه کافی معنی‌دار بوده است که بتوان با تکیه بر آن مدل برآوردگر زمانی - مکانی برای شبیه‌سازی سبزینگی ماه شهریور درختان بلوط استان براساس بارش ارائه کرد. در جدول ۴ آزمون کلموگراف-اسمیرانف^۱ برای ارزیابی نرمال‌بودن توزیع شاخص سبزینگی بلوط‌های استان ارائه شده است که براساس این دو آزمون، هم شاخص سبزینگی بلوط‌های استان در ماه شهریور و هم توزیع بارش سالانه در سطح استان از توزیع نرمال پیروی کرده و امکان ارائه مدل برآوردگر وجود دارد.

جدول ۳. ضریب همبستگی ماهانه بین تغییرات فضایی پهنه‌های پوشش جنگلی استخراج‌شده و توزیع فضایی بارش ماهانه، سالانه و دوره رویش بلوط

همبستگی	Sig	
فروردین	۰/۷۹	۰/۰۰
اردیبهشت	۰/۷۴	۰/۰۰
خرداد	۰/۴۸	۰/۰۰
تیر	۰/۱۹	۰/۰۷
مرداد	۰/۱۷	۰/۰۷
شهریور	۰/۱۷	۰/۰۷
مهر	۰/۱۱	۰/۱۰
آبان	۰/۱۵	۰/۱
آذر	۰/۱۹	۰/۰۷
دی	۰/۳۲	۰/۰۴
بهمن	۰/۴۹	۰/۰۲
اسفند	۰/۶۱	۰/۰۰
سالانه	۰/۷۱	۰/۰۰
دوره رشد	۰/۵۳	۰/۰۰



شکل ۶. همبستگی سری زمانی مجموع بارش سالانه و پهنه پوشش جنگلی دارای آستانه تعیین شده سبزینگی جنگلی ($EVI > 0.4$) (شاخص ها برای مقایسه پذیری بی بعد شده اند)

جدول ۴. نتایج ارزیابی نرمالیتی توزیع دو سری زمانی هجده ساله بارش سالانه استان لرستان و مساحت سالانه پوشش جنگلی استخراج شده

شاپیرو ویلک			کلموگراف اسمیرانف		
آماره معنی داری	درجه آزادی	شاخص شاپیرو	آماره معنی داری	درجه آزادی	شاخص K-S
۰/۲۹۶*	۱۸	۰/۹۴۱	۰/۳۰۰*	۱۸	۰/۱۳۸
۰/۰۹*	۱۸	۰/۲۱	۰/۱۱*	۱۸	۰/۱۰۳

* عدم معنی داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = 0.05$)

اجرای مدل برآوردگر خطی سری زمانی سالانه شاخص سبزینگی جنگلی بلوط های لرستان برای ماه شهریور هر سال، براساس مجموع سالانه بارش (مدل براساس داده های هجده ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ ساخته شده است). به صورت جدول ۵ و شکل ۶ ارائه شده است. همان طور که در این جدول ضرایب مدل سری زمانی هجده ساله مشاهده می شود، شاخص سبزینگی پوشش گیاهی زمانی که بارش برابر بارش میانگین فضایی استان لرستان، یعنی ۲۸۵ میلی متر در سال باشد، میزان سبزینگی عمومی در سطح استان برابر ۰/۳ خواهد بود در حالی که به ازای افزایش هر میلی متر بارش در سطح استان میزان سبزینگی حدود ۰/۰۰۸ شاخص EVI افزایش می یابد. دو شاخص اعتبارسنجی این مدل بیانگر آن بود که پوشش جنگلی سالانه با شاخص سبزینگی مشاهداتی (آستانه تجربی پوشش سبزینگی جنگلی به دست آمده از نمونه برداری میدانی از رویشگاه های بلوط لرستان) حدود ۰/۶۸ همبستگی داشتند؛ پس بر این اساس، ضریب تعیین این مدل اجرا شده که در واقع مدل خطی تجربی برای برآورد سبزینگی بلوط های لرستان براساس بارش سالانه است، ۰/۴۶ بوده است که این ضریب در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value = 0.05$) معنی دار بوده است.

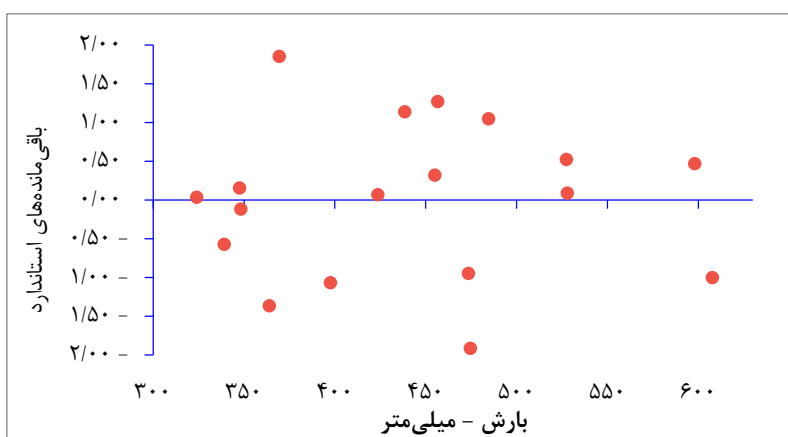
جدول ۵. مدل برآوردگر خطی به منظور برآورد تغییرات فضایی سالانه پهنه پوشش جنگلی با آستانه ($EVI > 0.4$) در استان لرستان براساس تغییرات زمانی بارش

ضرایب خام مدل		مدل سری زمانی هجده ساله	
Std. Error	ضریب	عرض از مبدأ مدل	شاخص خشکسالی
۱۴۷	۰/۳	مدل ساخته شده	
۲۱۸	۰/۰۰۸	همبستگی	
۰/۶۸		ضریب تعیین	
۰/۴۶			

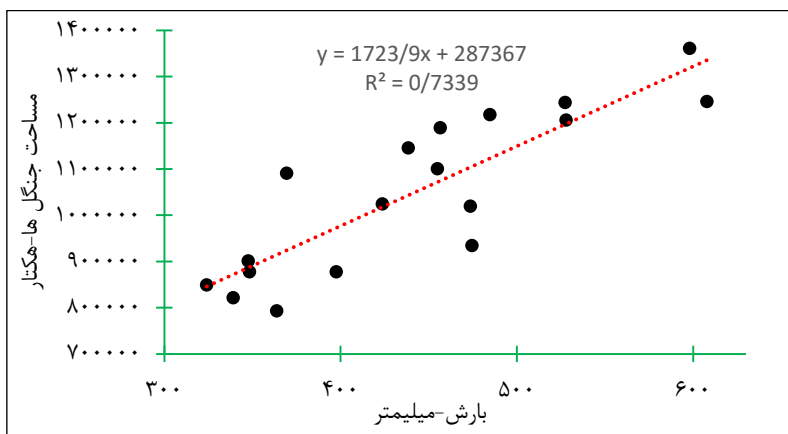
در دو شکل ۷ و ۸، اعتبارسنجی مدل نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار مربوط به باقی‌مانده‌های استاندارد مدل نسبت به متغیر برآوردگر مشاهده می‌شود، باقی‌مانده‌های استاندارد واریانس ثابتی نسبت به متغیر برآوردگر داشته و به‌طور تصادفی توزیع شده‌اند که نشان می‌دهد که مدل به‌صورت قابل قبولی توانسته است، برآورد شاخص سبزینگی را با استفاده از بارش انجام دهد؛ از دیگر سو مساحت طبقه سبزینگی تجربی بلوط (شهریورماه ۱۳۹۶) یعنی $EVI > 0.4$ ، نیز به‌واسطه بارش دچار تغییرات سالانه‌ای شده که در شکل ۸ ارتباط بین آن‌ها به‌وسیله پراکنش نگار و مدل خطی برازش داده‌شده بر آن مدل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در پهنه‌های با بارش بیشتر از ۳۲۰ میلی‌متر در سال، افزایش هر میلی‌متر بارش سالانه می‌تواند باعث افزایش ۱۷۲۴ کیلومتر مربع پهنه سبزینگی آستانه یادشده شود. این مدل خطی با ضریب تعیین 0.73 ، گویای ارتباط بسیار نزدیک بین تغییرات مساحت پهنه با $EVI > 0.4$ و تغییرات بارش در آستانه بالای ۳۰۰ میلی‌متر است.

بحث

جوامع گیاهی هر منطقه برآیندی از برهم‌کنش مؤلفه‌های جغرافیای محلی شامل خاک، توپوگرافی، موقعیت، مطلق و نسبی، عوامل انسانی، و شرایط اقلیمی منطقه شامل مؤلفه‌های بارش، دما، رطوبت نسبی و تغییرپذیری آن‌ها است (گولی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۷. باقی‌مانده‌های استاندارد شده مدل برازش داده‌شده بین مجموع بارش سالانه و پهنه پوشش جنگلی دارای آستانه تعیین‌شده سبزینگی جنگلی ($EVI > 0.4$)



شکل ۸. پراکنش نگار ارتباط بین مساحت پهنه دارای پوشش سبزینگی بلوط‌های لرستان (شهریورماه) و مجموع بارش سالانه

ناهنجاری‌های بارش به‌مثابه یکی از مهم‌ترین وجهه‌های تغییر اقلیم در بخش وسیعی از آسیا به‌ویژه در ایران تأثیرات بارزی در تخریب و تضعیف جوامع گیاهی، مراتع، باغات، جنگل‌ها و حتی کشاورزی داشته است. حدود یک میلیون و دویست هزار هکتار از مساحت استان لرستان پوشیده از جنگل است (۰/۴۳ مساحت کل استان) درخت بلوط مهم‌ترین و عمده‌ترین گونه درختی جنگل‌های لرستان است که نقش اساسی در حفاظت آب و خاک و تعدیل اقلیم استان ایفا می‌کند. از یک دهه پیش، جنگل‌های زاگرس درگیر نوعی بیماری جدید و نوظهور به‌نام زوال بلوط شده‌اند که این بیماری، باعث خشکیدگی اندام‌های مختلف درخت و در نهایت مرگ و میر این درختان بارزش شده است. هرچند بروز این بحران در سایر نقاط دنیا به‌ویژه جنگل‌های بلوط اروپا سابقه طولانی دارد (دنمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۷)؛ اما در ایران برای اولین بار حدود یک دهه پیش آغاز شد.

ناهنجاری‌های بارشی اعم از خشکسالی، جابه‌جایی دوره بارش، جابه‌جایی هسته‌های بارش، به‌طور مستقیم با محدود کردن منابع آب در دسترس گیاه، تأخیر در آب‌رسانی به گیاه، تنش خشکی شدید برای درخت ایجاد کرده و منجر به تضعیف درخت می‌شوند. استرس خشکی از یک سو و برهم خوردن برنامه فنولوژی درختان ناشی از تغییر و جابه‌جایی درون سالی دما و بارش و از دیگر سو افزایش فراوانی رخداد‌های حدی اقلیمی مانند بارش‌های رگباری و تگرگ، سیلاب‌ها، امواج گرم و سرد شدید همگی به تضعیف و زوال تدریجی درختان منجر می‌شود (وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهشگران عرصه جنگل‌داری، حدود هفتاد دلیل برای از بین رفتن جنگل‌های بلوط زاگرس ارائه کرده‌اند که در این میان، دو فاکتور تغییر اقلیم و عوامل انسانی جایگاه بسیار مهمی دارند. مصاحبه‌های میدانی پژوهش حاضر بیانگر آن بود که جایگاه و اهمیت درختان بلوط در میان روستاییان استان، تبیین نشده است. در بسیاری از روستاهای منطقه از درختان بلوط به‌مثابه سوخت هیزم استفاده می‌کنند و در برخی دیگر از روستاها بازار فروش زغال بلوط باعث ایجاد تخریب گسترده در جنگل‌های بلوط این استان شده است؛ اما دامنه تخریب جنگل‌های بلوط تنها به قطع درختان بلوط به‌وسیله روستائیان یا افراد سودجو و تاجران چوب ختم نمی‌شود، مطالعه میدانی پژوهشگران بیانگر آن بوده است که در بسیاری از عرصه‌های جنگلی پرشیب، کشاورزی زیر اشکوب جنگل حتی در شیب‌های بیش از ۱۲ درجه، و شخم زمین، چرای دائمی و بی‌رویه دام‌ها و سرشاخه‌خوری درختان به‌وسیله دام‌ها، آتش‌سوزی‌های ناشی از سهل‌انگاری‌های انسانی در فصل گرم، همگی باعث تضعیف و نابودی تدریجی این جنگل‌های ارزشمند شده است.

به دنبال افزایش عدم قطعیت در اقلیم منطقه که از تظاهرات عمده گرمایش جهانی در ایران است، آستانه تحمل این درختان را تحت تأثیر قرار داده است. از طرف دیگر، بسیاری از پژوهشگران عرصه جنگل بر این باورند که جنگل‌های بلوط زاگرس کمابیش به سن پیری رسیده‌اند و توان جایگزینی خود را به‌صورت مناسبی ندارند؛ بنابراین در این حالت آنومالی‌های بارش می‌تواند فشار بیش از حدی بر این جنگل‌ها بیاورد. با تغییر رفتار بارش و افزایش فراوانی بارش‌های رگباری، افزایش ضریب بارش روزانه به سالانه، جابه‌جایی زمان بارش، بسیاری از رفتارهای فنولوژیک این درختان، تحت تأثیر قرار خواهد گرفت؛ از طرف دیگر برخی مخاطرات نوظهور اقلیمی از جمله خشکسالی و به دنبال آن ریزگردها، بروز آفات و بیماری‌های جدید، از بین بردن تنوع زیستی در خاک، باعث افزایش شدید در مرگ و میر درختان بلوط می‌شود. یکی از راه‌های بررسی تأثیر آنومالی‌های بارشی در جنگل‌ها، بررسی فراوانی درختان سالم و درختان با میزان سبزی‌نگی مناسب است.

