

مجله مخاطرات محیط طبیعی

(علمی – پژوهشی)

سال ششم

شماره دوازدهم

تابستان ۱۳۹۶

هیأت تحریریه فصلنامه

صاحب امتیاز: دانشگاه سیستان و بلوچستان
مدیر مسئول: دکتر حسین نگارش
سردبیر: دکتر محمود خسروی
مدیر داخلی: دکتر صمد فتوحی

۱- دکتر عیسی ابراهیم‌زاده	**استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه سیستان و بلوچستان**
۲- دکتر سعید جهانبخش	**استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز**
۳- دکتر محمود خسروی	**دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان**
۴- دکتر محمدحسین‌رامشت	**استاد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان**
۵- دکتر علی عسگری	**دانشیار برنامه‌ریزی مخاطرات محیطی دانشگاه یورک (تورنتو) کانادا**
۶- دکتر بهلول علیجانی	**استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت معلم**
۷- دکتر حسنعلی غیور	**استاد هیدرومتئورولوژی دانشگاه اصفهان**
۸- دکتر حسین نگارش	**استاد ژئومورفولوژی دانشگاه سیستان و بلوچستان**
۹- دکتر سید ابوالفضل مسعودیان	**استاد اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان**
۱۰- دکتر احمد اکبری	**استاد اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان**
۱۱- دکتر علیرضا شهریاری	**دانشیار منابع طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان**
۱۲- دکتر صمد فتوحی	**دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه سیستان و بلوچستان**

همکاران علمی این شماره

برومند صلاحی، دانشگاه محقق اردبیلی- قاسم عزیزی، دانشگاه تهران- پیمان محمودی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- بختیار محمدی، دانشگاه کردستان- سعید نگهبان، دانشگاه شیراز- محمود خسروی، دانشگاه سیستان و بلوچستان- محسن حمیدیان پور، دانشگاه سیستان و بلوچستان- عباسعلی آروین، دانشگاه پیام نور اصفهان- صادق کریمی، دانشگاه کرمان- منوچهر فرج زاده، دانشگاه تربیت مدرس- کمال امیدوار، دانشگاه یزد- داریوش رحیمی، دانشگاه اصفهان- شهرام بهرامی، دانشگاه حکیم سبزواری- حسین غضنفرپور، دانشگاه کرمان- محسن پور خسروانی، دانشگاه کرمان- فرح السادات هالک، پژوهشگاه مواد و انرژی- مرتضی اسمعیل نژاد، دانشگاه بیرجند.

ویراستار فارسی: دکتر یعقوب فولادی
ویراستار انگلیسی: دکتر محمود خسروی و مرضیه دارائی
مدیر اجرایی: مسعود سعیدی
کارشناس مجله: مرضیه دارائی
ویرایش و صفحه‌آرایی: مرضیه دارائی

مجله مخاطرات محیط طبیعی

مجله *مخاطرات محیط طبیعی* طی ابلاغیه شماره ۳/۱۸/۴۲۱۶ مورخ ۱۳۹۵/۰۱/۱۷ در کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور از درجه *علمی – پژوهشی* برخوردار گردید.

سال ششم

شماره دوازدهم

تابستان ۱۳۹۶

چاپ و لیتوگرافی: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

شماره شاپا: ۶۳۵۳-۲۳۴۵

آدرس: استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، کدپستی ۹۸۱۶۷۴۵۶۳۹،

صندوق پستی، ۹۸۷-۹۸۱۳۵

تلفن: ۳۱۱۳۶۷۹۹-۰۵۴، دورنگار: ۳۳۴۱۶۱۴۱-۰۵۴

آدرس سامانه: http://jneh.usb.ac.ir

آدرس پست الکترونیک:

Ehazards@usb.ac.ir و Ehazards@hotmail.com

لیست کامل مقاله های مجله در پایگاه‌های اطلاع رسانی زیر نمایه می شود:
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام - www.isc.gov.ir
پایگاه اینترنتی جهاد دانشگاهی - www.sid.ir
بانک اطلاعاتی نشریات کشور - www.magiran.com

راهنمای تدوین و نحوه‌ی ارسال مقاله برای مجله مخاطرات محیط طبیعی

۱- پذیرش مقاله صرفاً از طریق سایت مجله jenh.usb.ac.ir امکان‌پذیر می‌باشد و برای ثبت نام در سایت مجله مخاطرات محیط طبیعی و ارسال مقاله لطفاً مراحل زیر را اجرا فرمائید.

- به سایت jenh.usb.ac.ir وارد شوید. به سایت مجله مخاطرات محیط طبیعی خوش آمدید.

- روی گزینه (ارسال و پیگیری مقالات) کلیک کنید، سپس روی کلمه (ثبت نام) کلیک کنید. صفحه ثبت نام ظاهر خواهد شد. پس از تکمیل صفحه ثبت نام روی گزینه ثبت نام (Submit) در پایین صفحه کلیک کنید، آنگاه به Email خود مراجعه فرمائید و روی آدرسی که در نامه الکترونیکی درج شده، کلیک نمایید تا مجدداً به سایت مجله متصل شوید و ثبت نام شما تکمیل شود.

- این بار Username و Password خود را که قبلاً ثبت شده مجدداً وارد نمایید و از خدمات online مجله استفاده نمایید.

یادآوری: قابل ذکر است که از این اسم شناسه و کلمه عبور هم برای انجام داوری و هم برای ارسال مقالات خود می‌توانید استفاده نمایید.

۲- مجله مخاطرات محیط طبیعی به دلیل تخصصی بودن فقط در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیط طبیعی پذیرای مقالات می‌باشد.

۳- مقالهٔ ارسال شده برای این نشریه همزمان برای سایر مجلات ارسال نشده باشد.

۴- زبان رسمی مجله، فارسی است، اما چکیده مقالات به زبان انگلیسی نیز ضروری است.

۵- مقاله علاوه بر چکیده فارسی **(حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه، معادل حداکثر ۱۵ سطر)**، بایستی دارای واژه‌های کلیدی، مقدمه، داده‌ها و روش‌ها، نتیجه‌گیری و فهرست منابع و مآخذ و **چکیده مبسوط انگلیسی** مقاله **در انتهای متن اصلی و بعد از منابع، حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه (بدون منابع)** و مشتمل بر موارد (Introduction, Methodology, Result and discussion, Conclusion, keyword) باشد. **همه منابع فارسی باید ترجمه شوند** و به همراه منابع انگلیسی در چکیده مبسوط آورده شود.

۶- مقاله علمی ـ پژوهشی لزوماً دارای اجزای ساختاری زیر است که به‌ترتیب عبارتند از: چکیده (۲۰۰ تا ۳۰۰ کلمه) به زبان فارسی و چکیده مبسوط انگلیسی (ترجمه صحیح)، واژگان کلیدی، مقدمه نظری و توجیهی، روش تحقیق، یافته‌های تحقیق، تجزیه و تحلیل، نتیجه‌گیری، قدردانی و فهرست منابع. رعایت این ساختار از سوی ارائه‌کنندگان مقاله ضروری است.

۷- مقالاتی که توسط دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری با همکاری استادان راهنما و یا مشاور تهیه می شود، **ضرورتاً باید با امضای استاد مربوطه به فصلنامه ارسال گردد؛ در غیر این صورت در هیأت تحریریه قابل طرح نخواهد بود.** در عین حال نویسنده مسئول و ترتیب اسامی نویسندگان به همان ترتیبی که در سایت ثبت شده باشد، در مقاله خواهد آمد و پس از آن غیر قابل تغییر خواهد بود.

۷-۱- تمام مقالات ارسالی در صورتیکه دانشجو یا غیر عضو هیأت علمی نیز جزو نویسندگان آن باشند می‌بایست صرفاً توسط یکی از نویسندگان که عضو هیأت علمی است به مجله ارسال گردد؛ در غیر اینصورت مقاله قابل بررسی نخواهد بود.

۷-۲- با توجه به مصوبات هیأت تحریریه مجله، چنانچه نویسنده یا نویسندگان، مقاله دیگری در مراحل داوری در مجله داشته باشند، لذا تا زمان روشن شدن نتایج داوری آن مقاله، مجله از پذیرش همزمان مقالات متعدد معذور می‌باشد.

بدیهی است، با توجه به تأکید کمیسیون نشریات بر تنوع جغرافیایی نویسندگان و جلوگیری از ادامه فرآیند داوری نویسنده تکراری، می‌توانید مقاله خود را به مجلات دیگر ارسال نمائید و یا منتظر روشن شدن نتایج مقالات قبلی خود یا همکاران باشید.

۸- مقالات ارسالی به مجله، در محیط Word با قلم B Nazanin نازک فونت ۱۳ نازک و لاتین Times New Roman فونت ۱۱ نازک، فاصله تقریبی میان سطور، یک (۱) حروفچینی و تایپ گردد. حاشیه از بالا ۴، از پایین ۲،۵، از راست ۲،۵ و حاشیه چپ ۲،۵ سانتیمتر باشد. عنوان مقاله با فونت تیتر ۱۶، مشخصات نویسنده یا نویسندگان با فونت تیتر ۱۲، چکیده فارسی با فونت B Nazanin سیاه ۱۰، فهرست عناوین متن با فونت BNazanin سیاه ۱۳، منابع و مآخذ با فونت BNazanin نازک ۱۱ و لاتین با فونت Times New Roman نازک ۹ نگاشته شود.

حتماً از فرمت مجله که در سایت آورده شده است، استفاده شود و متن در این فرمت وارد شود.

۹- **مقاله در سه فایل جداگانه شامل؛ یک فایل** صفحه مشخصات نویسنده یا نویسندگان مقاله در محیط Word به شرح بند ۱۰ این راهنما و سپس Pdf شده، **فایل دوم** حاوی مقاله اصلی در محیط Word **بدون صفحه مشخصات نویسندگان**، **فایل سوم** حاوی مقاله اصلی Pdf شده بدون صفحه مشخصات نویسندگان باشد.

۱۰- مقالات ارسال شده باید دارای بخش‌های زیر باشد:

فایل اول:

- رتبه علمی و نام مؤسسه یا محل اشتغال نویسنده یا نویسندگان به فارسی و انگلیسی.