1- Denman

2- Wang

در پژوهش حاضر با نمونه‌برداری از ۱۷۰ درخت سالم بدون نشانه‌های زوال و دارای سبزیگی مناسب در رویشگاه‌های مختلف استان لرستان در ماه اوج سبزیگی درختان، یعنی شهریورماه و بررسی این موقعیت‌ها روی تصاویر EVI سنجنده مادیس، آستانه سبزیگی متوسط برای این درختان سالم برابر $EVI = 0.4$ ، تعیین شد. این آستانه تجربی برای سبزیگی درختان بلوط بوده و به سایر گونه‌ها قابل تعمیم نیست؛ زیرا تمام نمونه‌برداری‌ها از گونه بلوط انتخاب شده بودند و نکته دوم اینکه این آستانه تعیین شده برای ماه اوج سبزیگی بلوط‌ها، یعنی شهریور و برای رویشگاه‌های استان لرستان بوده است؛ بنابراین این آستانه تجربی به هیچ‌وجه قابلیت تعمیم به سایر ماه‌ها و سایر رویشگاه‌ها را نخواهد داشت.

از دیگر نقاط ضعف این آستانه این است که از آنجاکه در نوشتار پیش رو آستانه پوشش جنگلی با استفاده از فیلتر تجربی $EVI > 0.4$ از سایر پوشش‌ها تفکیک شده است؛ بنابراین هنگام تعمیم این فیلتر به کل منطقه، احتمال دارد بخشی از مراتع غنی پاکوهی، سبزیگی بالایی داشته باشند در مناطق کوهستانی، وارد طبقه جنگلی شده‌اند که شیفو و همکاران (۲۰۱۸)، به این خطا اشاره کرده‌اند. در پژوهش حاضر پهنه‌های جنگلی که با استفاده از آستانه ($EVI > 0.4$) به دست آمد، اول اینکه نشان داد که سبزیگی بلوط‌های استان لرستان در حالت پیک (ماه شهریور) در مقیاس درون‌سالی با بارش‌های سه تا پنج ماه قبل بالاترین همبستگی را داشته‌اند؛ چنین تأخیری در بسیاری از پژوهش‌های دیگر از جمله صدیقی‌فر و همکاران (۲۰۱۹) نیز که پاسخ زمانی و مکانی جنگل‌های هیرکانی استان مازندران را به ویژگی‌های اقلیمی منطقه از جمله بارش بررسی کرده‌اند، مشاهده شده است. دوم اینکه آستانه سبزیگی بلوط‌های استان لرستان که با نمونه‌برداری تجربی محاسبه شده است، بارش ۳۲۰ میلی‌متر بوده است که بیانگر آن است که سبزیگی تجربی به دست آمده، به‌طور کلی در نواحی‌ای مشاهده می‌شود که بارش سالانه بیش از ۳۲۰ میلی‌متر در سال باشد. این آستانه بارشی با عدم قطعیت زیادی همراه است؛ در اینجا نیز مقادیر زیادی خطا مشاهده می‌شود؛ به همین دلیل پژوهشگرانی مانند گویلی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) و تونگ^۲ و همکاران (۲۰۱۷) در مورد این گونه آستانه‌های اقلیمی بسیار با احتیاط و با عدم قطعیت بالا صحبت کرده‌اند؛ بنابراین در نوشتار پیش رو نیز این آستانه همراه با احتیاط و عدم قطعیت زیادی پیشنهاد خواهد شد.

مدل برازش داده‌شده بیانگر آن بود که در مقیاس بارش سالانه، افزایش هر میلی‌متر بارش (در مرز بارش بالاتر از ۳۲۰ میلی‌متر) باعث افزایش ۰/۰۸ شاخص EVI خواهد شد که این رابطه دارای ضریب تعیینی برابر ۰/۴۶ بود که در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی دار بوده است. از لحاظ تغییرات فضایی بارش نیز نتایج بیانگر آن بود که تغییرات بارش در رویشگاه‌های بلوط می‌تواند به صورت معنی داری پهنه‌های دارای استان سبزیگی بلوط را دچار تغییر مساحت کند؛ به گونه‌ای که براساس مدل خطی برازش داده‌شده هر میلی‌متر تغییر بارش در رویشگاه‌های بلوط (آستانه بارشی ۳۲۰ میلی‌متر) منجر به ۱۷۲۴ کیلومتر تغییر در مساحت این پهنه‌های با سبزیگی بالای ۰/۴ خواهد شد. اگر با رویکرد آینده‌پژوهی به پژوهش حاضر نگریسته شود، آینده مناسبی برای جنگل‌های بلوط استان لرستان با فرض تداوم مدیریت فعلی، قابل تصور نیست. از آنجاکه آنومالی‌های بارش، که به نوعی نمایه‌ای از افزایش ناهنجاری اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی است، از یک سو روند افزایشی دارد و از دیگر سو هم جنگل‌های بلوط استان به‌طور کلی هم به دلیل جوان نبودن و هم به دلایل متعدد انسانی، توان جایگزینی مناسب خود را از دست داده‌اند، بنابراین روند تخریب این جنگل‌ها تشدید می‌شود و در آینده‌ای نه‌چندان دور در صورتی که مدیریت جامع و همه‌جانبه‌ای در کار نباشد، این جنگل‌ها به‌طور چشم‌گیری از بین خواهند رفت.

نتیجه‌گیری

جنگل‌های بلوط لرستان که جزء جامعه جنگلی زاگرس است، در پی انطباق بلندمدت با الگوی زمانی - مکانی شرایط اقلیمی از جمله بارش و رطوبت ایجاد شده است. اکنون که به واسطه رخداد گرمایش جهانی، الگوی زمانی - مکانی بارش در منطقه مورد مطالعه دچار ناهنجاری‌ها و بی‌نظمی‌های گسترده‌ای شده است، جنگل‌های استان، بیش از همیشه در موضع ضعف و آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر مشاهده شد که بارش پنج ماه پیش از شهریور هر سال، یعنی بارش‌های فروردین تا خرداد، کنترل‌کننده اصلی میزان سبزی‌نگی درختان سالم جنگل‌های بلوط استان است؛ از طرف دیگر نیز مشخص شد که آستانه سبزی‌نگی این جنگل‌ها، بارش ۳۲۰ میلی‌متر سالانه است؛ اما در برخی از رویشگاه‌ها اشکوب جنگل زیر این تراز بارشی نیز مشاهده می‌شود. با توجه به این وابستگی جنگل‌های بلوط استان به بارش و با توجه به اینکه روند افزایش ناهنجاری‌ها و بی‌نظمی‌های بارش در آینده افزایشی بوده و جابه‌جایی‌های زمانی و مکانی بارش در سطح استان روند افزایشی خواهد داشت، در صورت تداوم روند مدیریت کنونی و عدم اخذ تدابیر حفاظتی از جنگل‌های بلوط استان، روند تخریب این جنگل‌ها تشدید شده و در آینده‌ای نزدیک سطح این جنگل‌ها در استان لرستان بسیار کاهش می‌یابد؛ پس لازم است اقدامات مدیریتی از جمله کنترل چرای دام در اشکوب جنگلی استان، کنترل کشاورزی در اشکوب جنگلی، افزایش گشت‌های محافظتی جنگل‌بانی در منطقه، پایش سلامت درختان و کنترل بیماری‌ها، امراض آفات درختان، تقویت اقتصاد روستایی و اشتغال‌زایی روستایی برای جلوگیری از تخریب درختان به‌وسیله روستاییان، آماده‌سازی خدمات گرمایشی همچون گاز شهری برای روستاهای منطقه به‌منظور جلوگیری از قطع درختان برای مصارف گرمایشی در فصل سرد تدوین شود.

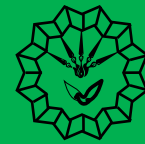
منابع

- احسانی، علی؛ ارزانی، حسین؛ فرحپور، مهدی؛ احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ جلیلی، عادل؛ میرداودی، حمیدرضا؛ عباسی، حمیدرضا؛ عظیمی، مژگان السادات (۱۳۸۶). تأثیر شرایط اقلیمی بر تولید علوفه مراتع در منطقه استپی اخترآباد ساوه. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۴ (۲)، ۲۴۹-۲۶۰.
- علیرضایی، زهرا؛ گندمکار، امیر؛ خداحلی، مرتضی؛ عباسی، علیرضا (۱۳۹۸). آشکارسازی تأثیر خشکسالی بر پویایی زمانی - مکانی جنگل‌های بلوط زاگرس (نمونه موردی: جنگل‌های بلوط لرستان). *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۷ (۱)، ۱۰۷-۱۲۳.
- فرخ‌زاده، منوچهر؛ فتح‌نیا، امان‌اله؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائی، پرویز (۱۳۹۰). ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴ (۷۵)، ۱-۱۴.
- فرخ‌زاده، بهنوش؛ منصوری، شهرزاد؛ سپهری، عادل (۱۳۹۶). تعیین میزان همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI با شاخص خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: مراتع دشتی استان گلستان). *هواشناسی کشاورزی*، ۵ (۲)، ۵۵-۶۵.
- هادیان، فاطمه؛ جعفری، رضا؛ بشری، حسین؛ سلطانی، سعید (۱۳۹۲). پایش تأثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در یک دوره ۲۱ ساله (مطالعه موردی: سمیرم و لردگان). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۶۶ (۴)، ۶۲۱-۶۳۲.

References

- Alirezaee, Z., Gandomkar, A., Khodaghali, M. & Abasi, A. R. (2019). Spatiotemporal Dynamics of Oak Forest of Zagros in Response to Drought Case Study: Oak Forest of Lorestan. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 17 (1), 107-123. doi 10.22092/IJFRPR.2019.119997. (In Persian)

- Anyamba, A., Eastman, J. R. (1996). Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Nino/Southern Oscillation. *International Journal Remote Sens*, 17 (3), 2533-2548. <https://doi.org/10.1080/01431169608949091>.
- Berhan, G., Tadesse, T. & Atnafu, S. (2015). Drought Spatial Object Prediction Approach Using Artificial Neural Network. *Geoinfor Geostat: An Overview*, 3 (2), 1-7. doi:10.4172/2327-4581.1000132.
- Choudhury, B. J., Tucker, C. J., Golus, R. E. & Newcomb, W. W. (1987). Monitoring vegetation using Nimbus-7 scanning multichannel microwave radiometer's data. *International Journal of Remote Sensing*, 8 (3), 533-538. <https://doi.org/10.1080/01431168708948660>.
- Denman, S., Barrett, G., Kirk, S. A., McDonald, J. E. & Coetzee, M. P. A. (2017). Identification of Armillaria species on declined oak in Britain: Implications for oak health. *Forestry*, 90 (2), 148-161. DOI: 10.1093/forestry/cpw054.
- Ehsani, A., Hosein Arzani, M., Farahpoor, H., Ahmadi, M., Jafari, A., Jalili, H. R., Mirdavodi, H. & Abbasi, M. (2007). The effect of climatic conditions on range forage production in steppe rangelands, Akhtarabad of Saveh. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 14 (2), 249-260. (In Persian)
- Farajzadeh, M., Fathnia, A., Alijani, B. & Zeaiean, P. (2011). Assessment of the Effect of Climatic Factors on the Growth of Dense Pastures of Iran, Using AVHRR Images. *Physical Geography Research*, 43 (75), 1-14. (In Persian)
- Farrokhzadeh, B., Mansouri, S. & Sepehri, A. (2018). Determining the correlation between NDVI and EVI vegetation indices and SPI drought index (Case Study: Golestan rangelands). *Journal of Agricultural Meteorology*, 5 (2), 56-65. (In Persian)
- Goward, S. N., Prince, S. D. (1995). Transient Effects of Climate on Vegetation Dynamics Satellite Observations. *Journal Biogeogr*, 22 (5), 549-563. DOI: 10.2307/2845953 <https://www.jstor.org/stable/2845953>.
- Guli, J., Shunlin, L., Qiuxiang, Yi. & Jinping, L. (2015). Vegetation dynamics and responses to recent climate change in Xinjiang using leaf area index as an indicator. *Ecological Indicators*, 58 (2), 64-76. DOI:10.1016/j.ecolind.2015.05.036.
- Hadian, F., Jafari, R., Bashari, H. & Soltani, S. (2014). Monitoring the Effects of Precipitation on Vegetation Cover Changes Using Remote Sensing Techniques in 12 Years Period (Case study: Semirom Isfahan). *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (4), 621-632, doi 10.22059/JRWM.2014.50035. (In Persian)
- Potter, C. S., Brooks, V. (1998). Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. *International Journal Remote Sens*, 15 (1), 2921-2948. <https://doi.org/10.1080/014311698214352>.
- Schultz, P. A. & Halpert, M. S. (1995). Global Analysis of the Relationships Among a Vegetation Index, Precipitation, and Land Surface Temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 16 (3), 2755-2777. <https://doi.org/10.1080/01431169508954590>.
- Sedighifar, Z., Motlagh, M. G. & Halimi, M. (2019). Investigating spatiotemporal relationship between EVI of the MODIS and climate variables in northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (4), 1-12.
- Shifaw, E., Sha, J., Xiaomei, L., Zhongcong, B., Jianwan, J. & Bingchu, C. (2018). Spatiotemporal analysis of vegetation cover (1984-2017) and modelling of its change drivers, the case of Pingtan Island, China. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4 (1), 899-917. DOI: 10.1007/s40808-018-0473-6.
- Tong, S., Zhang, J., Bao, Y. (2017). Spatial and temporal variations of vegetation cover and the relationships with climate factors in inner Mongolia based on GIMMS NDVI3g data. *Journal of Arid Land*, 9 (3), 394-407.
- Tucker, C. J., Holben, B. N. & Goff, T. E. (1984). Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 15 (3), 255-261.
- Wang T., Luo Y., Zhong, M. (2017). Comparison of recent precipitation tendency between Northwest and North China. *Journal of China Hydrology*, 37 (1), 56-63. <https://doi.org/10.1155/2017/8282353>.