- **نشانی کامل نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات:** شامل نشانی پستی، شماره تلفن و همراه، شماره دورنگار و نشانی پیام‌نگار (پست الکترونیکی- **حتماً ایمیل دانشگاهی نویسنده مسئول**) به فارسی و انگلیسی در محیط **Word** ، **از ذکر مشخصات فوق در سایر صفحه‌های مقاله باید خودداری شود.**

- چنانچه مخارج مالی تحقیق یا تهیه مقاله توسط مؤسسه‌ای تأمین شده باشد باید نام مؤسسه در پاورقی صفحه اول درج شود.

بدیهی است صفحه اول باید حتی الامکان در محیط Word و در فایل جداگانه بصورت Cover letter ارسال گردد.

فایل دوم: عنوان کامل مقاله به فارسی، چکیده فارسی (**حداقل ۲۰۰ تا حداکثر ۳۰۰ کلمه**)، کلید واژگان فارسی (حداقل ۳ و حداکثر ۷ واژه که با ویرگول (،) جدا شده اند)، در صفحه اول و

از صفحهٔ دوم: به بعد متن اصلی مقاله خواهد آمد. **مقاله اصلی حتماً در محیط word ارسال شود.** از مقالاتی که **فقط** در محیط Pdf فرستاده شده باشند، در اولویت داوری قرار نخواهند گرفت.

در انتهای مقاله، چکیده (Abstract) به انگلیسی آورده شود. (حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه).

چکیده مبسوط انگلیسی مقاله **در انتهای متن اصلی و بعد از منابع، حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه (بدون منابع)** و مشتمل بر موارد (Introduction, Methodology, Result and discussion, Conclusion, keyword) باشد **همه منابع فارسی باید ترجمه شوند** و به همراه منابع انگلیسی در چکیده مبسوط آورده شود.

۱۱- مأخذ در متن مقاله، داخل پرانتز با ذکر نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار آورده شود.

مثال نحوهٔ ارجاع در داخل متن: (نگارش، ۱۳۹۰)

۱۲- معادل های انگلیسی در هر صفحه با علامت شماره‌گذاری مستقل برای هر صفحه، در پاورقی آورده شود.

۱۳- روش ارائه منابع و مآخذ در انتهای مقاله:

۱-۱۳- نام خانوادگی، نام نویسنده یا نویسندگان **به صورت کامل**، (سال انتشار). عنوان کتاب. شماره جلد. نوبت چاپ، محل انتشار، نام ناشر، تعداد صفحه.

نحوهٔ درج در فهرست منابع و مأخذ به ترتیب حروف الفبا خواهد بود.

مثال برای کتاب: امیدوار، کمال، (۱۳۹۰). مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد، جلد اول، چاپ اول، ۳۶۰ صفحه.

۲-۱۳- مثال برای نشریه: نام خانوادگی، نام نویسنده یا نویسندگان **به صورت کامل**، (سال انتشار). عنوان مقاله، نام نشریه، دوره، محل انتشار، صص ۲۵-۲۰.

۱۴- حداقل منابع مورد استفاده نباید از ۲۰ منبع کمتر باشد.

۱۵- واحدهای استفاده شده در مقاله بایستی در سیستم متریک باشد.

۱۶- در متن مقاله به شماره عکس‌ها، جداول و نمودارها اشاره شود و محل تقریبی آنها مشخص گردد.

در تنظیم جداول، منحنی‌ها، اشکال و تصاویر، رعایت نکات زیر الزامی است:

الف- اطلاعات جداول نباید به صورت منحنی و یا به شکل دیگر در مقاله تکرار شوند. **شماره و عنوان در بالای جدول ذکر گردد.**

ب- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به خود باشد، چنانچه تمام ارقام جدول دارای واحد یکسان باشند، می‌توان واحد را در عنوان جدول ذکر نمود.

ج- توضیحات اضافی عنوان و متن جدول، به صورت زیرنویس ارائه گردد. نتایج بررسی‌های آماری، باید به یکی از روش‌های علمی در جدول منعکس شود و در هر صفحه نباید بیش از دو جدول آورده شود.

د- شکل‌های هر مقاله شامل منحنی، نمودار، عکس و نقشه بوده و همه بطور یکسان به عنوان شکل شماره‌گذاری می‌شوند.

شکل‌ها باید بصورت رنگی یا سیاه و سفید و با کیفیت مناسب و مطلوب تهیه شده و **شماره و عنوان آنها در پایین بیاید** .عکس‌ها باید واضح، مطالب آنها خوانا و دارای مقیاس باشند. ذکر مأخذ عکس‌ها یا شکل‌هایی که از منابع دیگر اقتباس شده‌اند الزامی است.

۱۷- **اعداد در متن فارسی باید حتما به فارسی و در متن لاتین به انگلیسی، باشند.**

۱۸- مقاله‌های رسیده توسط سه الی چهار نفر از استادان متخصص به صورت محرمانه داوری خواهد شد.

۱۹- مسؤولیت صحت و سقم مقاله به لحاظ علمی و حقوقی به عهده نویسنده عهده‌دار مکاتبات است.

۲۰- مقالات ترجمه اصولاً پذیرفته نمی‌شود.

۲۱- **حداکثر حجم مقالات، شامل جدول‌ها و منحنی‌ها ۲۰ صفحه A4 باشد.**

۲۲- مجله حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ می‌دارد و از بازگرداندن مقالات دریافتی معذوراست.

۲۳- پس از چاپ مقاله یک نسخه از مجله حاوی مقاله نویسندگان به آنان اهدا خواهد شد.

۲۴- اصل مقالات رد یا انصراف داده شده پس از سه ماه از مجموعه آرشیو مجله خارج خواهد شد و مجله مخاطرات محیط طبیعی هیچگونه مسؤولیتی در این ارتباط نخواهد داشت.

نشانی: زاهدان، خیابان دانشگاه، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی

صندوق پستی : ۹۸۷-۹۸۱۳۵، تلفن: ۳۱۱۳۶۷۹۹- ۰۵۴۱ ، نمابر: ۰۵۴-۳۳۴۱۶۱۴۱

سایت: **http://jenh.usb.ac.ir**

فهرست مطالب

تحلیل فضایی و پهنه بندی دوره های خشک اقلیمی در ایران بر اساس شاخص DDSLR

حسن ذوالفقاری*، مجتبی میرزایی ۱

بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن۹۲ در ایران با تاکید بر نقش پدیده بلاکینگ

فاطمه درگاهیان*، بهلول علیجانی ۱۹

پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی

بتول زینالی*، وحید صفریان زنگیر ۳۷

بررسی روابط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی در برخی از ایستگاه های همدیدی ایران

حسن فتحی زاد، اعظم غلامی نیا، محمدحسین مبین*، حمید سودائی زاده ۶۳

مدلسازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز

عطاالله کاویان*، مریم نامدار، محمد گلشن، معصومه بحری ۸۹

تحلیل محدودیت های ژئومورفولوژیکی در گسترش کالبدی شهر با تاکید بر فرسایش خندقی (مطالعه موردی: شهر مُهر در جنوب استان فارس)

محمد غلامی*، مهدی احمدی، مهران محمودی ۱۰۵

بررسی وضعیت آلودگی محیط از نظرترکیبات نفتی و فلزات سنگین در باقرشهر تهران*

حبیب اله فصیحی*، محسن حمیدی، سعید استاد فرج ۱۲۵

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶
صفحات: ۱۸-۱

تحلیل فضایی و پهنه بندی دوره های خشک اقلیمی در ایران بر اساس شاخص DDSLR

حسن ذوالفقاری*[۱]، مجتبی میرزایی[۲]

چکیده

ایران از نظر اقلیمی کشوری خشک و نیمه خشک محسوب می شود و منابع حیاتی آب در این سرزمین وابستگی زیادی به بارش های جوی نشان می دهند. شناخت خصوصیات دوره های خشک اقلیمی از جمله فراوانی وقوع، شدت و تداوم دوره ها در برنامه ریزی-های محیطی گوناگون اهمیت زیادی دارد. در همین رابطه، خصوصیات دوره های اقلیمی خشک کشور براساس شاخص "روزهای خشک بعد از آخرین روز بارش " (DDSLR) با استفاده از داده های آماری ۴۸ ایستگاه سینوپتیک ایران طی یک دورهٔ ۳۰ ساله از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات شاخص DDSLR با احتمال ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد(خوشبینانه، متوسط، بدبینانه و بسیار بدبینانه) به عنوان شاخص های دوره های خشکی با شدت های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای هر کدام از ایستگاه ها تعیین و خصوصیات دورهٔ خشک شامل شروع، خاتمه، فراوانی، خشکترین روز دوره و طول دوره برای هر ایستگاه مشخص گردید. در نهایت بر اساس طول دورهٔ خشک و از طریق روش میان یابی Kriging نقشه های پهنه بندی برای سرتاسر ایران ترسیم شد. نتایج مطالعه نشان داد که دورهٔ خشک اقلیمی در ایستگاه های جنوب شرقی کشور بخصوص ایستگاه های بندری سواحل دریای عمان (چابهار و بندرعباس) قبل از ایستگاه های دیگر آغاز می شود. همچنین دورهٔ خشک در ایستگاه های سواحل دریای خزر زودتر به پایان می رسد. کوتاه ترین دورهٔ خشکی مربوط به سواحل شمالی کشور و طولانی ترین دورهٔ خشکی نیز در جنوب شرقی کشور رخ می دهد. خشک ترین روز دوره در اکثر ایستگاه ها در ماه های اکتبر اتفاق می افتد. همچنین معلوم شد که با افزایش احتمال از ۲۵ درصد (احتمال خوشبینانه) به ۹۰ درصد(احتمال بسیار بدبینانه) بر وسعت منطقه دارای دورهٔ خشکی خیلی بلند در بخش‌های جنوب، جنوب‌شرق و شمال‌غرب کشور افزوده می شود.