تحلیل سری زمانی فرونشست زمین در غرب استان تهران (دشت شهریار) و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل‌سنجی راداری

رامین پایی^۱، سارا عطارچی^{۲*}، مسعود سلیمانی^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	
تاریخچه مقاله: دریافت ۲۸ دی ۱۳۹۸ پذیرش ۳ اردیبهشت ۱۳۹۹ دسترسی آنلاین ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۹	
کلیدواژه‌ها: فرونشست زمین، تداخل‌سنجی راداری (InSAR)، SBAS، تغییرات آب زیرزمینی، رادار دریچه‌مصدوعی (SAR)	فرونشست زمین به‌مثابه یکی از انواع مخاطرات طبیعی و زمین‌شناسی به‌شمار می‌آید که می‌تواند به‌طور طبیعی یا بر اثر فعالیت‌های انسانی همچون برداشت درازمدت آب زیرزمینی و کشاورزی سنتی حاصل شود. در دو دهه اخیر پیرو رخداد تغییرات اقلیم و خشکسالی‌های پیاپی از یک‌سو و نیز مدیریت غیر اصولی منابع آب، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و رشد فزاینده جمعیت، سبب رخداد فرونشست در استان تهران به‌ویژه منطقه دشتی واقع در غرب استان شده است. به‌طور کلی هدف از پژوهش حاضر پایش و اندازه‌گیری فرونشست زمین با استفاده از رویکرد تداخل‌سنجی راداری و همچنین تحلیل و بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در غرب استان تهران است. بدین‌منظور از سری زمانی تصاویر ماهواره ENVISAT-ASAR از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ بهره گرفته شد. به‌منظور تحلیل سری زمانی جابه‌جایی سطح زمین و تولید نقشه متوسط نرخ جابه‌جایی، از الگوریتم زیرمجموعه خط‌مبنای کوتاه (SBAS) استفاده شد. نتایج تحلیل سری زمانی داده‌های تداخل‌سنجی نشان‌دهنده رخداد فرونشست به‌صورت پیوسته در زمین‌های کشاورزی منطقه است که سرعت میانگین تغییر شکل در راستای خط دید ماهواره حاصل از تحلیل سری زمانی، جابه‌جایی را با نرخ متوسط ۱۰- سانتی‌متر و حداکثر ۲۷- سانتی‌متر در سال در منطقه دشتی نشان می‌دهد؛ همچنین نتایج حاصل از بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در واژه چاهک مشاهداتی برای بازه زمانی مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه نیز نشان‌دهنده کاهش به‌طور متوسط ۰/۵ تا ۱/۵ متری سطح آب در آبخوان منطقه است. همبستگی کلی بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست، معادل ۸۹/۴۵ تخمین زده شد که نشانگر وابستگی رخداد فرونشست و برداشت آب‌های زیرزمینی در منطقه است.
استناد: پایی، رامین؛ عطارچی، سارا؛ سلیمانی، مسعود (۱۳۹۹). تحلیل سری زمانی فرونشست زمین در غرب استان تهران (دشت شهریار) و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل‌سنجی راداری. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۱)، ۱۰۹-۱۲۸. doi: 10.22126/GES.2020.4933.2182	

مقدمه

فرونشست زمین^۱ به مثابه پدیده‌ای طبیعی، به معنی نشست تدریجی یا پایین رفتن ناگهانی سطح زمین ناشی از تراکم مواد زیرسطحی بر اثر فشار لایه‌های بالایی تعریف می‌شود که به سبب‌های گوناگونی رخ می‌دهد (هو^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از علّت‌های رایج وقوع این پدیده، برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی است (لی و پارک^۳، ۲۰۱۳). در مناطقی که سفره‌های آب زیرزمینی بسته دارند، به دنبال تخلیه آب‌های زیرزمینی، فشار منافذ کاهش یافته و لایه‌های رسوبی فشرده و متراکم می‌شوند که این فرایند در سطح زمین سبب کاهش ارتفاع و نشست سطح را به طور تدریجی یا ناگهانی می‌شود (پولند^۴، ۱۹۸۴؛ چن^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). پدیده فرونشست به عنوان معضلی جهانی منجر به وقوع پیامدهای محیطی زیادی همچون آسیب‌رساندن به سازه‌های بشرساخت مانند ساختمان‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها و خطوط انتقال نیرو، ایجاد شکاف‌هایی روی سطح زمین، تشدید سیلاب و آب‌گرفتگی و کاهش ظرفیت آبخوان‌ها برای ذخیره آب می‌شود و در نهایت خطراتی را به لحاظ اجتماعی و اقتصادی برای جوامع بشری در پی دارد (هافمن^۶ و همکاران، ۲۰۰۳؛ هولزر و گالووی^۷، ۲۰۰۵). نرخ و الگوهای مکانی فرونشست در طول زمان تغییر می‌کند؛ بنابراین اندازه‌گیری‌های دقیق و استفاده از ابزارهای پیش‌بینی‌کننده برای بهبود درک فرونشست زمین لازم است (اگلستون و پاپ^۸، ۲۰۱۳).

دوره‌های خشکسالی متعددی ناشی از گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم در طول نیم‌قرن اخیر در منطقه خاورمیانه و غرب آسیا به وقوع پیوسته و معضلات زیست‌محیطی بسیاری را متوجه قسمت‌های مختلفی از این منطقه (آگراوالا^۹ و همکاران، ۲۰۰۱) به ویژه کشور ایران ساخته است. در این میان دو دوره خشکسالی شدید رخ داده در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ (میسون^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵) و ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ (کانویسکی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۲) شایان توجه و اهمیت است؛ از جمله نمودهای عینی تأثیرات بسیار شدید ناشی از رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای نام‌برده در ایران، می‌توان به کاهش ریزش‌های جوی و در پی آن کاهش آب‌های سطحی در تعامل با افزایش فعالیت‌های انسانی که سبب خشکی کمابیش کامل (۹۹٪) دریاچه هامون در سال ۲۰۰۱ (راشکی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳) و خشکی بیش از ۷۰٪ دریاچه ارومیه در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ (پنگرا^{۱۳}، ۲۰۱۲؛ مردی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۸) اشاره کرد. افزون بر دلایل طبیعی ناشی از تغییرات اقلیم، در سال‌های اخیر، رشد فزاینده جمعیت در تعامل با توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی سبب افزایش تقاضا برای تأمین آب در دشت تهران شده است و پس از این، به علّت استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی به منظور تأمین مصارف صنعتی، کشاورزی و آشامیدنی؛ دشت تهران به عنوان یکی از مناطق دارای رخداد فرونشست شناسایی شده است (حقیقی و معتق^{۱۵}، ۲۰۱۹).

1- Land Subsidence

2- Hu

3- Lee & Park

4- Poland

5- Chen

6- Hoffmann

7- Holzer & Galloway

8- Eggleston & Pope

9- Agrawala

10- Mason

11- Kaniewski

12- Rashki

13- Pengra

14- Mardi

15- Haghighi & Motagh

امروزه به‌منظور پایش و اندازه‌گیری فرونشست زمین روش‌های ژئودتیک و غیر ژئودتیک مختلفی توسعه داده شده است. ایستگاه‌های سامانه موقعیت‌یابی جهانی^۱ زمینی به‌عنوان روش‌های ژئودتیک تنها اندازه‌گیری‌های دقیق و پیوسته‌ای را در نقاط محدودی از سطح زمین ارائه می‌دهند و توانایی لازم را برای تعیین وسعت و الگوهای مکانی نشست ندارند (لاناری^۲ و همکاران، ۲۰۰۷). درمقابل تکنیک تداخل‌سنجی راداری^۳ به‌مثابه یکی از روش‌های غیر ژئودتیک با توجه به مزیت‌هایی که نسبت به سایر روش‌ها دارد، در چند دهه اخیر به‌طور گسترده‌ای در زمینه مطالعات فرونشست زمین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این رویکرد در میان روش‌های زمینی و فضایی به‌عنوان کارآمدترین روش برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقت مکانی بسیار بالا به‌حساب می‌آید (فرونو و سارتی^۴، ۲۰۰۰؛ تسورو^۵ و همکاران، ۲۰۰۰).

رخداد فرونشست زمین ناشی از استخراج بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق مختلفی از جهان گزارش شده (چن و همکاران، ۲۰۰۳؛ تیاتینی^۶ و همکاران، ۲۰۰۶؛ گالووی و بری^۷، ۲۰۱۱) و به‌منظور پایش و اندازه‌گیری آن از راه قابلیت‌های InSAR، نیز مطالعات گسترده‌ای در سطح جهانی صورت گرفته است (گالووی و همکاران، ۱۹۹۸؛ هافمن و همکاران، ۲۰۰۱؛ باکلی^۸ و همکاران، ۲۰۰۳؛ لاناری و همکاران، ۲۰۰۴؛ معتق و همکاران، ۲۰۰۸؛ دهقانی^۹ و همکاران، ۲۰۰۹؛ الف؛ سیگنا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۲؛ چوسارد^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۳؛ معتق و همکاران، ۲۰۱۷؛ حقیقی و معتق، ۲۰۱۹). یکی از قابلیت‌های کاربردی InSAR، تحلیل سری زمانی جابه‌جایی با استفاده از مؤلفه‌های اختلاف فاز مربوط به فاصله‌های زمانی مختلف است. در این راستا رویکردهای مختلفی توسعه داده شده است. یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها، الگوریتم تحلیل سری زمانی زیرمجموعه خط مبنای کوتاه^{۱۲} است. الگوریتم SBAS براساس خط مبنای کوچک^{۱۳} برای نظارت بر تکامل زمانی تغییر شکل سطح زمین (فرونشست) توسعه داده شده است. این تکنیک بر انتخاب ترکیب مناسبی از تداخل‌نگاشت‌های^{۱۴} تفاضلی تولیدشده با جفت تصویرهای راداری استوار است که از راه جداسازی مداری کوچک (خط مبنای) به‌منظور کاهش پدیده غیر همبستگی مکانی مشخص می‌شود (براردینو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۲).

در پژوهش حاضر منطقه دشتی واقع در غرب استان تهران، دربرگیرنده شهرستان‌های اسلام‌شهر، رباط‌کریم و شهریار براساس گزارش‌های مبنی بر رخداد فرونشست در این نواحی، بررسی شد. به‌طور کلی مطالعات صورت گرفته در این منطقه درخصوص پایش و برآورد فرونشست زمین به دو دسته ژئودتیک و غیر ژئودتیک قابل تفکیک هستند. درباره مطالعات ژئودتیکی، عملیات ترازایی^{۱۶} و همچنین استفاده از شبکه ایستگاه‌های زمینی

1- Global Positioning Systems (GPS)

2- Lanari

3- Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

4- Fruneau & Sarti

5- Tesaro

6- Teatini

7- Galloway & Burbey

8- Buckley

9- Dehghani

10- Cigna

11- Chaussard

12- Small BAseline Subset (SBAS)

13- Small Baseline

14- Interferogram

15- Berardino

16- Leveling surveys

سامانه موقعیت‌یابی جهانی قابل توجه است. در این راستا می‌توان به پژوهش‌های انجام‌شده عربی^۱ و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور پایش فرونشست زمین در منطقه مورد بررسی در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ از راه ترازایی و پیروزی و اسلامی^۲ (۲۰۱۷) در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ از راه نقاط پنج‌مارک سازمان نقشه‌برداری کشور اشاره کرد. همان‌طور که گفته شد؛ اندازه‌گیری‌های ژئودتیکی و میدانی باوجود برخورداری از دقت بالا، به‌منظور استخراج الگوهای زمانی و به‌ویژه مکانی فرونشست زمین چندان کارآمد نیستند. همان‌گونه که نصب و راه‌اندازی آن و اندازه‌گیری‌های میدانی بدین‌طریق بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است.

درخصوص مطالعات غیر ژئودتیکی می‌توان به استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای و رویکردهای مرتبط با آن؛ همچون تداخل‌سنجی راداری اشاره کرد. پژوهش‌های تداخل‌سنجی راداری انجام‌شده در منطقه مورد بررسی به‌منظور پایش و برآورد تغییرات شکل سطح و فرونشست زمین، از چهار دیدگاه قابل بررسی و تقسیم‌بندی هستند. ۱- پژوهش‌هایی که به‌منظور پایش و شناسایی الگوهای مکانی - زمانی نشست منطقه و نیز معرفی روش تداخل‌سنجی راداری به‌عنوان رویکرد و ابزاری کارآمد و نوین در این زمینه انجام شده‌اند (معتق و همکاران، ۲۰۰۸؛ علیپور^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). ۲- مطالعاتی که تمرکز آن‌ها بر بررسی قابلیت‌های مجموعه داده‌های مختلف راداری برای پایش فرونشست زمین بوده است (حق‌شناس حقیقی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسماعیلی و همکاران، ۲۰۱۷). ۳- پژوهش‌هایی که در راستای توسعه الگوریتم و بهینه‌سازی دقت نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی جابه‌جایی زمین صورت گرفته است (دهقانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسماعیلی و معتق^۴، ۲۰۱۶). ۴- مطالعاتی که به تحلیل ارتباط بین فرونشست زمین و تغییرات عمق آب‌های زیرزمینی توجه داشته‌اند (حق‌شناس حقیقی و معتق، ۲۰۱۹). در بررسی‌های انجام‌شده درخصوص پایش فرونشست زمین در دشت غربی تهران با استفاده از سنجش از دور، باوجود نرخ قابل توجه نشست در طول زمان، به ارتباط مکانی - زمانی فرونشست و تغییرات آب زیرزمینی توجه چندانی نشده است. درواقع تمرکز غالب این مطالعات بر برآورد فرونشست با استفاده از قابلیت‌های رویکرد سنجش از دوری تداخل‌سنجی راداری بوده است و منشأ و علت اصلی معضل حادث‌شده به‌صورت کمی و خاص بررسی و تجزیه و تحلیل نشده است؛ بنابراین پژوهش حاضر بیشتر با هدف پایش و تحلیل دقیق‌تر روندهای گذشته در منطقه مورد بررسی به‌لحاظ رخداد فرونشست زمین و تغییرات آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی و اثرگذار بر رخداد آن، سازمان‌دهی شده است.

با توجه به ماهیت پویای پدیده فرونشست زمین در مقایسه با پدیده‌هایی که به‌طور ناگهانی اتفاق می‌افتند، مطالعه روندها و استخراج الگوهای به‌وقوع‌پیوسته در گذشته با استفاده از آرشیو داده‌های ماهواره‌ای، می‌تواند در درک و شناخت بهتر وضعیت فعلی و نیز اتخاذ راهکارهای مدیریتی و پیشگیرانه برای آینده کارساز واقع شود. در نوشتار پیش رو با استفاده از داده‌های SAR و به‌کارگیری تکنیک تداخل‌سنجی راداری SBAS، سری زمانی پدیده جابه‌جایی و به‌طور خاص فرونشست زمین در دشت غربی استان تهران، پایش و اندازه‌گیری می‌شود. پس از استخراج الگوی رفتار مکانی - زمانی نشست منطقه، به‌طور جزئی و در مقیاس بسیار کوچک؛ سپس ارتباط و همبستگی بین سری زمانی فرونشست رخ داده و تغییرات سطح آب زیرزمینی در حریم چاه‌های برداشت آب منطقه به‌صورت تفکیک‌شده و با رویکردی کمی بررسی شده است.

1- Arabi

2- Pirouzi & Eslami

3- Alipour

4- Esmaeili & Motagh

معرفی منطقه مورد بررسی

در استان تهران به دلیل وجود تنوع ارتفاعی، تنوع پارامترهای اقلیمی همچون دما، بارش و رطوبت نسبی در مناطق مختلف استان، از فیروزکوه و دماوند گرفته تا محدوده دشت ورامین وجود دارد. براساس داده‌های بلندمدت هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه استان ۲۴۰ میلی‌متر است که در ارتفاعات شمالی و مناطق شرقی بارندگی بیشتر و دشت‌های جنوبی و غربی سهم کمتری از بارش را به خود اختصاص می‌دهند. بیشترین بارش سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر، در کوهپایه‌های البرز و کمترین بارش سالیانه ۶۰ میلی‌متر، در محدوده دشت ورامین با ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبت شده است. نیمی از این بارش‌ها در فصل زمستان رخ می‌دهد و کمابیش در تابستان بارانی نمی‌بارد (سلیمانی^۱ و همکاران، ۱۳۹۷).

محدوده مورد بررسی، منطقه دشتی واقع در غرب استان تهران است که در طول جغرافیایی تقریبی بین ۵۰° تا ۵۱° ۲۰' شرقی و عرض جغرافیایی تقریبی بین ۲۵° ۳۵' تا ۴۵° ۳۵' شمالی واقع شده و دربرگیرنده شهرستان‌های اسلام‌شهر، رباط‌کریم و به‌ویژه شهریار است. به‌منظور سادگی آدرس‌دهی و ارجاعات درون‌متنی به منطقه مورد بررسی؛ از این پس برای رعایت اختصار، به آن دشت شهریار گفته می‌شود. ارتفاع منطقه به‌طور متوسط ۱۰۹۰ متر از سطح دریا است. شهرهای مهم و پرجمعیتی مانند تهران، شهریار، کرج در نزدیکی این دشت واقع شده‌اند. استان تهران طی چهل سال گذشته رشد بسیار جمعیتی را تجربه کرده است. که پیرو آن با تقاضای فزاینده برای آب به‌منظور تأمین نیازهای جمعیتی روبه‌رو شده است (حق‌شناس حقیقی و معتق، ۲۰۱۹). در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ تعداد چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی به سه‌برابر افزایش یافته و متوسط تراز آب زیرزمینی منطقه حدود دوازده متر کاهش یافته است (محمدپور^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). پوشش عمده دشت تهران زمین‌های کشاورزی است که به‌طور عمده با آب زیرزمینی آبیاری می‌شوند. شکل ۱ ترکیب رنگی طبیعی تصویر ماهواره لندست ۸ منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد که الگوی پوشش گیاهی منطقه، موقعیت چاه‌های برداشت آب و فریم تصویر انتخابی ENVISAT نیز بر روی آن مشخص شده است.

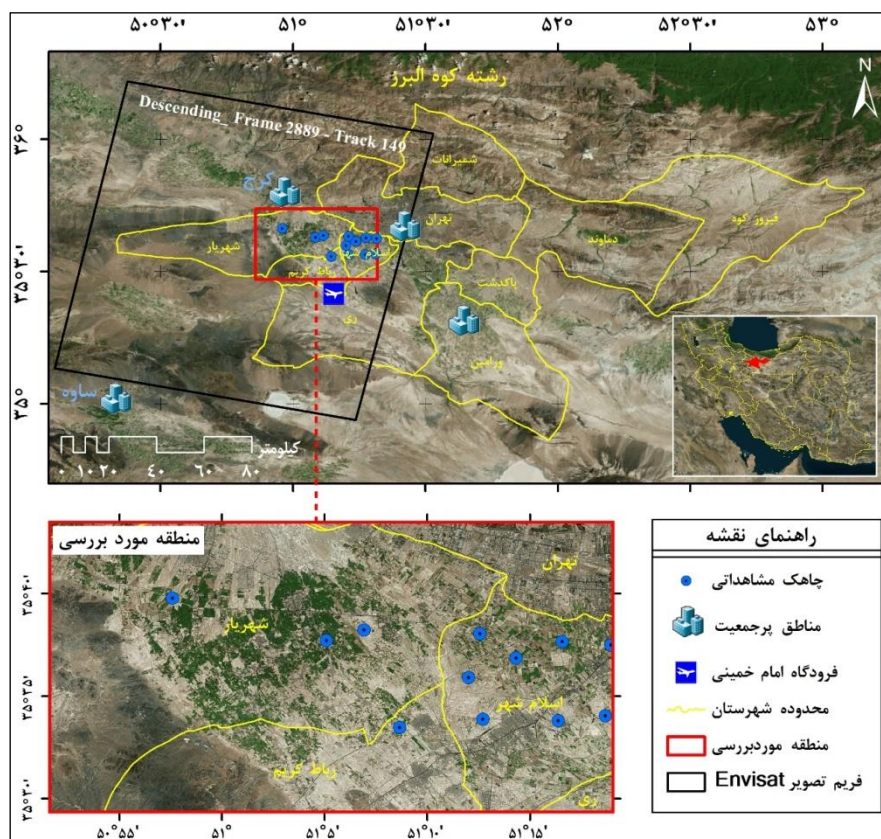
مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور پایش، برآورد و تحلیل سری زمانی جابه‌جایی زمین در دشت شهریار، از قابلیت‌های تکنیک تداخل‌سنجی راداری استفاده شد. همان‌طور که در بخش مقدمه به تفصیل بیان شد؛ براساس بررسی‌های به‌عمل آمده، رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای شدید در دهه اول قرن بیست‌ویکم در تعامل با فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد بررسی، سبب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و وقوع پدیده‌هایی همچون فرونشست شده است. بنابراین دهه اول قرن حاضر به‌مثابه برهه زمانی حساسی درباره مطالعات فرونشست در این منطقه شناسایی شد. از طرفی با توجه به هدف اصلی پژوهش درخصوص بررسی دقیق ارتباط بین الگوهای مکانی - زمانی فرونشست و تغییرات آب زیرزمینی، انتخاب سری زمانی داده‌های SAR با توجه به در دسترس بودن داده‌های مشاهده‌ای عمق آب زیرزمینی تعیین شد. براساس بازه زمانی و دسترسی رایگان، تصاویر ماهواره ENVISAT به‌عنوان بهترین گزینه برای برآورد فرونشست شناسایی شد. به‌منظور دستیابی به این هدف، سری زمانی داده‌های محصول سطح یک ماهواره ENVISAT سنسور ASAR مربوط به فریم ۲۸۸۹ از مسیر نزولی شماره ۱۴۹، از سایت سازمان فضایی اروپا^۳ تهیه و به‌کار گرفته شد.

1- Soleimani

2- Mahmoudpour

3- <https://esar-ds.eo.esa.int/oads/access/>



شکل ۱. منطقه مورد بررسی - غرب استان تهران (مستطیل قرمز رنگ) و موقعیت چاهک‌های مشاهداتی آب زیرزمینی

۱- اندازه‌گیری فرونشست زمین با استفاده از تداخل‌سنجی راداری

در ابتدا روش تداخل‌سنجی راداری از راه آنالیز تمامی تداخل‌نگاشت‌های^۱ تفاضلی ممکن با رعایت طول خط^۲ مبنای زمانی^۳ و مکانی^۴ به منظور تشخیص سیگنال‌های قابل مشاهده تغییر شکل یا جابه‌جایی زمین (به‌طور خاص فرونشست زمین)، به کار گرفته شد. در مرحله دوم، با انتخاب مجموعه‌ای از تداخل‌نگاشت‌های تولیدشده مطلوب به لحاظ خط مبنای مکانی و زمانی و استفاده از الگوریتم SBAS، سری زمانی جابه‌جایی ارزیابی شده و نقشه میانگین نرخ جابه‌جایی^۴ برای منطقه مورد بررسی، استخراج شد. همه مراحل پردازش تداخل‌سنجی از تولید تداخل‌نگاشت تا بازیابی فاز و تحلیل سری زمانی جابه‌جایی با نرم‌افزار متن‌باز GMTSAR پیاده‌سازی شده است.

۱-۱- انتخاب جفت تصویر

تجزیه و تحلیل زمانی داده‌های SAR نیازمند چندین جفت تصویر است که به لحاظ هندسی برهم منطبق باشند. در ساده‌ترین روش، تصویر مبنایی انتخاب شده و تمامی تحلیل‌های تداخل‌نگاشتی نسبت به این تصویر انجام می‌شود (فرتی^۵ و همکاران، ۲۰۰۰؛ هوپر^۶ و همکاران، ۲۰۰۴). یکی از مزیت‌های استراتژی تک‌مبنای^۷ درباره انتخاب جفت تصاویر، این است که ثبت هندسی تصاویر نسبت به تصویر مبنا به صورت مطلق است. در حالی که محدودیت

- 1- Interferogram
- 2- Temporal Baseline
- 3- Spatial Baseline
- 4- Mean Displacement Velocity
- 5- Ferretti
- 6- Hooper
- 7- Single-Master

اصلی این روش، خطّ مبنای عمودی^۱ بزرگ ناشی از تغییر در مدار گردش ماهواره و خطّ مبنای زمانی زیاد بین دو تصویر بوده که سبب ایجاد خطاهایی همچون عدم همبستگی مکانی و زمانی می‌شود. یک استراتژی جایگزین، انتخاب ترکیبی از جفت تصاویر یا گروهی از جفت تصاویر براساس کیفیت مورد انتظار در تداخل نگاشت‌های تولیدی است (لیونز و سندول^۲، ۲۰۰۳؛ رفیس^۳ و همکاران، ۲۰۰۴).

در نوشتار پیش رو به منظور اجرای پردازش تداخل سنجی از میان تصاویر SAR تهیه شده برای فریم مورد نظر، ترکیب دو از کل لحاظ شد و تمامی حالات ممکن در ارتباط با انتخاب دو تصویر از میان کلّ تصاویر مشخص شد. پس از بررسی جفت تصاویر انتخابی به لحاظ خطّ مبنای مکانی، زمانی و کوهرنس^۴، حالات بهینه‌ای از ترکیب جفت تصاویر به منظور تولید تداخل نگاشت‌های مطلوب مدّ نظر قرار گرفت. در حالت ایده‌آل تفکیک زمانی ۳۵ روزه برای داده‌های ENVISAT لحاظ شده است، اما در عمل به‌ندرت چنین تفکیک زمانی در آرشیو داده‌ها مشاهده می‌شود. در داده‌های موجود گاهی گپ‌های تا دوساله نیز وجود دارد. این معضل سبب مقادیر کوهرنسی ضعیف بین جفت تصاویر انتخابی و بروز خطای غیر همبستگی زمانی در تداخل نگاشت‌های تولیدی می‌شود. بدین ترتیب برای ۲۳ تصویر موجود در بازه زمانی ۲۰۰۳/۷/۱۸ تا ۲۰۱۰/۵/۷، با لحاظ نمودن خطّ مبنای مکانی و زمانی به ترتیب کمتر از ۶۰۰ متر و حداکثر یک سال (هانسن^۵، ۲۰۰۱؛ علیپور و همکاران، ۲۰۰۸)؛ تعداد ۵۰ حالت ترکیب جفت تصویر مختلف در نظر گرفته شد که از این میان، تنها ۲۶ حالت به عنوان جفت تصاویر مطلوب به لحاظ خطّ مبناهای مکانی و کوهرنس به منظور ادامه مراحل پردازش انتخاب شدند.

۱-۲- ثبت هندسی جفت تصویر

از آنجاکه تصویر مبنا و پیرو دارای هندسه‌ای کمابیش متفاوت هستند، بنابراین در قالب فرایندی با عنوان ثبت هندسی^۶ پیکسل‌ها در تصویر پیرو به منظور تأمین دقت زیرپیکسل در جهت پیکسل‌های تصویر مبنا حرکت داده شده و نمونه برداری مجدد^۷ می‌شوند. با اجرای ثبت هندسی این اطمینان حاصل می‌شود که هر پیکسل هدف زمینی در هر دو تصویر مبنا و پیرو دارای دامنه و آزیموتی به ترتیب منفرد و یکسان هستند. محاسبه اختلاف فاز دو تصویر مربوط به دو زمان مختلف و تولید تداخل نگاشت به طور مطلوب، به فرایند ثبت هندسی دقیق دو تصویر مورد استفاده بستگی دارد (زبکر و گلدشتاین^۸، ۱۹۸۶).