واژگان کلیدی: شاخص DDSLR، دوره های خشک، تحلیل فضایی، پهنه بندی، ایران

۱- دانشیار، گروه جغرافیا ، دانشگاه رازی (نویسنده مسئول) h.zolfaghari@razi.ac.ir
۲- کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه رازی mojtabamirzaei6@gmail.com

مقدمه

در بین عناصر اقلیمی، بارش از متغیرترین آنها است بطوریکه از نظر زمانی و مکانی تغییرات زیادی نشان می‌دهد. بویژه در مناطقی که از بارش کمتری برخوردارند؛ تغییرات بارندگی شدیدتر است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷). از سوی دیگر، تنوع زمانی و مکانی بالای بارش می‌تواند موجب تنش‌های شدید آبی گردد (رویز سینگا[1] و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو شناسایی و تحلیل ویژگیهای دوره‌های خشک هواشناسی و اقلیمی در درک توزیع فضایی مجموعه‌های مختلف زیستی اهمیت زیادی دارد (بی لی، ۱۹۸۸). چرا که اولاً دوره‌های خشک بین رخدادهای بارش نقش مهمی در فرایندهای زیست‌محیطی به‌خصوص در رابطه با شرایط رطوبت خاک ایفا می‌کند (باور، ۱۹۵۶، هیلل، ۱۹۷۱). ثانیاً اینکه رطوبت خاک، آب قابل دسترس رشد گیاه و اثرات ویژگی خاک و فرایندهایی از جمله: ثبات دانه‌ها و تخریب خاک (مباگو و بازرونی، ۱۹۹۸، کاران و همکاران، ۱۹۹۲، لاوی و همکاران، ۱۹۹۶، لادو و همکاران، ۲۰۰۴)، رواناب و فرسایش خاک (لی-بیزناس و سینگر، ۱۹۹۲، کوهن و برایان، ۲۰۰۴، ارنود و همکاران، ۲۰۰۵)، فرسایش بادی (فیکن و همکاران، ۱۹۹۹)، نیروی جریان آب (سیتر و همکاران، ۱۹۶۹، سیدل و همکاران، ۱۹۹۵)، فعالیت زیستی خاک (لی و ساره، ۲۰۰۳، بناپ و همکاران، ۲۰۰۴) و تکامل جوامع گیاهی (کوتیل و لاوی، ۱۹۹۹) را کنترل می‌کند (رویز سینگا و همکاران، ۲۰۱۲).

جنبه‌های متعددی از دوره‌های خشک و مرطوب، از جمله طول دوره، تکرار دوره، روند زمانی و مکانی، ارتباط با بارش سالیانه و خشکسالی توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (مارتین وید و گومز[2]، ۱۹۹۹؛ پاز و کوتیل[3]، ۲۰۰۳؛ وسنته سرانو و بیجریا پوتوگاس[4]، ۲۰۰۳؛ جوزپی[5] و همکاران، ۲۰۰۵؛ لانا[6] و همکاران، ۲۰۰۸؛ آنگ ناستفو[7] و همکاران، ۲۰۰۸؛ دکا[8] و همکاران، ۲۰۱۰؛ دنی[9] و همکاران، ۲۰۱۰؛ لوپز فرانکا[10]، ۲۰۱۳؛ مدی گاما و پرس[11]، ۲۰۱۱ و ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۴).

در اکثریت منابع فوق‌الذکر، طول دورهٔ خشک، به تعداد روزهای متوالی بدون بارش و یا بارش کمتر از یک آستانه معین در بین دو دورهٔ بارندگی اطلاق شده است. این تعریف دارای دو محدودیت مهم است: ۱- اهمیت روزهای خشک نسبت به یکدیگر در یک دورهٔ خشک مخصوصاً اگر دوره طولانی تر باشد، مورد توجه قرار نمی گیرد. بطور مثال روز اول خشک با روز چهلم خشک در یک دوره خشک طولانی یکسان در نظر گرفته می‌شود.۲- این دوره‌ها قابلیت تاریخ‌گذاری مشخص را ندارند. مثلا در اکثر مطالعات اگر یک دوره خشک از اواخر ژانویه تا اوایل فوریه بطول

---

1 - Ruiz-Sinoga
2 - Martin-Vide and Gomez
3 - Paz and Kutiel
4 - Vicente-Serrano and Begueria - Portugues
5 - Giuseppe
6 - Lana
7 - Anagnostopoulou
8 - Deka
9 - Deni
10 - Lopez-Franca
11 - Mathugama and Peiris

کشیده شده باشد، به عنوان خشکی ژانویه شناخته شده است (رایزر و کوتیل[1]، ۲۰۱۰). به منظور غلبه بر این محدودیت‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است. روش محاسبهٔ «روزهای خشک بعد از آخرین روز بارانی» (DDSLR[2])، توسط استرن[3] و همکاران (۱۹۸۲) و کوتیل (۱۹۸۵) ارائه شده است، این روش ما را قادر به ارزیابی خشکی برای هر روز سال، بدون در نظر گرفتن اولین و آخرین روز دورهٔ خشکی و همچنین قابلیت تعیین تاریخ را می‌دهد.

این شاخص به ویژه در مسائل کشاورزی و ژئومورفولوژی اهمیت زیادی دارد. در مباحث کشاورزی دو دورهٔ بسیار مهم وجود دارد که طی آنها کمبود آب می‌تواند موجب پژمردگی و کاهش بازدهی گیاه گردد. اولین دوره، زمان شروع فصل بارش، هنگامی که گیاه درحال جوانه‌زدن است؛ کمبود آب باعث توقف جوانه‌زنی یا خواب بذر می‌شود. دومین دوره در فصل گل‌دهی است، که کمبود آب موجب کاهش محصول می‌شود. همچنین فرایندهای ژئومورفولوژیکی نظیر تورم خاک، فشرده‌شدن، و حرکات و ترک‌خوردن خاک که وابسته به محتوای آب خاک می‌باشند. با محاسبهٔ این پارامتر در آستانه‌های مختلف بارش (بسته به هدف مطالعه) ما را قادر به محاسبهٔ احتمال خشکی برای هر روز سال و ارزیابی خطر ابتلا به کمبود آب برای گیاهان و ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی وابسته به رطوبت خاک می‌کنند (ایوید و همکاران[4]، ۲۰۰۹). ایوید و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی در یک آب و هوای مدیترانه‌ای، پنج ایستگاه را بوسیله شاخص DDSLR در چهار آستانهٔ بارش ۰/۱، ۱، ۱۰ و ۲۵ میلیمتر بررسی نموده و نشان دادند که ارزش DDSLR با افزایش میزان خشکی تغییر می‌کند؛ آنها در آستانهٔ ۰/۱ میلیمتر تفاوتی در پنج ایستگاه مشاهده نکردند اما با افزایش آستانهٔ بارش تفاوت‌ها آشکار گردیده است. رایزر و کوتیل (۲۰۱۰) در پژوهشی با هدف تجزیه و تحلیل توزیع خشکی در منطقه مدیترانه، توسط شاخص DDSLR، دو منطقهٔ متمایز تشخیص دادند. رویز سینگا و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در جنوب اسپانیا، با انتخاب دو ایستگاه در منطقه نیمه خشک و دو ایستگاه در منطقه مرطوب، با کمک شاخص DDSLR به مقایسه این دو منطقه پرداخته و یک دورهٔ بحرانی کمبود بارش در طی ماه‌های سپتامبر و اکتبر مشاهده کردند.

ایران سرزمینی با خصوصیات اقلیمی عمدتاً خشک و نیمه خشک است. منابع حیاتی آب در این سرزمین وابستگی زیادی به ریزشهای اندک جوی دارند و خصوصیات زمانی- مکانی این ریزشها به اشکال و درجات مختلف منابع حیاتی ایران را بشدت متاثر می‌سازند. بنابراین تجزیه و تحلیل فراوانی و شدت دوره‌های خشک در ایران که منابع آبی نامطئنی دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. دوره‌های خشک اقلیمی با توجه به اهمیتی که برای زیست‌بوم‌های ایران دارد از طرف محققین مورد توجه قرار گرفته است. کهربائیان و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل مارکوف و توزیع نرمال، دوره‌های خشک و مرطوب را برای مشهد پیش‌بینی کرده و نشان داد که احتمال شدت و مدت خشکسالی رو به افزایش است. محمودی و همکاران (۱۳۹۲) دوره‌های خشک ایران را در سه آستانهٔ بارشی (۱/، ۱ و

[1] - Reiser and Kutiel
[2] - Dry days since last rain
[3] - Stern
[4] - Avaid

۱۰میلیمتر) مطالعه نموده و نقشه‌های دوره‌های خشک ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزه را برای کل کشور ترسیم نمودند. انصاری و داوری (۱۳۸۶) توسط شاخص بارندگی استاندارد شده با چهار مدل، رگرسیون، Spline، Kriging و IDW دوره‌های خشکی را برای خراسان بررسی کرده و نشان دادند که دوره‌های خشک در سال‌های اخیر تکرار بیشتری داشته ولی شدت آن کاهش یافته است. کوچکی و همکاران (۱۳۸۶) با هدف پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در شرایط تغییر اقلیم با مدل گردش عمومی UKMO برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ نشان دادند که فصل خشک در ایران روند افزایشی دارد. در این پژوهش به کمک شاخص DDSLR که شاخصی نسبتاً جدید و مناسبتر برای تحلیل دوره های خشک است، ما قادر به شاناسایی وتحلیل دقیقتر دوره های خشک بحرانی کوتاه مدت و بلندمدت اقلیمی ایران خواهیم شد.