۱-۳- تولید تداخل نگاشت

تداخل نگاشت از ضرب خارجی تصویر مبنا در مجموعه توأم تصویر پیرو حاصل می‌آید. مقادیر دامنه هر دو تصویر از حاصل ضرب، ولی مقادیر فاز حاصل اختلاف فاز میان دو تصویر است. فاز تداخل سنجی هر پیکسل از تصویر SAR حاصل تفاوت در هر مسیر طی شده برای دو تصویر SAR نسبت به تفکیک مورد نظر است (باملر و هارتل^۹، ۱۹۹۸؛ ماسوننت و فیگل^{۱۰}، ۱۹۹۸؛ بورگمان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۰). به طور کلی اختلاف فاز ($\Delta\phi$) محاسبه شده بین دو

- 1- Perpendicular Baseline
- 2- Lyons & Sandwell
- 3- Refice
- 4- Coherence
- 5- Hanssen
- 6- Co-Registration / Alignment
- 7- Resample
- 8- Zebker & Goldstein
- 9- Bamler & Hartl
- 10- Massonnet & Feigl
- 11- Bürgmann

تصویر شامل پنج منبع مختلف فاز به شرح رابطه ۱ است:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{\text{earth flat}} + \Delta\phi_{\text{elevation}} + \Delta\phi_{\text{displacement}} + \Delta\phi_{\text{atmosphere}} + \Delta\phi_{\text{noise}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن $\Delta\phi_{\text{earth flat}}$ فاز زمین مسطح نامیده می‌شود و ناشی از انحنای سطح زمین^۱ است. $\Delta\phi_{\text{elevation}}$ ناشی از تأثیر توپوگرافی مرجع روی فاز تداخل‌سنجی؛ $\Delta\phi_{\text{displacement}}$ ناشی از تأثیر تغییر شکل سطح روی فاز تداخل‌سنجی (تغییر فاصله مایل بین حس‌گر^۲ و هدف در فاصله زمانی بین دو برداشت)؛ $\Delta\phi_{\text{atmosphere}}$ تأثیر اتمسفر روی فاز تداخل‌سنجی (این مؤلفه از تغییرات رطوبت، دما و فشار اتمسفر بین دو برداشت تصویر به وجود می‌آید) و $\Delta\phi_{\text{noise}}$ نوفه فاز ایجاد شده که با تغییرات موقت پخش‌کننده‌ها^۳، زاویه دید متفاوت و پخش جمعی حاصل می‌شود (رائوکولز^۴ و همکاران، ۲۰۰۷).

در مرحله ساخت تداخل‌نگاشت، فاز زمین مسطح با استفاده از اطلاعات فراداده و مداری متناظر با تصاویر SAR مورد استفاده، از سایر سیگنال‌ها برآورد شده و سپس از تداخل‌نگاشت حاصل تفریق می‌شود. فاز توپوگرافی مرجع نیز با استفاده از یک مدل ارتفاعی رقومی^۵، از فاز تداخل‌سنجی کسر شد (ماسوننت و همکاران، ۱۹۹۳). بدین‌منظور از مدل ارتفاعی رقومی با دقت مکانی ۳۰ متر مستخرج از ماهواره SRTM^۶ استفاده شد. تصحیح فاز زمین مسطح و توپوگرافی مرجع در مرحله مسطح‌سازی تداخل‌نگاشت^۷ صورت می‌گیرد.

تأخیر اتمسفر یکی از منابع نوفه‌های شناخته شده در پردازش تداخل‌سنجی است که به لحاظ مکانی و زمانی در طول مسیر انتشار امواج رادار متفاوت است. در تداخل‌سنجی راداری دوگذری، تأخیر اتمسفر دارای تأثیر آینه‌ای بر نتایج است و این مهم در سیستم‌های با گذر- تکراری بسیار مهم است (زبکر و همکاران، ۱۹۹۴؛ رزن^۸ و همکاران، ۲۰۰۰). به‌منظور کاهش اثر اتمسفر می‌توان از ترکیب یک‌سری فیلترهای پایین‌گذر مکانی و بالاگذر زمانی (که روی سری زمانی جابه‌جایی اعمال می‌شود) استفاده کرد (گلدشتاین و ورنر^۹، ۱۹۹۸؛ باران^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳). از طرفی پایین‌بودن همبستگی سبب نامناسب شدن الگوی تداخل‌سنجی می‌شود. به‌منظور بازیابی مناسب فاز، نیاز است که نسبت سیگنال به نویز^{۱۱} از راه اعمال فیلتر فاز افزایش یابد. در پژوهش حاضر از فیلترهای پایین‌گذر، فیلتر طیفی (طول‌موج) گاوسی ۲۰۰ متر و یک فیلتر طیفی تطبیقی^{۱۲} براساس الگوریتم فیلتر گلدشتاین اصلاح‌شده (گلدشتاین و ورنر، ۱۹۹۸) برای کاهش نویز و تصحیح اثر اتمسفر از تداخل‌نگاشت‌های تولیدی، استفاده شد.

۴-۱- بازیابی فاز

در تجزیه و تحلیل تداخل‌سنجی، فاز مشاهده شده اندازه‌گیری تکراری‌ای است که به‌طور کلی به‌عنوان نماینده‌ای از برخی کمیت‌های فیزیکی سطح همچون تغییر شکل یا توپوگرافی در نظر گرفته می‌شود (داوسون^{۱۳}، ۲۰۰۸).

1- Earth Curvature

2- Sensor

3- Scatterer

4- Raucoules

5- Digital Elevation Model (DEM)

6- Shuttle Radar Topography Mission

7- Interferogram Flattening

8- Rosen

9- Werner

10- Baran

11- Signal to Noise Ratio (SNR)

12- Adaptive Spectral Filtering

13- Dawson

در واقع اطلاعات فاز پیوسته در فاز پیچیده شده^۱ گسسته‌ای نمونه برداری می‌شود. به این صورت که فاز مطلق در فاصله بین $-\pi$ تا $+\pi$ بیان شده است که این فاز ابهام دارد؛ به بیان ساده‌تر، از آنجاکه ظرفیت هر فاز تنها به میزان 2π است؛ بنابراین در تداخل نگاشت تولید شده مقادیر اختلاف فاز بیشتر از این عدد، دوباره به صورت 2π نوشته شده و امکان درج رقم نهایی اختلاف فاز میسر نیست؛ بنابراین برای برخی کاربردهای خاص همچون مطالعات تغییر شکل زمین نیاز است مقادیر بزرگ‌تر از 2π به صورت پیوسته بازیابی شود. فرایند تبدیل مقادیر گسسته و مبهم فاز مشاهده شده به مقادیر پیوسته و مطلق، در اصطلاح بازیابی فاز^۲ نام دارد (ایتو^۳، ۱۹۸۲؛ غیگلیا و پريت^۴، ۱۹۹۸).

۱-۵- زمین مرجع کردن

در این مرحله تمامی تداخل نگاشت‌های باز شده، از مختصات راداری (برد مایل / آزیموت) به مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) انتقال داده می‌شوند. این فرایند در اصطلاح زمین مرجع سازی^۵ نام دارد (سندول و همکاران، ۲۰۱۱). بدین منظور تمامی تداخل نگاشت‌های پردازش شده، با ابعاد پیکسل مربعی کمابیش ۵۰ متر به مختصات جغرافیایی نمونه برداری مجدد شدند.

۱-۶- تحلیل سری زمانی داده‌های تداخل سنجی

الگوریتم SBAS جهت غلبه بر معضلات مربوط به غیر همبستگی داده‌های InSAR توسعه داده شده است. این رویکرد، تأثیرات ناشی از غیر همبستگی مکانی و زمانی بر برآوردهای تغییر شکل را تنها با به کارگیری تداخل نگاشت‌های بسیار همبسته، کاهش می‌دهد. غیر همبستگی مکانی^۶ ناشی از جداسازی فیزیکی (خط مبنای مکانی) بین موقعیت دو آنتن SAR در دو گذر ماهواره است که برای کاهش این خطا، جفت تصویر در محدوده خط مبنای مکانی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر می‌تواند لحاظ شود (هانسن، ۲۰۰۱). در مقابل، غیر همبستگی زمانی^۷ ناشی از عدم تشابه خواص بازپراکنشی اشیاء موجود در زمین در فاصله زمانی بین دو تاریخ برداشت تصویر است. از جمله مهم‌ترین اشیاء زمینی تشدید کننده این نوع خطا می‌توان به سطح آب، تغییرات و رشد پوشش گیاهی اشاره کرد. بدین منظور تداخل نگاشت‌ها به طور معمول از ترکیب جفت تصاویری حاصل می‌شوند که دارای خط مبنای مکانی (به طور معمول کمتر از ۲۰۰ متر) و زمانی کوچکی هستند. الگوریتم SBAS به طور کلی براساس قاعده پیکسل به پیکسل، از طریق رابطه ۲ بر روی تداخل نگاشت‌های باز شده پیاده سازی می‌شود (براردینو و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\left(T \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda r \sin\theta}\right) \left(h_c\right) = (\delta\phi) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن T : بیانگر ماتریسی از فاصله‌های زمانی مرجع، V : بردار میانگین سرعت در راستای خط دید برای یک پیکسل بین هر مرحله زمانی، h_c : سیگنال توپوگرافی باقیمانده، $\delta\phi$: بردار مشاهدات مربوط به تغییرات فاز باز شده، λ : طول موج رادار، r : فاصله مایل بین حس گر رادار تا هدف زمینی و θ : زاویه فرودی است. این روش تضمین نمی‌کند که داده‌ها در تمام مراحل فاصله‌های زمانی در دسترس باشند و رابطه ۲ به طور کلی با استفاده از روش

1- Wrapped

2- Phase Unwrapping

3- Itoh

4- Ghiglia & Pritt

5- Geocoding

6- Spatial Decorrelation

7- Temporal Decorrelation

تجزیه مقادیر منفرد^۱ حل می‌شود. این روش، راه‌حل حداقل کمترین مربعات^۲ را ارائه می‌دهد. هدف اصلی در تحلیل سری زمانی، وارون کردن تداخل‌نگاشت‌ها برای دستیابی به میزان تغییر شکل در زمان‌های دریافت تصاویر با استفاده از روش کمترین مربعات است. با حل کمترین مربعات رابطه^۳، می‌توان مقدار فاز مربوط به هر تصویر راداری را برآورد کرد. مقدار فاز اولین تصویر صفر در نظر گرفته می‌شود. رویکرد کلی الگوریتم SBAS در شکل ۲ نشان داده شده است.

در مطالعه حاضر، به منظور تحلیل سری زمانی فرونشست زمین، الگوریتم SBAS براساس تئوری شرح داده شده درخصوص آن، به کار گرفته شد. برای به حداقل رسانیدن اثر عدم همبستگی زمانی و مکانی، تداخل‌نگاشت‌های تولیدشده با خط مبنای زمانی و مکانی کوتاه استفاده شدند. با اعمال ضریب $\lambda/4\pi$ به تمام تداخل‌نگاشت‌ها، فاز تداخل‌نگاشتی به میزان جابه‌جایی در راستای خط دید ماهواره تبدیل می‌شود (λ بیانگر طول موج رادار است). پس از اعمال این ضریب، مقادیر منفی در تداخل‌نگاشت‌ها بیانگر سیگنال‌های فرونشست^۴ و مقادیر مثبت معرف سیگنال‌های بالا آمدگی^۴ هستند. با توجه به زاویه دید مایل کوچک ماهواره (کمابیش ۲۳ درجه)، بنابراین ضمن صرف نظر از مؤلفه جابه‌جایی افقی، می‌توان بیشترین بخش سیگنال‌های تغییر شکل و جابه‌جایی زمین را به مثابه مؤلفه عمودی جابه‌جایی (فرونشست زمین) در نظر گرفت (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۹ ب).

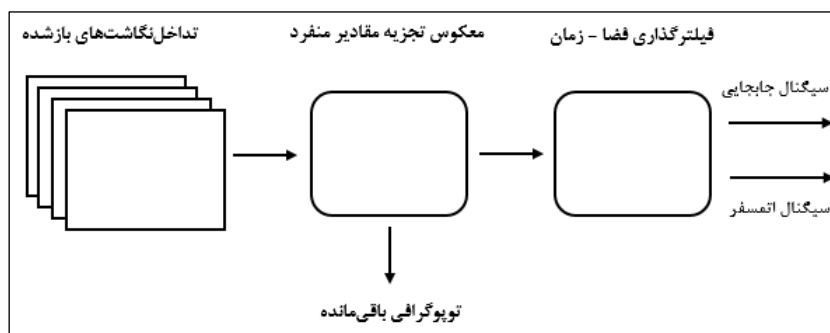
۲- تغییرات آب زیرزمینی

پس از برآورد فرونشست زمین، به منظور بررسی تغییرات آب زیرزمینی منطقه و نیز تحلیل ارتباط بین رخداد فرونشست و برداشت آب زیرزمینی، داده‌های سری زمانی ماهیانه تراز آب زیرزمینی منطقه تهیه شدند. این داده‌ها مربوط به تعداد دوازده حلقه چاهک مشاهداتی برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ میلادی است که از پراکنش مناسبی در سطح منطقه مورد بررسی برخوردار هستند. در شکل ۱، موقعیت و پراکنش مکانی چاهک‌های مشاهداتی در منطقه مورد بررسی قابل مشاهده هستند.

نتایج

۱- برآورد فرونشست زمین

نتایج حاصل از به کارگیری رویکرد تداخل‌سنجی راداری، نشان‌دهنده رخداد فرونشست در ناحیه شرق شهرستان شهریار و غرب شهرستان اسلام‌شهر با نرخ متوسط ۱۰- سانتی‌متر در سال است؛ همچنین حداکثر نرخ فرونشست در این منطقه ۲۷- سانتی‌متر در سال برآورد شده است.