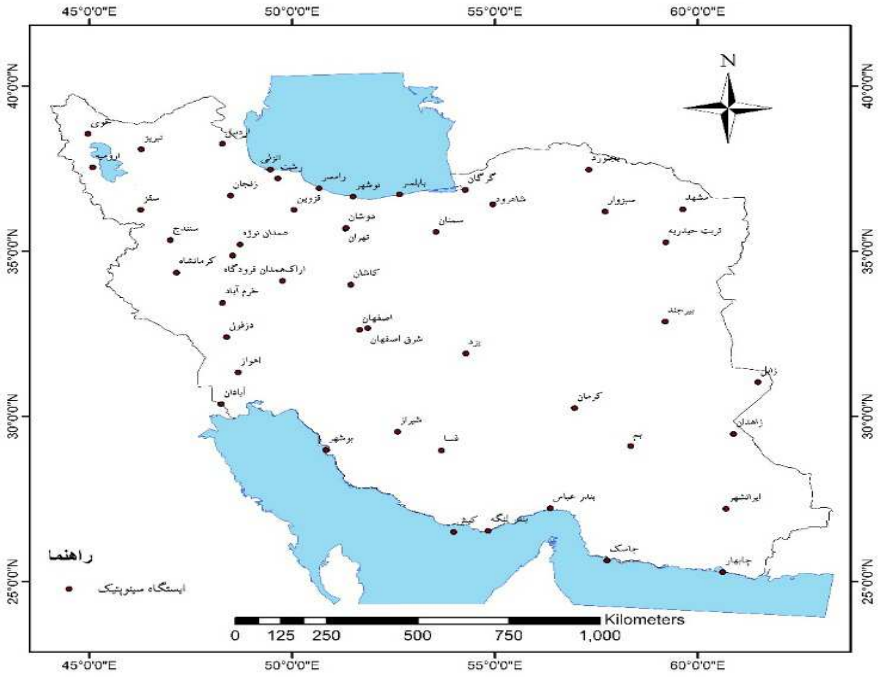
داده‌ها و روش‌ها

داده‌های بارش روزانه ۴۸ ایستگاه سینوپتیک ایران، طی یک دورهٔ ۳۰ ساله (۱۹۷۹-۲۰۰۸)، از پایگاه اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور[1] دریافت و قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نواقص آماری ایستگاه‌ها با استفاده از روش نسبت‌ها (علیزاده، ۱۳۸۹) برطرف گردید، در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها مشخص شده است.

در این مطالعه به منظور تحلیل دوره‌های خشک اقلیمی، شاخص DDSLR که توسط استرن و همکاران (۱۹۸۲) و کوتیل (۱۹۸۵) ارائه شده است، مورد استفاده قرار گرفته است. برای رسیدن به اهداف پژوهش مراحل زیر به ترتیب انجام گرفته است:

تاریخ تحلیل بارش: این تاریخ به عنوان مبنای آغاز یک فصل جدید بارش تعریف می‌شود و همهٔ پارامترهای بارش از جمله شاخص DDSLR، نسبت به این تاریخ محاسبه می‌شوند. در این پژوهش این تاریخ به روش رایزر و کوتیل (۲۰۰۶) با تغییراتی توسط ذوالفقاری و همکاران(۱۳۹۴) تعیین گردید.

[1] - www.weather.ir



شکل ۱: موقعیت و اسامی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

آستانهٔ بارش روزانه: انتخاب آستانهٔ بارش روزانه با توجه به اهداف و روش‌های مورد استفاده، متفاوت است. آستانهٔ رایج معمولا ۰/۱ میلیمتر یعنی حداقل دقت باران سنج (مارتین وید و گومز، ۱۹۹۹؛ تنات و هیوستون[1]، ۲۰۰۲) است که این مقدار برای تحلیل شاخص DDSLR، با توجه به نتایج ایوید و همکاران (۲۰۰۹) و رویز سینگا و همکاران (۲۰۱۲) بعلت آشکار نشدن تفاوت بین ایستگاه‌ها زیاد مطلوب نیست. بنابراین، توسط روش رایزر و کوتیل (۲۰۰۹)، آستانهٔ بارش روزانه بصورت رابطه ۱ تعیین شد. در این روش ابتدا نسبت میانگین بارش کل بین دو آستانهٔ ۱ و ۰/۱ میلیمتر از رابطهٔ مذکور برای ایستگاه‌ها محاسبه شده و سپس بر اساس بالاترین درصد بدست آمده در بین ایستگاه‌ها آستانهٔ مورد نظرتعیین می‌شود.

$$Ratio = \left(\frac{total(,1) - total(1)}{total(,1)} \times 100\right) - 1$$ رابطهٔ (۱)

محاسبهٔ شاخص DDSLR : این شاخص براساس تعداد روزهای بدون بارش یا با بارش کمتر از یک آستانهٔ معین از آخرین روز بارانی تعریف می‌شود. محاسبهٔ آن به شرح زیر است:

الف) تعیین ارزش «0» برای تمام روزهای بارشی مساوی یا بالاتر از آستانه مورد نظر؛

ب) تعیین ارزش «۱، ۲، ۳، و ...» برای تمام روزهای بدون بارش یا کمتر از آستانه مورد نظر بترتیب از آخرین روز بارانی؛

[1] - Tennant and Hewitson

ج) بدین ترتیب تمام سال‌های یک دوره آماری، ارزش‌گذاری می‌شود. اولین روز هر سال؛ اگر بارانی باشد، ارزش «0» و اگر خشک باشد ادامه ارزش آخرین روز سال قبلی برای آن منظور می‌شود؛

د) رتبه‌بندی نزولی ارزش‌های بدست آمده شاخص DDSLR برای هر روز سال طی دورهٔ و محاسبهٔ احتمال آن از رابطهٔ (۲).

رابطهٔ (۲) $$p = \frac{m}{n+1}$$

در این رابطه: p= احتمال، m = میانگین شاخص DDSLR برای هر روز سال و n = تعداد سال‌های مورد مطالعه.

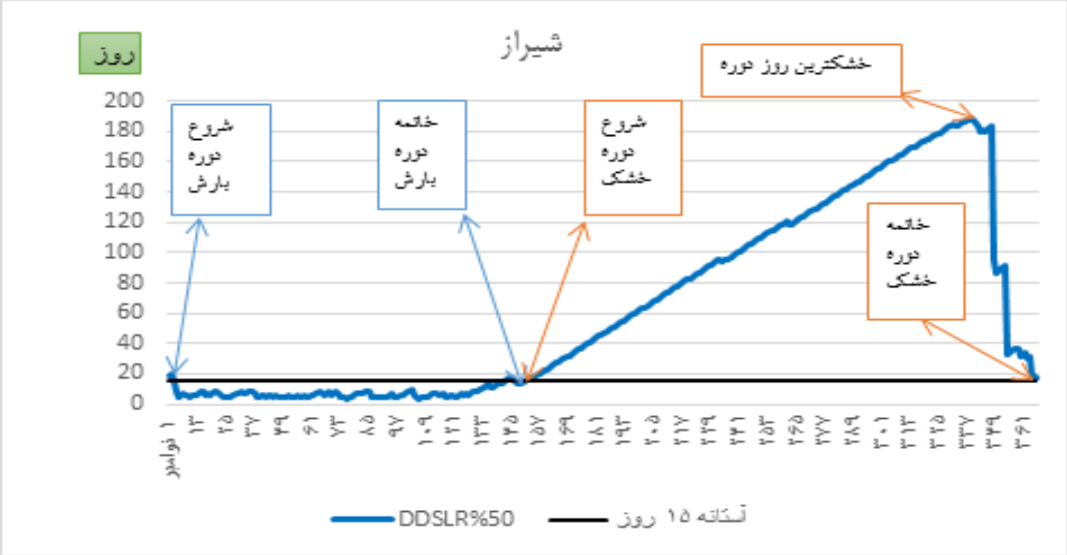
بدین ترتیب در نهایت روند سالانه شاخص DDSLR در احتمالات ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۹۰٪ برای هر ایستگاه، بترتیب به نمایندگی از شدت دورهٔ خشکی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، تعیین شد.

تعریف دوره خشک و مرطوب و پارامترهای آن، با شاخص DDSLR: به دلیل وجود متغیرهایی که به صورت مستقیم و غیر مستقیم در خشکسالی دخالت دارند تعریف این واژه مشکل است و به همین دلیل تعریف جامع و قابل قبولی برای آن ارائه نشده است. برای مثال خشکسالی از نظر پالمر کمبود رطوبت مستقیم و غیر طبیعی (فرج زاده، ۱۳۸۶)، از نظر علیجانی و کاویانی(۱۳۸۲) کاهش غیره منتظرهٔ بارش در مدتی معین و در منطقه‌ای که لزوما خشک نیست، و از نظر هاردی (۲۰۰۳) یک پدیدهٔ طبیعی و نامحسوس که در پی کاهش بارندگی در طی یک دورهٔ ممتد کوتاه یا طولانی روی می‌دهد، تعریف می‌گردد.

در این پژوهش با انتخاب روزهایی بعنوان آستانه (در اینجا ۱۵روز) برای روند دورهٔ سالانه شاخص DDSLR، پارامترهای دورهٔ خشک و بارانی نظیر طول، تاریخ شروع و خاتمهٔ، خشک‌ترین و مرطوب‌ترین روز و تعداد دوره‌ها تعیین می‌شوند. دوره بارانی به دوره‌ای اطلاق می‌شود که شامل روزهایی با شاخص DDSLR کمتر از ۱۵روز است یعنی فاصله آن تا بارش بعدی کمتر از ۱۵روزاست. دوره خشک؛ دوره‌ای است که بر اساس شاخص DDSLR بیشتر از ۱۵روز؛ طول می‌کشد. خشکترین روز، روزی است که بالاترین رقم DDSLR و مرطوب‌ترین روز، روزی که کمترین رقم DDSLR را دارا می‌باشد.

یافته‌های تحقیق

الف) تاریخ شروع بارش: داده‌های بارش در این پژوهش بر اساس تاریخ شروع بارش، توسط ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۴) تنظیم گردید. سپس بر اساس شاخص DDSLR با انتخاب و بررسی مجموعه روزهایی به عنوان آستانه پارامترهای بارش از جمله تاریخ شروع دورهٔ بارش تعیین گردیدند. پس از ارزیابی‌ها و کنترل‌های متعدد در نهایت مشخص شد که دورهٔ ۱۵روزه به عنوان آستانهٔ سالانه شاخص DDSLR، برای تفکیک دورهٔ خشک از دورهٔ بارانی مناسب است. شکل ۲ نمونه‌ای است که بر اساس آستانه ۱۵ روزه برای ایستگاه شیراز ترسیم و ارائه شده است. خصوصیات مختلفی از دوره های خشک اقلیمی بر اساس روش مذکور و آستانه ۱۵ روزه در شکل مشخص و به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۲: نمودار تعیین پارامترهای بارش ایستگاه شیراز بر اساس شاخص $DDSLR_{\%50}$

ب) آستانهٔ بارش روزانه: از آنجا که تاثیر بارش روزانه در فعالیت‌های مختلف، بستگی به مقدار آن دارد، بنابراین تعیین آستانهٔ بارش روزانه بستگی به هدف محقق دارد. در این مطالعه آستانهٔ بارش با روش رایزر و کوتیل (۲۰۰۹)، برای هر ایستگاه ۶ درصد میانگین بارش کل تعیین و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شد.

جدول ۱: تعیین آستانهٔ بارش با روش رایزر و کوتیل (۲۰۰۹) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	آستانهٔ بارش (میلیمتر)	ایستگاه	آستانهٔ بارش (میلیمتر)	ایستگاه	آستانهٔ بارش (میلیمتر)	ایستگاه	آستانهٔ بارش (میلیمتر)
انزلی	۵,۲	خرم آباد	۳	اراک	۲	خوی	۱,۱
رشت	۴	همدان فرو	۱,۹	جاسک	۳	زنجان	۱,۱
نوشهر	۴	بوشهر	۳	همدان نو	۱,۷	زاهدان	۱,۱
بابلسر	۳,۵	سنندج	۲,۱	ارومیه	۱,۶	اصفهان	۱,۱
رامسر	۳,۳	سقز	۲,۱	بیرجند	۱,۵	بجنورد	۱,۱
فسا	۳,۱	کرمانشاه	۲,۱	دوشان	۱,۵	تبریز	۱
بندر عباس	۳,۱	ایرانشهر	۲	تهران	۱,۴	اردبیل	۱
بندر لنگه	۳	اهواز	۲	مشهد	۱,۴	شاهرود	۱
کیش	۳	گرگان	۲	سمنان	۱,۳	زابل	۱
دزفول	۳	آبادان	۲	سبزوار	۱,۳	شرق اصفهان	۱
چابهار	۳	قزوین	۲	کرمان	۱,۱	بم	۱
شیراز	۳	تربت حیدر	۲	کاشان	۱,۱	یزد	۰,۸

ج) تعیین دورهٔ خشک: با توجه به شاخص DDSLR و انتخاب آستانهٔ ۱۵روزه برای مطالعه ویژگیهای بارش، پارامترهای شروع، خاتمه، طول، تعداد و خشک‌ترین روز دورهٔ خشک برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) تعیین، همچنین بر اساس طول دورهٔ خشک، با احتمالات ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد (شدت های خشکی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد)، بترتیب شکل‌های (۳)، (۴)، (۵) و (۶) کشور از طریق روش میان‌یابی Kriging به عنوان نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شد.

جدول ۲: نتایج پارامترهای دورهٔ خشک در ایستگاه‌های مورد مطالعه با شاخص DDSLR

ایستگاه	احتمال	شروع دورهٔ خشک	خاتمه دورهٔ خشک	خشک ترین روز دوره	ایستگاه	احتمال	شروع دورهٔ خشک	خاتمه دورهٔ خشک	خشک ترین روز دوره
اراک	٪۲۵	ژوئن۱۴	اکتبر۱۵	سپتامبر۳۰	رامسر	٪۲۵			جولای۳۰
	٪۵۰	می۳۰	اکتبر۲۳	اکتبر۱۴		٪۵۰			آگست۵
	٪۷۵	می۱۵	نوامبر۱۲	اکتبر۲۲		٪۷۵	ژوئن۱	سپتامبر۱۴	ژوئن۱۹
	٪۹۰	می۷	ژانویه۳۰	اکتبر۲۹		٪۹۰	مارس۹	اکتبر۱۵	جولای۱۱
اردبیل	٪۲۵			آگست۱۶	رشت	٪۲۵			آگست۳
	٪۵۰	ژوئن۲۷	سپتامبر۲۶	آگست۱۱		٪۵۰	جولای۱۴	جولای۲۸	جولای۱۹
	٪۷۵	ژوئن۱۵	اکتبر۱۲	سپتامبر۶		٪۷۵	ژوئن۱	آگست۲۲	جولای۲۸
	٪۹۰	ژوئن۵	مارس۸	سپتامبر۹		٪۹۰	فوریه۲۳	آگست۳۰	جولای۲۱
ارومیه	٪۲۵	جولای۲۰	سپتامبر۲۴	آگست۲۷	زابل	٪۲۵	آوریل۲۳	نوامبر۱۷	نوامبر۶
	٪۵۰	جولای۲	اکتبر۱۳	سپتامبر۱۹		٪۵۰	آوریل۸	ژانویه۱۳	نوامبر۱۷
	٪۷۵	ژوئن۵	نوامبر۶	اکتبر۳		٪۷۵	فوریه۹	فوریه۸	دسامبر۴
	٪۹۰	می۳۰	مارس۱۴	اکتبر۱۸		٪۹۰	فوریه۹	فوریه۸	ژانویه۹
اصفهان	٪۲۵	می۲۹	اکتبر۲۹	اکتبر۵	زاهدان	٪۲۵	می۱۶	دسامبر۳	اکتبر۱۴
	٪۵۰	می۱۶	نوامبر۱۸	اکتبر۲۹		٪۵۰	آوریل۱۵	ژانویه۱۳	نوامبر۳
	٪۷۵	آوریل۱۲	ژانویه۱۷	اکتبر۲۸		٪۷۵	ژانویه۳۱	ژانویه۲۸	دسامبر۳
	٪۹۰	آوریل۱	مارس۳۱	نوامبر۴		٪۹۰	ژانویه۱۸	ژانویه۱۷	نوامبر۱۵
انزلی	٪۲۵			آگست۱۰	زنجان	٪۲۵	آگست۲۷	سپتامبر۳۰	سپتامبر۲۶
	٪۵۰	جولای۸	آگست۶	آگست۱۰		٪۵۰	ژوئن۱۴	اکتبر۱۸	سپتامبر۲۸
	٪۷۵	آوریل۱	آگست۲۳	جولای۲۹		٪۷۵	ژوئن۱	نوامبر۷	سپتامبر۳۰
	٪۹۰	مارس۳۱	سپتامبر۲۶	جولای۱۸		٪۹۰	می۱۵	ژانویه۱۵	اکتبر۱۸
اهواز	٪۲۵	می۱۳	اکتبر۲۷	اکتبر۱۷	سبزوار	٪۲۵	ژوئن۱۵	اکتبر۲۰	سپتامبر۱۵
	٪۵۰	آوریل۱۶	نوامبر۷	نوامبر۲		٪۵۰	می۲۲	نوامبر۱۳	اکتبر۲۲
	٪۷۵	فوریه۲۵	دسامبر۳	نوامبر۱۱		٪۷۵	آوریل۲۰	دسامبر۸	اکتبر۲۹
	٪۹۰	دسامبر۱۱	دسامبر۱۰	دسامبر۳		٪۹۰	ژانویه۲۸	ژانویه۲۱	دسامبر۳
ایرانشهر	٪۲۵	آوریل۱۶	دسامبر۶	نوامبر۲۴	سقز	٪۲۵	ژوئن۲۱	اکتبر۲	سپتامبر۷
	٪۵۰	آوریل۹	ژانویه۱۸	دسامبر۲۷		٪۵۰	ژوئن۵	اکتبر۲۱	سپتامبر۳۰
	٪۷۵	فوریه۱	ژانویه۲۹	اکتبر۶		٪۷۵	می۱۹	نوامبر۴	اکتبر۱۴
	٪۹۰	فوریه۱۶	فوریه۱۵	دسامبر۲۷		٪۹۰	آوریل۲۲	ژانویه۱۹	اکتبر۱۴
آبادان	٪۲۵	می۲۱	اکتبر۲۹	اکتبر۲۶	سمنان	٪۲۵	ژوئن۱۷	سپتامبر۲۱	سپتامبر۱۳
	٪۵۰	آوریل۱۱	دسامبر۶	اکتبر۲۹		٪۵۰	می۲۳	دسامبر۵	سپتامبر۱۸
	٪۷۵	فوریه۱	دسامبر۱۶	اکتبر۲۸		٪۷۵	آوریل۱۱	فوریه۵	اکتبر۱۹