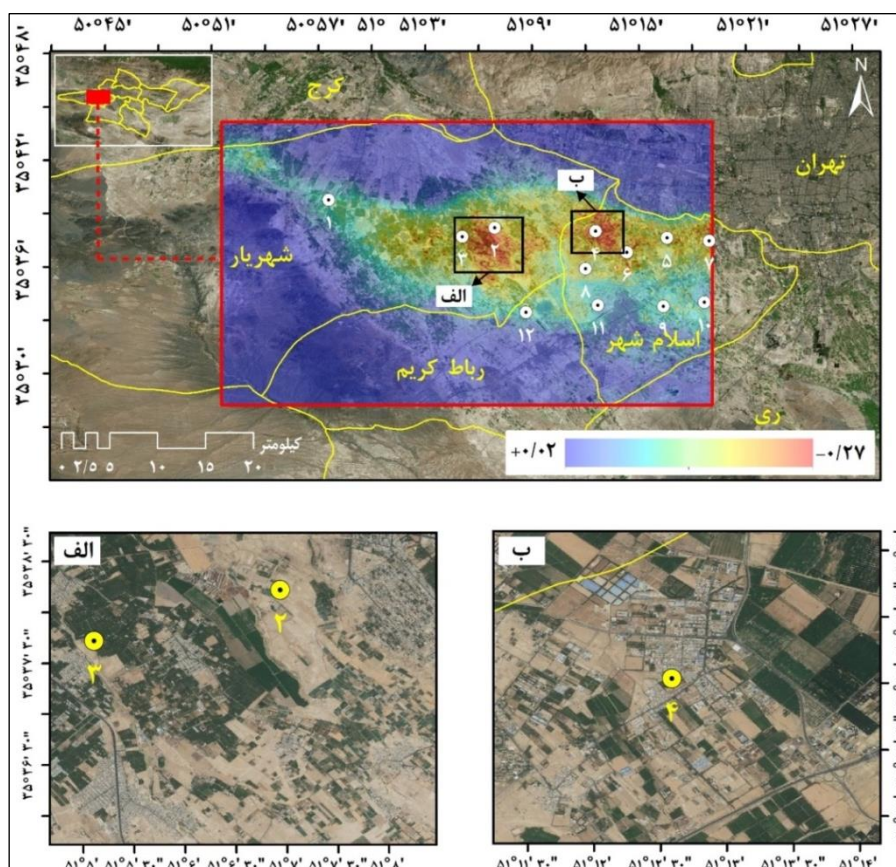


شکل ۲. منطق کلی الگوریتم SBAS (براردینو و همکاران، ۲۰۰۲)

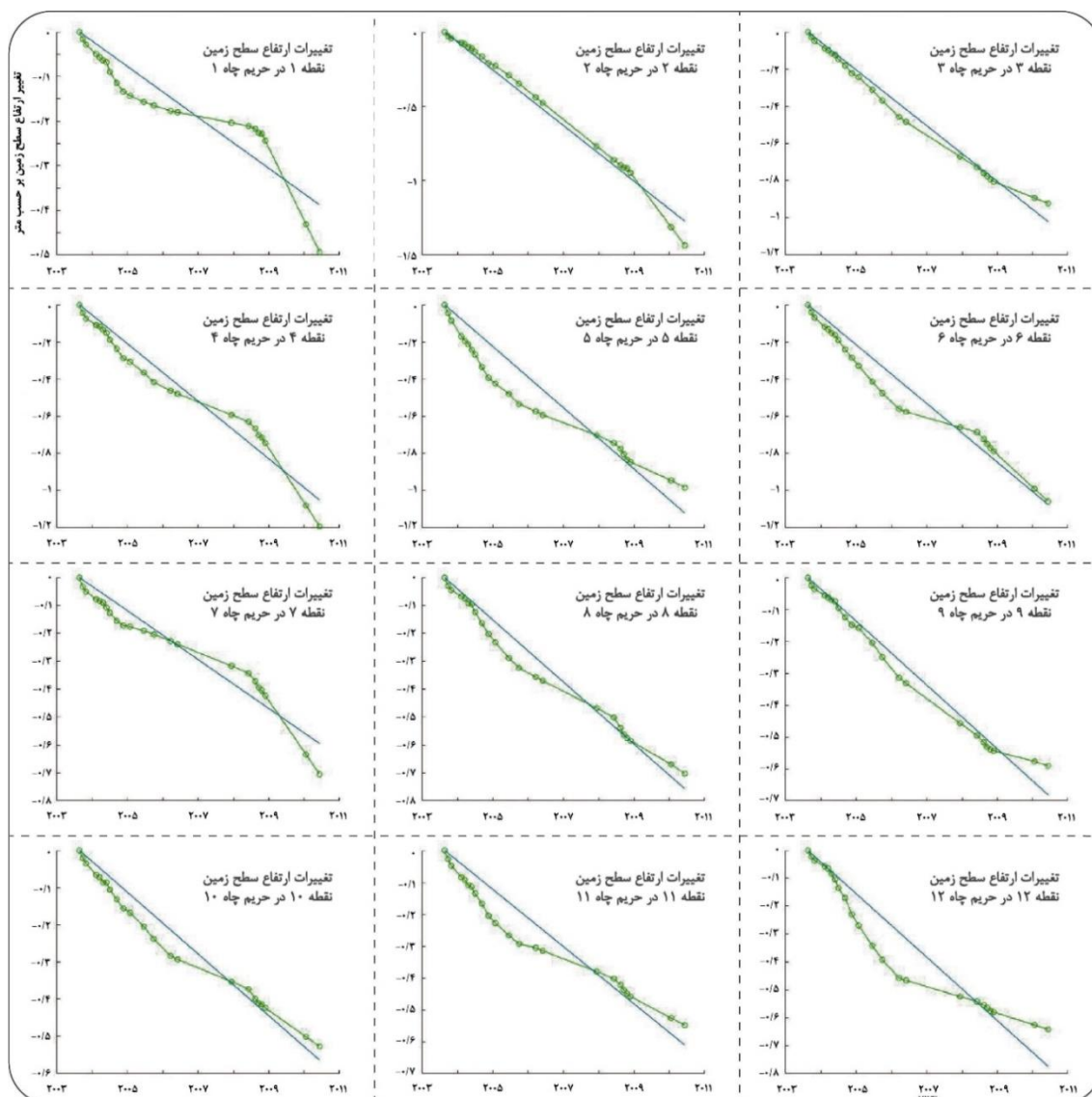
- 1- Singular Value Decomposition (SVD)
- 2- Minimum-Norm Least Squares
- 3- Downlift
- 4- Uplift

بررسی تصاویر با رزولوشن بالای گوگل ارث^۱ مطابق شکل ۳ نشان داد الگوی مکانی نشست در منطقه مورد بررسی، بیشتر منطبق بر زمین‌های کشاورزی است که این زمین‌ها به‌طور عمده با استفاده از آب زیرزمینی آبیاری می‌شوند. به‌طور کلی می‌توان این‌گونه استنباط کرد که الگوی فرونشست استخراج‌شده، منطبق بر سیستم آبخوان منطقه است که پیرو استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی از آن؛ به‌طور پیوسته در نشست تدریجی واقع شده است. در الگوی مکانی قابل مشاهده در شکل ۳؛ افزون بر زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی نیز قرار دارد؛ اما سیگنال‌های قابل توجه و قوی نشست در سری زمانی مورد بررسی، به‌طور عمده منطبق بر زمین‌های کشاورزی هستند. همان‌طور که در نقشه متوسط نرخ جابه‌جایی قابل مشاهده است؛ بیشترین نشست حادث‌شده در سری زمانی مربوط به دشت شهریار واقع در حوالی چاهک‌های مشاهداتی شماره دو و سه (محدوده الف در شکل ۳) و نواحی غرب و شمال غربی شهرستان اسلام‌شهر واقع در محدوده چاهک شماره چهار (محدوده ب در شکل ۳) است.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر، سری زمانی سیگنال‌های فرونشست در دوازده نقطه واقع در حریم چاهک‌های مشاهداتی برداشت آب زیرزمینی تحلیل شدند. به‌طور کلی میزان کل فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در محدوده این نقاط، معادل نرخ تجمعی ۰/۵ تا ۱/۵ متر است (شکل ۴). نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی با استفاده از الگوریتم SBAS نشان داد فرونشست در بازه زمانی پیش از ۲۰۰۵ با نرخ سریع‌تر و شدیدتر از سال‌های بعد از آن اتفاق افتاده است.



شکل ۳. نقشه متوسط نرخ سالیانه جابه‌جایی سطح زمین در راستای خط دید ماهواره (برحسب متر در سال) حاصل از تحلیل سری زمانی جابه‌جایی زمین در منطقه غرب استان تهران با استفاده از الگوریتم SBAS

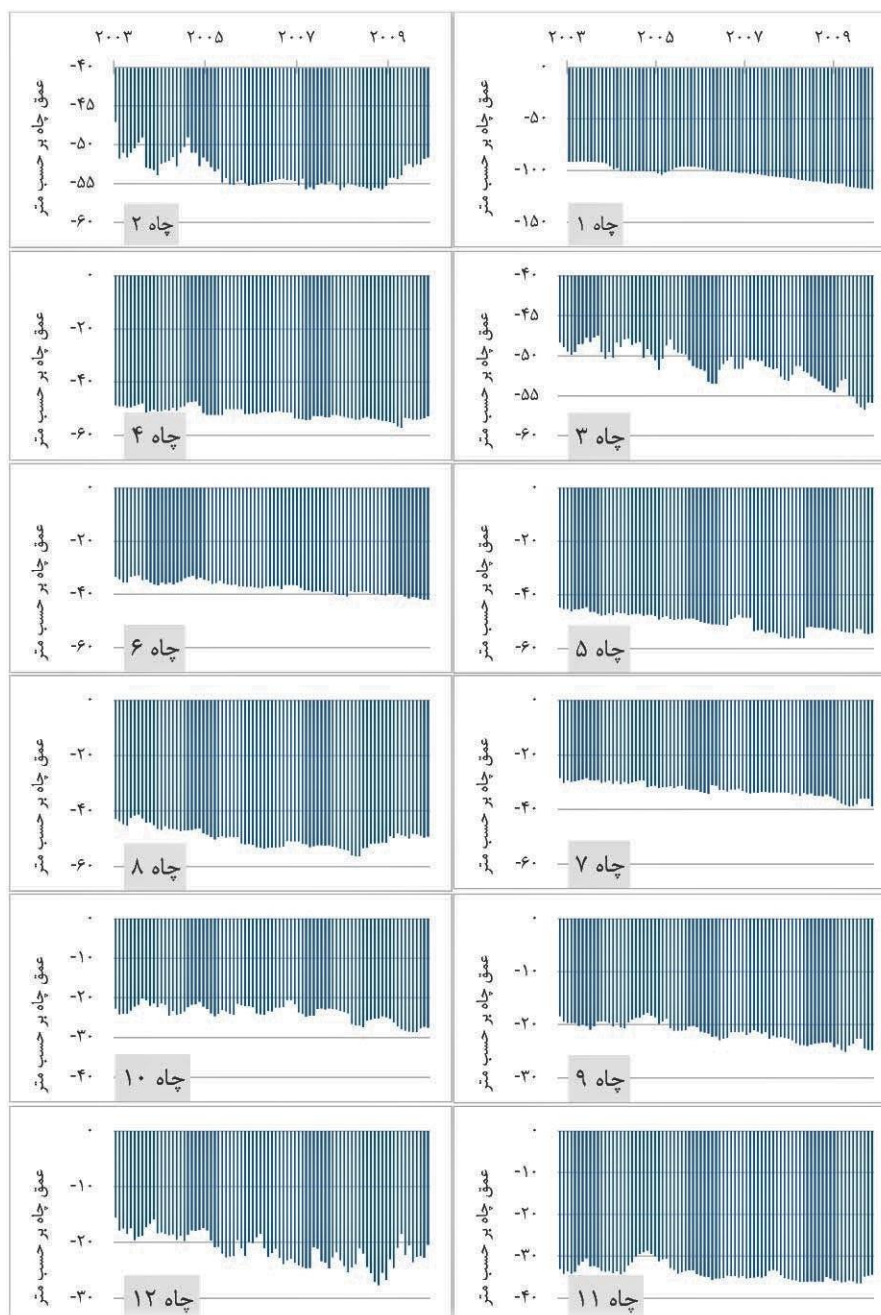


شکل ۴. تغییرات ارتفاع سطح زمین در حریم دوازده چاهک مشاهداتی - نقاط و خطوط منحنی نشان‌دهنده ارتفاع سطح زمین اندازه‌گیری شده به وسیله پردازش تداخل سنجی راداری و خط مستقیم رگرسیون آن است. (بازه زمانی ۲۰۰۳/۷/۱۸ تا ۲۰۱۰/۵/۷)

۲- تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی

داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ به‌طور کلی نشان‌دهنده افت تراز آب‌های زیرزمینی است. به سبب شیب و ارتفاع منطقه، چاه‌هایی که در قسمت شمالی ناحیه قرار دارند؛ عمق بیشتری نسبت به چاه‌های واقع در نواحی جنوبی دارند؛ همچنین روند کاهش سطح آب در این منطقه همیشه نزولی نبوده و گاه در بعضی مقاطع زمانی سطح آب نیز به‌صورت محدود افزایش داشته است.

نتایج نشان می‌دهد کاهش سطح آب در مناطق شمالی و غربی منطقه، نسبت به مناطق جنوبی و شرقی به‌شکل شدیدتری رخ داده است. به‌طوری که چاهک شماره یک، هفده متر افت سطح آب را در بازه زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. درحالی که در مناطق جنوبی افت سطح آب زیرزمینی در حدود چهار تا هشت متر در بازه زمانی مورد نظر دیده می‌شود. شکل ۵ تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در دوازده چاهک مشاهداتی را نسبت به سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا اواسط ۲۰۱۰ نشان می‌دهد.