	٪۹۰	دسامبر۱۹	دسامبر۱۸	نوامبر۱۴		٪۹۰	دسامبر۱۸	دسامبر۱۷	نوامبر۲۹
بابلسر	٪۲۵			ژوئن۱۹	سنندج	٪۲۵	ژوئن۱۲	اکتبر۱۱	سپتامبر۱۹
	٪۵۰	می۹	ژوئن۲۹	ژوئن۱۹		٪۵۰	می۲۶	اکتبر۲۷	اکتبر۱۳
	٪۷۵	آوریل۳	سپتامبر۷	ژوئن۱۹		٪۷۵	می۱۸	نوامبر۴	اکتبر۱۳
	٪۹۰	فوریه۱۲	سپتامبر۱۹	جولای۲۹		٪۹۰	آوریل۲۵	ژانویه۱۴	اکتبر۲۹
بجنورد	٪۲۵	آگست۲۵	سپتامبر۱۶	سپتامبر۱۰	شاهرود	٪۲۵	ژوئن۲۹	سپتامبر۲۲	آگست۲۱
	٪۵۰	ژوئن۱۱	سپتامبر۲۹	سپتامبر۲۵		٪۵۰	ژوئن۱۵	نوامبر۳۰	سپتامبر۱۲
	٪۷۵	می۳۰	نوامبر۱۱	سپتامبر۸		٪۷۵	می۲۱	ژانویه۲۶	اکتبر۲۹
	٪۹۰	آوریل۱۷	ژانویه۲۸	سپتامبر۲۹		٪۹۰	آوریل۶	آوریل۵	نوامبر۱۲
بم	٪۲۵	می۱۸	دسامبر۶	اکتبر۱۶	شرق اصفهان	٪۲۵	می۲۶	اکتبر۳۱	اکتبر۵
	٪۵۰	آوریل۲۰	ژانویه۲۳	نوامبر۵		٪۵۰	می۱۶	دسامبر۳	اکتبر۲۹
	٪۷۵	مارس۲۴	مارس۲۳	دسامبر۲۵		٪۷۵	آوریل۱۰	ژانویه۲۶	اکتبر۲۸
	٪۹۰	ژانویه۲۸	ژانویه۲۷	دسامبر۲۷		٪۹۰	مارس۳۰	مارس۲۹	دسامبر۱۱
بندر عباس	٪۲۵	آوریل۱۳	دسامبر۴	نوامبر۶	شیراز	٪۲۵	آوریل۱۳	اکتبر۵	سپتامبر۱۵
	٪۵۰	فوریه۲۸	دسامبر۱۵	نوامبر۳۰		٪۵۰	مارس۲۲	نوامبر۲	اکتبر۴
	٪۷۵	دسامبر۱	نوامبر۳۰	دسامبر۴		٪۷۵	مارس۷	نوامبر۲۳	اکتبر۳۱
	٪۹۰	دسامبر۱	نوامبر۳۰	دسامبر۴		٪۹۰	دسامبر۱۱	دسامبر۱۰	نوامبر۱۱
بندرلنگه	٪۲۵	آوریل۱۵	نوامبر۲۷	نوامبر۲	فسا	٪۲۵	می۱۵	نوامبر۱۷	اکتبر۳
	٪۵۰	ژانویه۲۹	ژانویه۱۸	نوامبر۲۲		٪۵۰	آوریل۱۲	دسامبر۵	دسامبر۱
	٪۷۵	ژانویه۱۹	ژانویه۱۸	نوامبر۸		٪۷۵	آوریل۲	ژانویه۱۳	دسامبر۱۱
	٪۹۰	فوریه۲۵	فوریه۲۴	دسامبر۴		٪۹۰	ژانویه۱۶	ژانویه۱۵	ژانویه۸
بوشهر	٪۲۵	آوریل۱۹	نوامبر۳	اکتبر۲۲	قزوین	٪۲۵	ژوئن۱۷	اکتبر۹	اکتبر۶
	٪۵۰	فوریه۲۸	نوامبر۱۱	اکتبر۲۷		٪۵۰	ژوئن۷	اکتبر۲۰	اکتبر۶
	٪۷۵	فوریه۸	دسامبر۱۱	نوامبر۱۲		٪۷۵	می۲۱	دسامبر۷	اکتبر۱۳
	٪۹۰	ژانویه۱۹	ژانویه۱۶	اکتبر۳۰		٪۹۰	فوریه۲۶	فوریه۳	اکتبر۲۰
بیرجند	٪۲۵	می۲۹	اکتبر۲۷	اکتبر۱۴	کاشان	٪۲۵	ژوئن۷	اکتبر۲۶	اکتبر۸
	٪۵۰	می۱۷	دسامبر۴	اکتبر۲۲		٪۵۰	می۲۰	نوامبر۱۱	اکتبر۲۶
	٪۷۵	آوریل۱۲	ژانویه۱۳	نوامبر۱۴		٪۷۵	آوریل۱۰	ژانویه۱۶	نوامبر۵
	٪۹۰	فوریه۱۱	ژانویه۱۶	نوامبر۲۴		٪۹۰	ژانویه۵	ژانویه۴	اکتبر۲۶
تبریز	٪۲۵	جولای۲۸	سپتامبر۱۴	سپتامبر۷	کرمان	٪۲۵	می۲۶	نوامبر۱۲	اکتبر۶
	٪۵۰	ژوئن۲۳	اکتبر۱۲	سپتامبر۱۱		٪۵۰	آوریل۲۶	دسامبر۶	نوامبر۶
	٪۷۵	ژوئن۵	نوامبر۲	سپتامبر۳۰		٪۷۵	آوریل۱۰	مارس۱۶	نوامبر۶
	٪۹۰	می۱۹	مارس۹	سپتامبر۳۰		٪۹۰	مارس۳۱	مارس۲۴	دسامبر۱۱
تربت حیدریه	٪۲۵	ژوئن۱۳	نوامبر۸	سپتامبر۲۱	کرمانشاه	٪۲۵	ژوئن۸	اکتبر۱۳	سپتامبر۲۲
	٪۵۰	می۲۳	نوامبر۱۵	نوامبر۷		٪۵۰	می۲۳	اکتبر۲۵	اکتبر۱۳
	٪۷۵	آوریل۲۳	دسامبر۳۱	نوامبر۸		٪۷۵	می۲۰	نوامبر۷	اکتبر۲۷
	٪۹۰	آوریل۷	مارس۳۰	نوامبر۲۹		٪۹۰	آوریل۲۲	ژانویه۳	نوامبر۶
تهران	٪۲۵	ژوئن۱۴	اکتبر۱۵	سپتامبر۱۴	کیش	٪۲۵	آوریل۱۴	نوامبر۲۶	اکتبر۳۱
	٪۵۰	می۳۰	اکتبر۲۵	اکتبر۱۵		٪۵۰	فوریه۸	ژانویه۱۶	نوامبر۱۵
	٪۷۵	می۱۶	نوامبر۳۰	اکتبر۲۱		٪۷۵	دسامبر۲۲	دسامبر۲۱	دسامبر۱۷
	٪۹۰	آوریل۵	مارس۲۶	نوامبر۱۲		٪۹۰	ژانویه۲۳	ژانویه۲۲	ژانویه۱۳
جاسک	٪۲۵	آوریل۱۴	نوامبر۲۳	نوامبر۱۳	گرگان	٪۲۵			ژوئن۱۹
	٪۵۰	آوریل۱	ژانویه۱۶	نوامبر۳۰		٪۵۰	جولای۲۷	آگست۱۷	آگست۱۲

	٪۷۵	ژانویه۲۰	ژانویه۱۹	دسامبر۹		٪۷۵	ژوئن۱	سپتامبر۱۶	آگست۳۱
	٪۹۰	ژانویه۲۶	ژانویه۲۵	نوامبر۱۱		٪۹۰	آوریل۲۲	نوامبر۱۰	سپتامبر۹
چابهار	٪۲۵	آوریل۴	دسامبر۲	اکتبر۱۶	مشهد	٪۲۵	ژوئن۱۸	اکتبر۱۴	سپتامبر۲۱
	٪۵۰	ژانویه۲۶	ژانویه۲۴	نوامبر۳۰		٪۵۰	ژوئن۱۱	نوامبر۱۳	سپتامبر۲۲
	٪۷۵	مارس۲۶	مارس۲۵	دسامبر۲		٪۷۵	می۱۷	دسامبر۶	اکتبر۳۱
	٪۹۰	مارس۱۹	مارس۲۰	مارس۲		٪۹۰	آوریل۲۲	مارس۱۳	اکتبر۲۹
خرم آباد	٪۲۵	ژوئن۱	اکتبر۱۷	اکتبر۷	همدان فرودگاه	٪۲۵	ژوئن۱۳	اکتبر۱۴	سپتامبر۱۹
	٪۵۰	می۲۶	اکتبر۲۷	اکتبر۱۴		٪۵۰	ژوئن۷	اکتبر۲۳	اکتبر۵
	٪۷۵	می۱۳	نوامبر۱۰	اکتبر۲۴		٪۷۵	می۲۱	نوامبر۱۰	اکتبر۱۹
	٪۹۰	فوریه۲۷	ژانویه۳	نوامبر۲		٪۹۰	می۱۰	ژانویه۱۵	اکتبر۲۰
خوی	٪۲۵			جولای۲۷	نوشهر	٪۲۵			جولای۳۱
	٪۵۰	جولای۱۶	سپتامبر۳۰	سپتامبر۱۲		٪۵۰	جولای۲۸	جولای۳۱	جولای۳۱
	٪۷۵	ژوئن۱۴	نوامبر۱	سپتامبر۹		٪۷۵	می۳۱	سپتامبر۶	جولای۲۸
	٪۹۰	می۲۸	آوریل۷	سپتامبر۳۰		٪۹۰	آوریل۲	سپتامبر۱۵	سپتامبر۱
دزفول	٪۲۵	می۲۶	اکتبر۲۵	اکتبر۱۵	همدان نوژه	٪۲۵	جولای۲	اکتبر۱۲	اکتبر۱
	٪۵۰	می۱۰	نوامبر۳	اکتبر۲۵		٪۵۰	ژوئن۷	اکتبر۲۴	اکتبر۱
	٪۷۵	آوریل۱۲	نوامبر۳۰	نوامبر۴		٪۷۵	می۲۲	نوامبر۹	اکتبر۱۴
	٪۹۰	فوریه۱۵	ژانویه۲۸	نوامبر۶		٪۹۰	می۴	ژانویه۱۳	اکتبر۲۰
دوشان	٪۲۵	ژوئن۱۷	اکتبر۶	سپتامبر۱۳	یزد	٪۲۵	می۲۵	نوامبر۱۵	اکتبر۱۳
	٪۵۰	ژوئن۵	اکتبر۲۶	اکتبر۳		٪۵۰	آوریل۱۴	دسامبر۱۹	نوامبر۱۰
	٪۷۵	می۲۱	نوامبر۳۰	اکتبر۱۸		٪۷۵	ژانویه۲۴	ژانویه۲۳	دسامبر۸
	٪۹۰	آوریل۶	فوریه۱۸	نوامبر۱۲		٪۹۰	فوریه۳	فوریه۲	دسامبر۱۷

- نتایج بررسی‌های آماری نشان می‌دهد بر اساس احتمال خشکی ۲۵ درصد (شدت خشکی کم)، سواحل جنوبی دریای خزر و بخشهای مهمی از استانهای اردبیل و آذربایجان شرقی بدون دوره خشکی نمایان می‌شوند. حداکثر طول دورهٔ خشکی براساس احتمال ۲۵ درصد مربوط به سواحل دریای عمان و بطور کلی جنوب‌شرق کشور می‌باشد. شروع دورهٔ خشکی در این منطقه معمولا بسیار زودتر و حوالی ۴ آوریل شروع می‌شود در حالی که در نوار شمالی کشور دورهٔ خشکی اصولا دیرتر تا اواخر آگست به تاخیر می‌افتد. دورهٔ خشکی مناطق شمالی نیز بسیار زودتر از جنوبشرق کشور خاتمه می‌یابد. نوار شمالی کشور تا سپتامبر دورهٔ خشکی بسیار کوتاه مدت خود را سپری می‌کنند در حالی که دورهٔ خشکی جنوب‌شرق کشور از جمله ایستگاه‌های شاخص ایرانشهر و چابهار تا دسامبر به تاخیر می‌افتد. شدیدترین روز خشک در جنوب و جنوب‌شرق ایران رخ می‌دهد بطوریکه ایستگاه جاسک با ۲۱۴ روز فاصله از آخرین روز بارانی، شدیدترین روز خشکی را در طول سال تجربه می‌کند. در اکثریت قریب به اتفاق ایستگاها فقط یک دورهٔ خشکی شناسایی گردید.

- بر اساس احتمال خشکی ۵۰ درصد (شدت خشکی متوسط) بخشهای گسترده‌ای از سواحل شمالی کشور کوتاه‌ترین دورهٔ خشکی را دارا هستند؛ حتی ایستگاه شاخص رامسر در استان مازندران بدون دورهٔ خشک است. این در حالی است که با همین احتمال ایستگاه چابهار در منتهی الیه جنوبشرق ایران به عنوان نماینده بیشینه شرایط خشکی در

بین ایستگاههای موجود در تمام سال یعنی ۳۶۵ روز دورهٔ خشکی را تجربه می‌کند. شروع دورهٔ خشکی چابهار در ۲۶ ژانویه است ولی ایستگاه نوشهر در شمال ایران در ۲۸ ژوئیه است که بسیار دیرتر شروع می‌شود. خشکترین روز دوره براساس همین احتمال در اکثریت ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماههای اکتبر و نوامبر رخ می‌دهد. ایستگاه کیش با ۲۴۱ روز تا روز بارانی خود شدیدترین روز خشکی را به نمایش می‌گذارد. اگر چه اکثریت ایستگاه‌های مورد مطالعه یک دورهٔ خشکی را نشان می‌دهند ولی ایستگاه‌های بم و جاسک دو دورهٔ خشک را به نمایش می‌گذارند. با این وجود ایستگاه رامسر هیچ دورهٔ خشک را نشان نمی‌دهد.

- بر اساس نتایج تحلیل آماری با احتمال خشکی ۷۵ درصد (شدت خشکی زیاد) هیچ منطقه‌ای از ایران فاقد دورهٔ خشک نیست. حتی سواحل مرطوب شمالی کشور نیز دارای دورهٔ خشکی هستند. بطور مثال ایستگاه رشت نیز دارای یک دورهٔ ۸۳ روزهٔ خشک است. مناطق شرق، مرکز و جنوب ایران تقریبا یک دور ۀ خشک ۳۶۵ روزه (تمام طول سال) را به نمایش می‌گذارند. دورهٔ خشکی این مناطق از حوالی دسامبر آغاز شده و تقریبا تا نوامبر به طول می‌کشد. در مناطق شمالغربی و بخشهایی از شمال کشور، دورهٔ خشک از ماه ژوئن شروع می‌شود. اکثریت ایستگاهها در حوالی ماه اکتبر خشکترین روز را تجربه می‌کنند. ایستگاه چابهار با ۲۷۱ روز فاصله از روز بارانی، شدیدترین روز خشک را به نمایش می‌گذارد. بیشتر ایستگاهها بر اساس همین احتمال یک دورهٔ خشک طولانی را نشان می‌دهند ولی تعداد کمی از ایستگاهها ۲ دوره و فقط ایستگاه خوی ۳ دوره خشک (کوتاه) را نشان می‌دهد.

- بر اساس تحلیل آماری احتمال خشکی ۹۰ درصد (شدت خشکی خیلی زیاد) هیچ نقطه‌ای از ایران فاقد دورهٔ خشک نیست. حتی سواحل مرطوب جنوب دریای خزر هم دارای دوره‌های خشک نسبتا طولانی هستند. مثلا ایستگاه نوشهر یک دوره خشکی حداقل ۱۶۶ روزه را تجربه می‌کند. بیشتر ایستگاههای جنوب، شرق، مرکز ایران دور ۀ خشکی تمام سال را تجربه می‌کنند. ایستگاههای جنوبشرق و جنوب ایران زودتر از بقیه مناطق دورهٔ خشک را آغاز می‌کنند. آغاز دورهٔ خشکی در بندرعباس روز اول دسامبر و در اردبیل با حدود ۶ ماه تاخیر در ژوئن رخ می‌دهد. خاتمه دوره خشکی ایستگاههای شمالغرب ایران از جمله ایستگاه خوی در آوریل رخ می‌دهد. خشکترین روزهای دورهٔ خشکی ایستگاههای مورد مطالعه نیز عموما در بین اکتبر و نوامبر رخ می‌دهد. جنوبشرق ایران شدیدترین دورهای خشکی را تجربه می‌کنند. چابهار با ۳۶۲ روز فاصله از روز بارانی شدیدترین روز خشک را به نمایش می-گذارد. در اغلب ایستگاههای مورد مطالعه فقط یک دوره خشک مشاهده می‌شود ولی در برخی از ایستگاههای غرب و شمالغرب ۲ دوره و در سواحل شمالی کشور حتی ۳ و ۴ دوره (کوتاه) نیز مشاهده می‌شود.

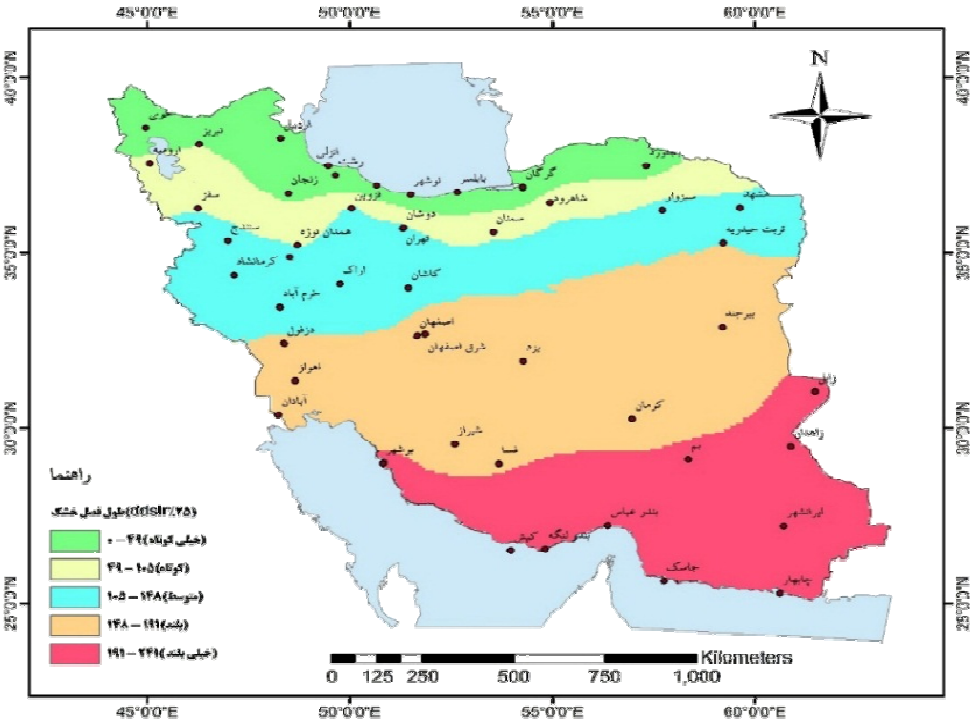
نتایج و بحث

اشکال ۳ تا ۶ پهنه‌بندی ایران را بر اساس طول فصل خشک با شاخص DDSLR نشان می‌دهند. دامنهٔ طبقات پهنه-بندی با استفاده از روش «شکست‌های طبیعی[1]» در نرم افزار ArcGIS تعیین شده است. همانطور که نقشه‌ها نشان