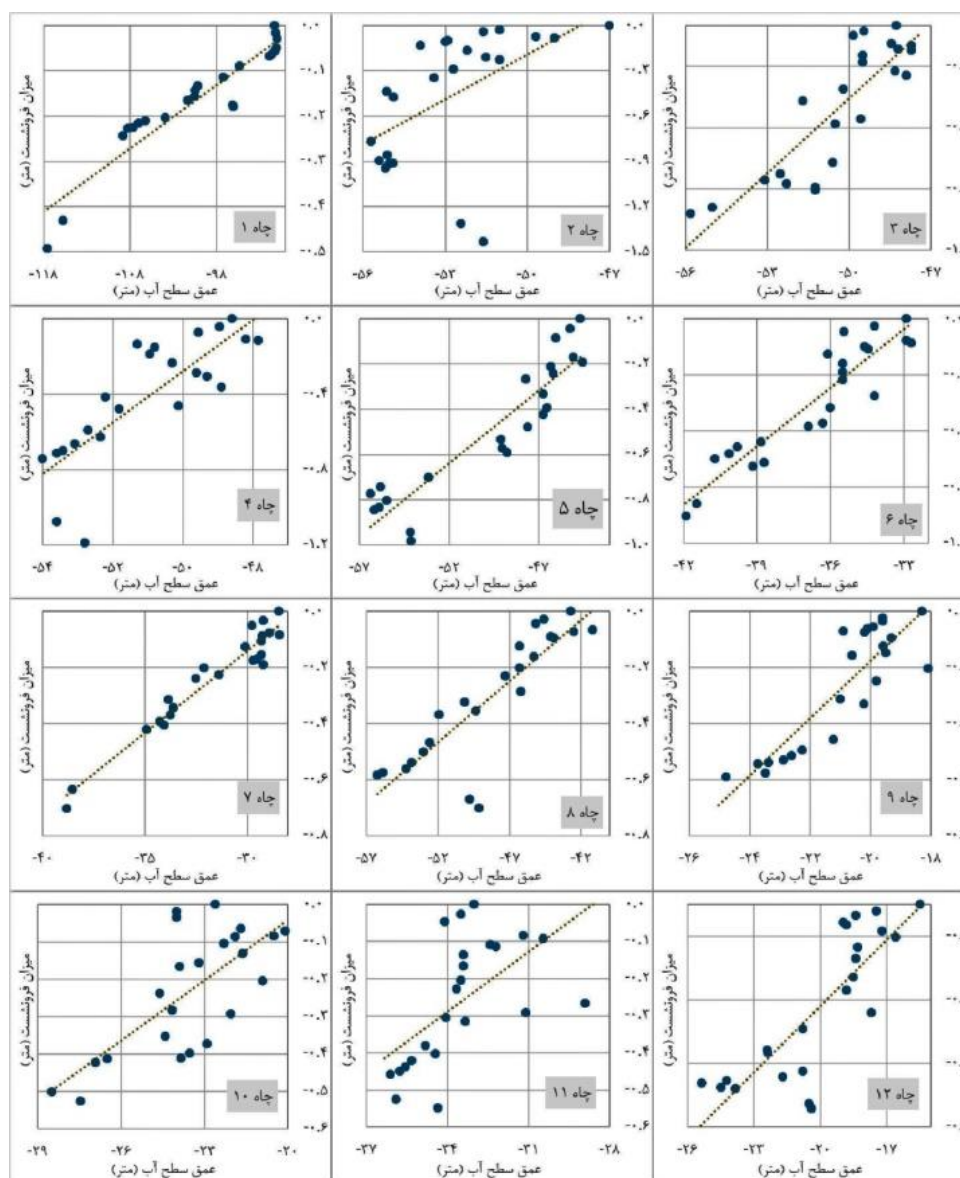


شکل ۵. سطح آب‌های زیرزمینی در ۱۲ چاهک مشاهداتی انتخابی نسبت به سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا اواخر ۲۰۱۰

۳- ارتباط سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست

به‌طور کلی نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست زمین، نشانگر وجود ارتباط و وابستگی زیاد رخداد فرونشست به تغییرات تراز آب زیرزمینی با تخمینی معادل ۸۹/۴۵٪ است. شکل ۶ میزان همبستگی تغییرات سطح آب زیرزمینی در هریک از چاهک‌ها و میزان فرونشست در حریم چاه مربوطه را به‌طور جداگانه نشان می‌دهد. کمترین میزان همبستگی در چاه شماره دو رخ داده که برابر با ۵۲/۱۱٪ است. درمقابل، بیشترین میزان همبستگی در چاه شماره هفت رخ داده که برابر با ۹۶/۹۹٪ است. تفاوت میزان همبستگی برآوردشده بین عمق آب چاه‌های مشاهداتی و فرونشست، ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، نوع خاک و تأخیر زمانی رخداد فرونشست به‌سبب برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی است. در برخی مناطق به‌علت دلایل

گفته شده و همچنین ضخامت رسوبات ریزدانه و قابلیت هدایت هیدرولیکی اندک این رسوبات؛ گاه ممکن است تأخیر زمانی‌ای بین کاهش سطح آب زیرزمینی و رخداد فرونشست وجود داشته باشد؛ بنابراین همواره نمی‌توان رابطه خطی‌ای بین افت سطح آب زیرزمینی و نشست سطح زمین متصور شد (حقیقت‌مهر^۱ و همکاران، ۱۳۹۱). این موضوع در خصوص چاهک‌های مشاهداتی شماره دو و یازده صدق می‌کند. براساس شکل ۵، روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دو چاهک نام‌برده نوسانات بیشتری را نسبت به سایر چاهک‌ها در سری زمانی نشان می‌دهند. با توجه به نمودارهای سری زمانی تولیدشده برای دو پارامتر مورد بررسی در نوشتار پیش رو، پس از بررسی نرخ کلی نشست سطح زمین و همچنین نرخ کلی افت سطح تراز آب زیرزمینی در محدوده تمامی چاهک‌های مشاهداتی، می‌توان این‌گونه بیان کرد که به‌طور متوسط به‌ازای هر یک متر افت سطح آب زیرزمینی، بین ۵ تا ۱۲ سانتی‌متر فرونشست در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است.



شکل ۶. نمودار تحلیل همبستگی بین میزان فرونشست زمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی در دوازده چاهک مشاهداتی (بازه زمانی

۲۰۱۰/۵/۷ تا ۲۰۰۳/۷/۱۸)

بحث

روش تداخل‌سنجی راداری در پژوهش‌های بسیاری در مناطق مختلف جهان بارها استفاده شده و در دقت و کارایی این روش به‌منظور برآورد فرونشست زمین تردیدی نیست. با این وجود، نویزهای ناشی از تأثیر اتمسفر، توپوگرافی باقی‌مانده (ناشی از حذف ناموفق سیگنال‌های توپوگرافی مرجع از تداخل‌نگاشت‌های تولیدی) و همچنین تأثیر پدیده‌های پویا مانند پوشش گیاهی بر خصوصیات بازپراکنشی^۱ سطح، سبب می‌شود نتایج با مقداری خطا همراه باشند. درضمن به‌کارگیری مدل‌های مختلف تداخل‌سنجی راداری به‌منظور برآورد فرونشست ممکن است به نتایج یکسانی منجر نشود؛ زیرا اصول و مبانی هر روشی بر فرضیه‌های مختلفی دلالت دارد. مقایسه نتایج این پژوهش با مدل و نتیجه بررسی پژوهشگران دیگر میزان اعتمادپذیری و دلایل تفاوت نتایج را بهتر آشکار می‌سازد.

براساس بررسی صورت‌گرفته، عربی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از ترازایی زمینی یکی از نخستین مطالعات درخصوص پایش فرونشست زمین در دشت غربی تهران را انجام داده‌اند. آن‌ها حداکثر نرخ فرونشست را برای این منطقه حدود ۲۰ سانتی‌متر در سال برای بازه زمانی شش‌ساله (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰) گزارش کرده‌اند. با توجه به دوره‌های شدید خشکسالی رخ‌داده از سال ۱۹۹۹ به بعد و نیز گسترش کشاورزی و رشد فزاینده جمعیت در منطقه مورد بررسی که براساس شکل ۵ برداشت بی‌رویه و در نتیجه روند نزولی سطح آب زیرزمینی را در منطقه به‌همراه داشته است؛ بنابراین اختلاف نرخ معادل حدود ۷ سانتی‌متر در سال در روند فرونشست منطقه در مقایسه با دهه پایانی قرن بیستم منطقی به‌نظر می‌رسد. نظر به دقت اثبات‌شده و اعتمادپذیری رویکرد تداخل‌سنجی راداری که در مطالعات متعددی در مناطق مختلف صورت پذیرفته است (گالووی و همکاران، ۱۹۹۸؛ براردینو و همکاران، ۲۰۰۲؛ باکلی و همکاران، ۲۰۰۳؛ دهقانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ب؛ چوسارد و همکاران، ۲۰۱۳) و با تکیه بر نتایج حاصل از پردازش تداخل‌سنجی در این مطالعه، می‌توان رخداد فرونشست و همچنین افزایش در نرخ و سرعت فرونشست در منطقه مورد بررسی را ناشی از استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در مقایسه با دهه پیش استنباط کرد.

طبق نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی جابه‌جایی صورت‌گرفته به‌وسیله علیپور و همکاران (۲۰۰۸)، حداکثر میزان تجمعی نشست در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ با استفاده از داده‌های مسیر نزولی ENVISAT برای منطقه حاضر، ۶۰ سانتی‌متر (معادل ۳۰ سانتی‌متر در سال) برآورد شده است. دهقانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز با تجزیه و تحلیل سری زمانی تصاویر مسیر صعودی و نزولی ENVISAT، حداکثر میزان فرونشست منطقه را برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹، ۲۵/۶ سانتی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. در پژوهشی دیگر حق‌شناس - حقیقی و معتق (۲۰۱۸) با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف SAR حداکثر نرخ فرونشست منطقه را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، ۲۵ سانتی‌متر در سال اندازه‌گیری کرده‌اند. به‌طور کلی می‌توان این‌گونه بیان داشت که الگو و میزان فرونشست برآوردشده در پژوهش حاضر با اختلاف ناچیزی (حدود ۱/۴ سانتی‌متر)، بسیار نزدیک به نتایج پژوهش دهقانی و همکاران (۲۰۱۳) است. که در مقایسه با نتایج کار علیپور و همکاران (۲۰۰۸) این اختلاف بیشتر و حدود دو برابر (۳ سانتی‌متر) است. در هم‌سنجی با کار حق‌شناس - حقیقی و معتق (۲۰۱۳) باوجود وجود اختلاف برآوردی معادل حدود ۲ سانتی‌متر، اما الگوی مکانی نشست استخراج‌شده کمابیش یکسان است و محدوده‌های مکانی شناسایی‌شده دارای بیشترین رخداد فرونشست، در پژوهش حاضر نیز مشاهده شده‌اند. تشابه بیشتر نتایج نوشتار پیش رو با کار دهقانی، به‌دلیل اختلاف کمتر در بازه زمانی مورد بررسی و نیز بهره‌گیری از داده‌های راداری با عرض

برداشت و زاویه فرودی یکسان است. از طرفی دلیل وجود اختلافات جزئی در نتایج، می‌تواند ناشی از نوع الگوریتم و مجموعه داده‌های استفاده شده برای تحلیل سری زمانی باشد. همگرایی نتایج پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش دهقانی، بیانگر آن است که میزان برآورد فرونشست به دو روش استفاده از تصاویر مسیر نزولی به تنهایی یا ترکیب تصاویر مسیر نزولی و صعودی نتایج کمابیش مشابهی در پی خواهد داشت؛ بنابراین تنها استفاده از تصاویر مسیر نزولی برای برآورد فرونشست دقت کافی و لازم را دارد.

پیروزی و اسلامی (۲۰۱۷) فرونشست زمین در غرب استان تهران را با استفاده از نقاط پنج مارک سازمان نقشه برداری بررسی کرده‌اند. در پژوهش حاضر میزان حداکثر کل کاهش ارتفاع سطح و فرونشست زمین در برخی نواحی از منطقه مورد بررسی در دو دوره زمانی ده ساله از ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۱ و ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به ترتیب حدود ۱/۲۵ و ۲ متر برآورد شده است. نواحی یادشده به لحاظ مکانی کمابیش منطبق بر مناطق با حداکثر فرونشست شناسایی شده در پژوهش حاضر هستند (محدوده‌های الف و ب در شکل ۳). در مطالعه پیروزی و اسلامی، متوسط نرخ نشست مناطق نام برده در دوره ده ساله اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۲/۵ و ۲۰ سانتی متر در سال است. این مهم بیانگر افزایش سرعت و نرخ نشست در منطقه مورد بررسی در طول دهه پایانی قرن بیستم و دهه اول قرن ۲۱ است. با توجه به نمودار سری زمانی تغییرات عمق آب زیرزمینی در چاهک‌های مشاهداتی منطقه (شکل ۵) که در غالب چاهک‌ها روند افزایشی در عمق آب ناشی از برداشت بی‌رویه به‌طور کامل قابل مشاهده است و از طرفی همبستگی بالای عمق آب چاهک‌ها با رخداد فرونشست در منطقه (شکل ۶) نشان‌دهنده ارتباط بین عمق آب زیرزمینی و فرونشست است؛ بنابراین بیان این استدلال که افزایش سرعت نشست زمین به سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده است، منطقی به نظر می‌رسد.

در مقابل میزان حداکثر کل فرونشست حادث شده در منطقه مورد بررسی (برای نواحی متناظر با پژوهش پیروزی و اسلامی) از راه رویکرد به کار گرفته شده برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در پژوهش حاضر حدود ۱/۵ متر برآورد شده که برابر با نرخ متوسط ۲۱/۴ سانتی متر در سال است. تفاوت مقدار برآوردی معادل ۱/۴ سانتی متر در سال ناشی از واگرایی نتایج نیست، بلکه به علت تفاوت بازه زمانی مورد بررسی (اختلاف کمابیش سه ساله) است. بازه زمانی مورد نظر در پژوهش حاضر از ۲۰۰۳/۷/۱۸ تا ۲۰۱۰/۵/۷ برابر با ۸۳ ماه و به عبارتی کمابیش هفت سال است. در صورتی که بازه زمانی مطالعه شده پیروزی و اسلامی (۲۰۱۷) ده ساله است. شایان ذکر است که با فرض یکنواخت بودن روند فرونشست، نسبت گیری زمانی نشان می‌دهد مقدار فرونشست در بازه زمانی مشترک، با اختلافی حدود ۱۰ سانتی متر؛ مقادیری نزدیک به هم خواهد بود. صرف نظر از اختلافات جزئی، نزدیکی مقادیر فرونشست زمین برآورد شده از راه رویکرد تداخل سنجی استفاده شده در نوشتار پیش رو با مقادیر اندازه گیری شده توسط پنج مارک‌ها نشان می‌دهد که روش تداخل سنجی راداری در این منطقه نتایج کمابیش قابل اتکایی به همراه دارد و به واقعیت زمینی نزدیک است.

همان‌طور که در ابتدای بحث بدان پرداخته شد؛ تقدّم و تأخّر فاز ناشی از تأثیر اتمسفر و همچنین تغییرات خصوصیات بازپراکنشی سطح ناشی از عواملی همچون تغییر وضعیت رطوبتی و پوشش گیاهی سطح، دقت برآورد سیگنال‌های جابه‌جایی زمین با استفاده از تداخل سنجی راداری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. غیر همبستگی مکانی و زمانی نمونه‌هایی از خطاهای شایع در پردازش تداخل سنجی هستند که ناشی از دلایل مشروح رخ می‌دهند. در پردازش داده‌های ENVISAT برای منطقه مورد بررسی در پژوهش حاضر، به دلیل عدم برخورداری از خط مبنای مکانی و زمانی مطلوب؛ دو نوع خطای نام برده در برخی تداخل نگاشت‌های تفاضلی مشاهده شد؛ از این رو، وجود اختلافات برآورد جزئی مدل به کار گرفته شده در نوشتار پیش رو با اندازه گیری‌های زمینی فرونشست می‌تواند ناشی

از عوامل پیش‌گفته باشد. در این راستا توصیه می‌شود که از داده‌های راداری با تفکیک مکانی و زمانی کوتاه و مطلوب همچون داده‌های ماهواره Sentinel-1 A/B استفاده شود؛ همچنین به منظور انجام مطالعات آتی در مقیاس کوچک‌تر، با توجه به کاربری غالب پوشش گیاهی مرتعی و کشاورزی در منطقه مورد بررسی، همان‌طور که دهقانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز به این موضوع پرداخته‌اند، به منظور جلوگیری از خطاهای ناشی از غیر همبستگی زمانی (به دلیل تغییرات و نوسانات پوشش گیاهی سطح در گذر زمان و تاثیر آن بر مقادیر فاز تصاویر راداری) می‌توان از روش‌های تحلیل سری زمانی جابه‌جایی مبتنی بر پراکنده‌ساز ثابت^۱ بهره گرفت.

نتیجه‌گیری

در نوشتار پیش رو پس از شناخت ماهیت پدیده فرونشست زمین، براساس مروری که بر منابع پیشین به عمل آمد، سری زمانی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری در منطقه غرب استان تهران برآورد شد؛ سپس ارتباط میان میزان فرونشست و تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل آماری دومتغیره صورت گرفته، نشان‌دهنده وجود همبستگی بالا (به‌طور متوسط $0.89/45$) بین رخداد فرونشست و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است؛ همچنین انطباق الگوهای مکانی فرونشست بر زمین‌های کشاورزی منطقه بیانگر وجود ارتباط بین رخداد فرونشست و نوع کاربری زمین است. میزان کل فرونشست زمین در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در محدوده چاه‌های استخراج آب در این منطقه، معادل نرخ 0.5 تا 1.5 متر برآورد شده است که وضعیت بحرانی این منطقه را بیش از پیش نمایان می‌سازد. در پژوهش حاضر با نگاهی دقیق‌تر، ارتباط فرونشست با عمق آب چاه‌های مشاهداتی به صورت جداگانه بررسی شد. با توجه به مشاهده الگوهای همبستگی غیر خطی در روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و فرونشست منطقه در محدوده برخی چاهک‌های مشاهداتی (چاهک شماره دو و یازده)، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی ساختار زمین‌شناسی منطقه در حریم هر چاه به‌طور جداگانه بررسی و با میزان فرونشست مقایسه شود. اجرای طرح‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی متناسب با شرایط منطقه برای جلوگیری از فرونشست بیشتر و آسیب‌های احتمالی ناشی از این معضل از جمله تخریب برگشت‌ناپذیر آبخوان منطقه پیشنهاد می‌شوند.

منابع

حقیقت‌مهر، پریسا؛ ولدان‌زوج، محمدجواد؛ تاجیک، رضا؛ جباری، سعید؛ صاحبی، محمودرضا؛ اسلامی، رضا؛ گنجیان، مصطفی؛ دهقانی، مریم (۱۳۹۱) تحلیل سری زمانی فرونشست هشتگرد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و سامانه موقعیت‌یابی جهانی. علوم زمین، ۲۲ (۸۵)، ۱۰۵-۱۱۴.

سلیمانی، مسعود؛ حمزه، سعید؛ پاپی، رامین (۱۳۹۷). پتانسیل‌یابی اراضی مستعد کشت گردو در استان تهران با روش Fuzzy AHP. نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک، ۱ (۱)، ۴۹-۷۲.

References

- Agrawala, S., Barlow, M., Cullen, H. & Lyon, B. (2001). The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: A climate perspective. *International Research Institute for Climate Prediction*. <https://doi.org/10.7916/D8NZ8FHQ>.
- Alipour, S., Motgah, M., Sharifi, M. A. & Walter, T. R. (2008). InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran. *2008 Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas, track 414*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/USEREST.2008.4740370>.
- Arabi, S., Montazerian, A. R., Maleki, E. & Talebi, A. (2005). Study of land subsidence in south-

- west of Tehran. *Journal of Engineering and Surveying*, 69, 14-24.
- Bamler, R. & Hartl, P. (1998). Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14 (4), R1.
- Baran, I., Stewart, M. P., Kampes, B. M., Perski, Z. & Lilly, P. (2003). A modification to the Goldstein radar interferogram filter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (9), 2114-2118.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40 (11), 2375-2383.
- Buckley, S. M., Rosen, P. A., Hensley, S. & Tapley, B. D. (2003). Land subsidence in Houston, Texas, measured by radar interferometry and constrained by extensometers. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108 (B11), 8-1-8-12.
- Bürgmann, R., Rosen, P. A. & Fielding, E. J. (2000). Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28 (1), 169-209.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H. & Hong, S.-H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015>
- Chen, C., Pei, S. & Jiao, J. (2003). Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou City, China. *Hydrogeology Journal*, 11 (2), 275-287.
- Chen, J., Knight, R., Zebker, H. A. & Schreüder, W. A. (2016). Confined aquifer head measurements and storage properties in the San Luis Valley, Colorado, from spaceborne InSAR observations. *Water Resources Research*, 52 (5), 3623-3636.
- Cigna, F., Osmanoğlu, B., Cabral-Cano, E., Dixon, T. H., Ávila-Olivera, J. A., Garduño-Monroy, V. H., DeMets, C. & Wdowinski, S. (2012). Monitoring land subsidence and its induced geological hazard with Synthetic Aperture Radar Interferometry: A case study in Morelia, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 117, 146-161.
- Dawson, J. H. (2008). *Satellite radar interferometry with application to the observation of surface deformation in Australia*.
- Dehghani, M., Valadan Zoej, M. J., Entezam, I., Mansourian, A. & Saatchi, S. (2009 a). InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. *Geophysical Journal International*, 178 (1), 47-56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04135.x>.
- Dehghani, M., Zoej, M. J. V., Saatchi, S., Biggs, J., Parsons, B. & Wright, T. (2009 b). Radar interferometry time series analysis of Mashhad subsidence. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37 (1), 147-156. <https://doi.org/10.1007/s12524-009-0006-x>.
- Dehghani, M., Zoej, M. J. V., Hooper, A., Hanssen, R. F., Entezam, I. & Saatchi, S. (2013). Hybrid conventional and persistent scatterer SAR interferometry for land subsidence monitoring in the Tehran Basin, Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 157-170.
- Eggleston, J. & Pope, J. (2013). Land subsidence and relative sea-level rise in the southern Chesapeake Bay region. *US Geological Survey Circular*, 1392, 30 p. <https://dx.doi.org/10.3133/cir1392>.
- Esmaili, M. & Motagh, M. (2016). Improved persistent scatterer analysis using amplitude dispersion index optimization of dual polarimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 108-114.
- Esmaili, M., Motagh, M. & Hooper, A. (2017). Application of dual-polarimetry SAR images in multitemporal InSAR processing. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (9), 1489-1493.
- Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38 (5), 2202-2212.
- Fruneau, B. & Sarti, F. (2000). Detection of ground subsidence in the city of Paris using radar interferometry: isolation of deformation from atmospheric artifacts using correlation. *Geophysical Research Letters*, 27 (24), 3981-3984.
- Galloway, D. L. & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying

- groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19 (8), 1459-1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>.
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Phillips, S. P., Peltzer, G., Rogez, F. & Rosen, P. A. (1998). Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California. *Water Resources Research*, 34 (10), 2573-2585.
- Ghiglia, D. C. & Pritt, M. D. (1998). *Two-dimensional phase unwrapping: theory, algorithms, and software* (Vol. 4). Wiley New York.
- Goldstein, R. M. & Werner, C. L. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical Research Letters*, 25 (21), 4035-4038.
- Haghighatmehr, P., Valadan Zoej, M. J., Tajik, R., Jabbari, S., Sahebi, M. R., Eslami, R., Ganjian, M. & Dehghani, M. (2012). Time series analysis of Hashtgerd subsidence using InSAR technique and global positioning system. *Journal of Earth Sciences*, 22 (85), 105-114. (In Persian)
- Haghighi, M. H. & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sensing of Environment*, 221, 534-550.
- Haghshenas-Haghighi, M., Motagh, M. & Esmaeili, M. (2013). continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran, as evidenced by C-band, L-band and X-band radar measurements. *The 5th TerraSAR-X Science Team Meeting*.
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar interferometry: data interpretation and error analysis* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Hoffmann, J., Zebker, H. A., Galloway, D. L. & Amelung, F. (2001). Seasonal subsidence and rebound in Las Vegas Valley, Nevada, observed by Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Water Resources Research*, 37 (6), 1551-1566. <https://doi.org/10.1029/2000WR900404>.
- Hoffmann, J., Leake, S. A., Galloway, D. L. & Wilson, A. (2003). MODFLOW-2000 ground-water model—User guide to the Subsidence and Aquifer-System Compaction (SUB) Package. *US Geological Survey Open-File Report 03-233*, 46.
- Holzer, T. L. & Galloway, D. L. (2005). Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. *Humans as Geologic Agents*, 16, 87.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P. & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical Research Letters*, 31 (23), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2004GL021737>.
- Hu, B., Zhou, J., Wang, J., Chen, Z., Wang, D. & Xu, S. (2009). Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China. *Environmental Earth Sciences*, 59 (2), 269-276. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0024-6>
- Itoh, K. (1982). Analysis of the phase unwrapping algorithm. *Applied Optics*, 21 (14), 2470.
- Kaniewski, D., Van Campo, E. & Weiss, H. (2012). Drought is a recurring challenge in the Middle East. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (10), 3862-3867.
- Lanari, R., Lundgren, P., Manzo, M. & Casu, F. (2004). Satellite radar interferometry time series analysis of surface deformation for Los Angeles, California. *Geophysical Research Letters*, 31 (23), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2004GL021294>.
- Lanari, R., Casu, F., Manzo, M. & Lundgren, P. (2007). Application of the SBAS-DInSAR technique to fault creep: A case study of the Hayward fault, California. *Remote Sensing of Environment*, 109 (1), 20-28.
- Lee, S. & Park, I. (2013). Application of decision tree model for the ground subsidence hazard mapping near abandoned underground coal mines. *Journal of Environmental Management*, 127, 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.010>.
- Lyons, S. & Sandwell, D. (2003). Fault creep along the southern San Andreas from interferometric synthetic aperture radar, permanent scatterers, and stacking. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108 (B1), 11-24. <https://doi.org/10.1029/2002JB001831>.
- Mahmoudpour, M., Khamsehchiyan, M., Nikudel, M. R. & Ghassemi, M. R. (2016). Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in

- the southwest plain of Tehran, Iran. *Engineering Geology*, 201, 6-28.
- Mardi, A. H., Khaghani, A., MacDonald, A. B., Nguyen, P., Karimi, N., Heidary, P., Karimi, N., Saemian, P., Sehatkashani, S. & Tajrishy, M. (2018). The Lake Urmia environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution. *Science of The Total Environment*, 633, 42-49.
- Mason, S., Fletcher, J. K., Haynes, J. M., Franklin, C., Protat, A. & Jakob, C. (2015). A hybrid cloud regime methodology used to evaluate Southern Ocean cloud and shortwave radiation errors in ACCESS. *Journal of Climate*, 28 (15), 6001-6018.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. & Rabaute, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364 (6433), 138.
- Massonnet, D. & Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36 (4), 441-500.
- Motagh, M., Walter, T. R., Sharifi, M. A., Fielding, E., Schenk, A., Anderssohn, J. & Zschau, J. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophysical Research Letters*, 35 (16), L16403. <https://doi.org/10.1029/2008GL033814>.
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghighi, M. H., Wetzell, H.-U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S. & Arabi, S. (2017). Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanzan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering Geology*, 218, 134-151.
- Pengra, B. (2012). The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences. *UNEP-GRID, Sioux Falls, UNEP Global Environmental Alert Service (GEAS)*.
- Pirouzi, A. & Eslami, A. (2017). Ground subsidence in plains around Tehran: site survey, records compilation and analysis. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(1), 30.
- Poland, J. F. (1984). *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S. & Kahn, R. A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463-464, 552-564.
- Raucoules, D., Colesanti, C. & Carnec, C. (2007). Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence. *Comptes Rendus Geoscience*, 339 (5), 289-302.
- Refice, A., Bovenga, F., Nutricato, R. & Chiaradia, M. T. (2004). Assessment of multitemporal DInSAR stepwise processing. *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6, 3876-3879.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E. & Goldstein, R. M. (2000). Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88 (3), 333-382.
- Sandwell, D., Mellors, R., Tong, X., Wei, M. & Wessel, P. (2011). Open radar interferometry software for mapping surface deformation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 92 (28), 234.
- Soleimani, M., Hamzeh, S. & Papi, R. (2018). Potential assessment of suitable lands for walnut cultivation in Tehran province using fuzzy AHP method. *Journal of Soil and Water Conservation (JSWC)*, 8 (1), 49-72. (In Persian)
- Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G. & Gonella, M. (2006). Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend. *Water Resources Research*, 42 (1), 1-19.
- Tesauro, M., Berardino, P., Lanari, R., Sansosti, E., Fornaro, G. & Franceschetti, G. (2000). Urban subsidence inside the city of Napoli (Italy) observed by satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, 27 (13), 1961-1964.
- Zebker, H. A. & Goldstein, R. M. (1986). Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91 (B5), 4993-4999.
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., Goldstein, R. M., Gabriel, A. & Werner, C. L. (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99 (B10), 19617-19634.