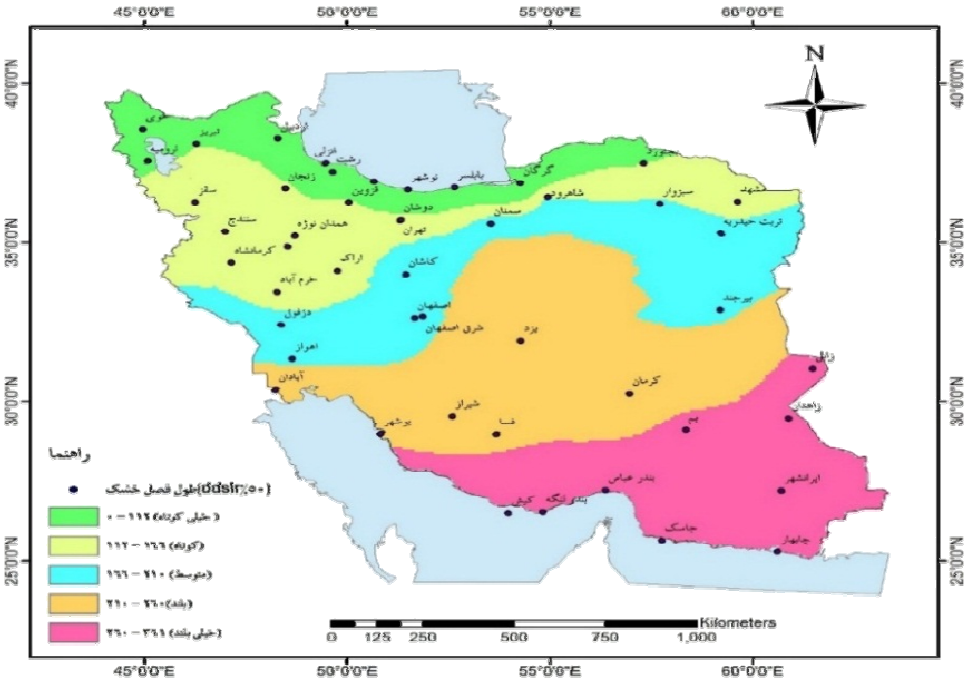
[1] - Natural breaks

می‌دهند تمامی کشور به ۵ قسمت تقسیم شده است که از شمال به جنوب شرقی طول دورهٔ خشک افزایش می‌یابد و این افزایش با بالا رفتن عدد احتمال؛ یعنی از احتمال ۲۵ درصد (شکل ۳) به ۹۰ درصد (شکل ۶)، بیشتر شده و بر وسعت ناحیهٔ خشک‌تر افزوده می‌شود؛ به عبارت دیگر از وسعت ناحیه با طول دورهٔ خشک خیلی کوتاه (نوار شمالی و شمالغربی کشور) کاسته و به ناحیه با طول دورهٔ خشک بلند و خیلی بلند (جنوب و جنوب شرقی و مرکز) افزوده می‌شود. مقایسه پهنه‌های شکل گرفته در شکل ۳ (احتمال ۲۵ درصد) با شکل ۶ (احتمال ۹۰ درصد) که اولی به معنای شدت خشکی کم و دومی به معنای شدن خشکی خیلی زیاد است نشان از تغییرات قابل توجهی در پهنه‌ها دارد. شاید مهمترین تغییرات مکانی توزیع طول دورهٔ خشکی در ایران مربوط به نواحی شمالغرب کشور، چرا که بخش اعظم شمالغرب ایران بر اساس احتمال ۲۵ درصد در محدودهٔ دوره خشکی خیلی کوتاه قرار دارد در حالی که با احتمال ۹۰ درصد بخش عمده ای از این مناطق در طبقهٔ دورهٔ خشکی کوتاه قرار می‌گیرد. همچنین تاکید بر این نکته نیز ضروری است که در تحلیل با احتمال ۲۵ درصد فقط بخش نسبتاً کوچکی از کشور (بخشهایی از جنوب و جنوبشرق کشور) در طبقه دارای دورهٔ خشک خیلی بلند قرار می گیرند در حالیکه با افزایش احتمال محاسباتی این پهنه گسترده‌تر شد و با احتمال ۹۰ درصد به حدود نصف پهنه تمام سرزمین ایران می‌رسد(جدول ۳).

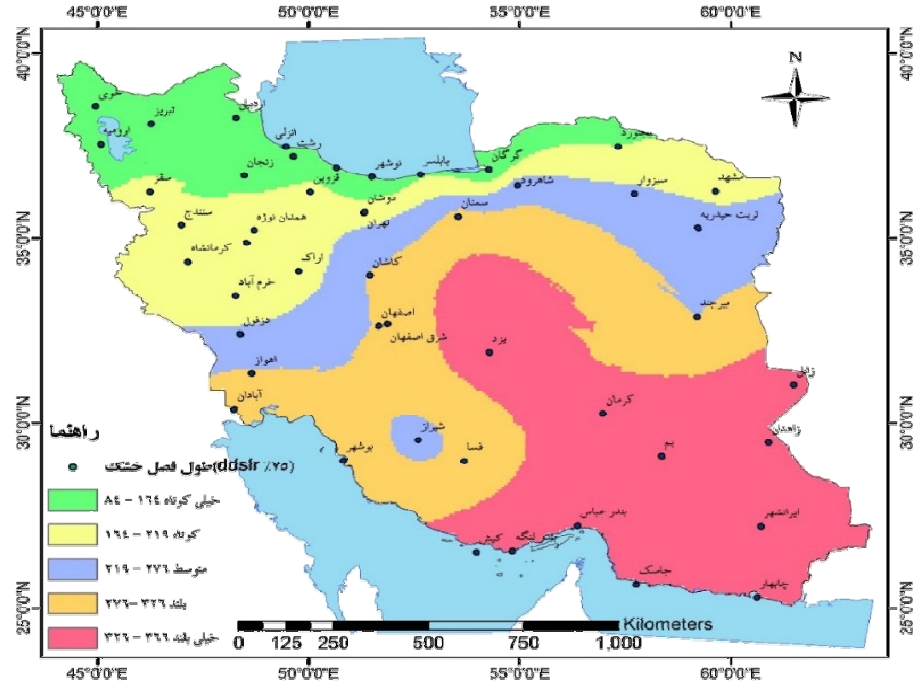
مساحت تحت پوشش هر کدام از پهنه‌ها (شکل‌های ۳ تا ۶) در جدول (۳) بصورت درصد ارائه شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که بطور متوسط حدود ۹ درصد مساحت کشور در معرض دوره‌های خشک بسیار کوتاه مدت قرار دارد. حدود ۱۴ درصد از مساحت کشور در معرض شرایط خشک کوتاه مدت، ۱۷ درصد در معرض شرایط خشک متوسط، ۲۸ درصد در معرض شرایط خشک طولانی مدت و ۳۲ درصد نیز در معرض شرایط خشک خیلی طولانی مدت قرار دارد. لازم به ذکر است با افزایش سطح احتمال، از میزان وسعت پهنه های مربوط به دوره های خشک کوتاه و زودگذر کاسته و بر وسعت دوره‌های خشک طولانی‌مدت و ماندرگارتر در کشور افزوده می‌شود.



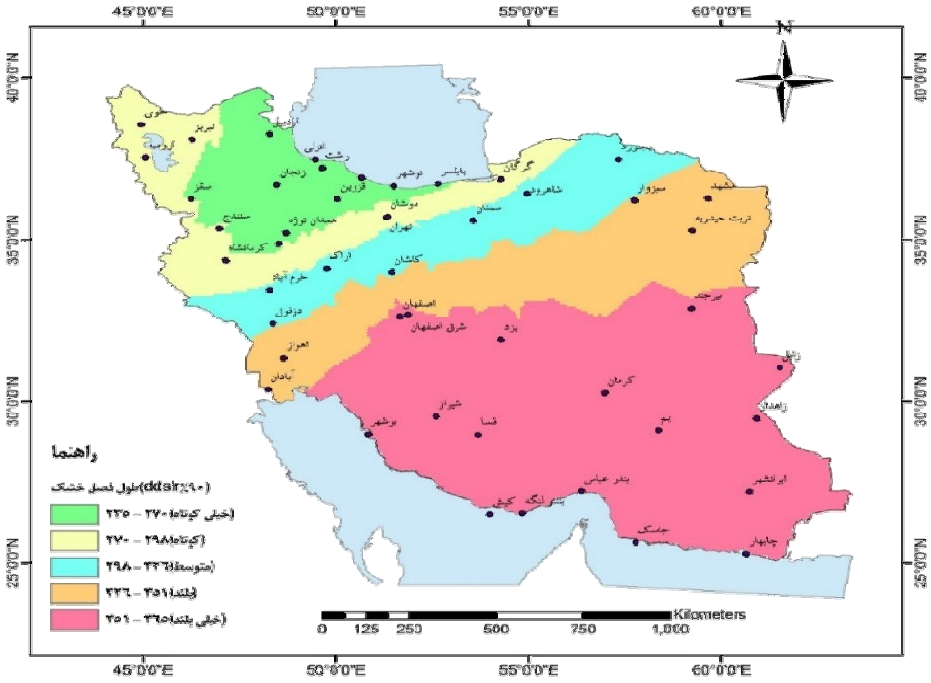
شکل۳: پهنه‌بندی ایران براساس طول دورهٔ خشک با شاخص $DDSLR_{\%25}$



شکل۴: پهنه‌بندی ایران براساس طول دورهٔ خشک با شاخص $DDSLR_{\%50}$



شکل ۵: پهنه‌بندی ایران براساس طول دورهٔ خشک با شاخص $DDSLR_{\%75}$



شکل ۶: پهنه‌بندی ایران براساس طول دورهٔ خشک با شاخص $DDSLR_{\%90}$

جدول ۳: وسعت پهنه های خشک اقلیمی ایران در سطوح احتمال مختلف

ویژگی‌ها / احتمال	دورهٔ خشک بسیار کوتاه مدت	دورهٔ خشک کوتاه مدت	دورهٔ خشک متوسط	دورهٔ خشک طولانی مدت	دورهٔ خشک بسیار طولانی مدت
۲۵٪ (خوش بینانه)	٪۹	٪۹	٪۲۲	٪۳۶	٪۲۳
۵۰٪ (متوسط)	٪۹	٪۱۹	٪۲۰	٪۳۱	٪۲۱
۷۵٪ (بدبینانه)	٪۱۱	٪۱۶	٪۱۴	٪۲۵	٪۳۴
۹۰٪ (بسیار بدبینانه)	٪۸	٪۱۱	٪۱۳	٪۱۹	٪۴۹
درصد کل	٪۹	٪۱۴	٪۱۷	٪۲۸	٪۳۲

نتیجه‌گیری

برای محاسبهٔ پدیده اقلیمی خشکی و پارامترهای آن از جمله طول دوره‌های خشک از شاخص‌ها و روشهای گوناگونی استفاده شده است. در این مطالعه از شاخص "روزهای خشک بعد از آخرین روز بارش" (DDSLR) استفاده شده است که اساساً توسط استرن و همکاران(۱۹۸۲) و کوتیل (۱۹۸۵) مطرح و تغییراتی در طول زمان در آنها داده شده است. این شاخص به ویژه در مسائل کشاورزی و ژئومورفولوژی اهمیت زیادی دارد.

این مطالعه نشان داد که سواحل دریای خزر و بخشهای مهمی از استانهای شمالغربی دارای کوتاه‌ترین دورهٔ خشکی و بخشهای جنوبی و جنوبشرقی دارای طولانی‌ترین دورهٔ خشکی هستند؛ یعنی هر چه از شمال کشور به طرف جنوب پیش می‌رویم به طول دورهٔ خشکی اضافه می‌گردد. در احتمال خوشبینانه (۲۵ درصد) سواحل دریای خزر و بخشهای مهمی از استانهای شمالغربی کشور شاهد دورهٔ خشکی نخواهند بود در حالیکه بر اساس احتمال بسیار بدبینانه (۹۰ درصد) هیچ نقطه‌ای از ایران حتی سواحل مرطوب شمالی ایران دورهٔ بدون خشکی نخواهند داشت و بسیاری از ایستگاههای جنوبی و جنوبشرقی ایران تمامی سال خشک می‌باشند. همچنین شروع دورهٔ خشکی براساس تمامی احتمالات چهارگانه در بخشهای جنوبی و جنوبشرقی کشور زودتر از سایر مناطق، در احتمال خوشبینانه (۲۵ درصد) اوایل آوریل و در احتمال بسیار بدبینانه (۹۰ درصد) تا اوایل دسامبر شروع زودتری دارند. خاتمهٔ دوره‌های خشکی نیز در سواحل دریای خزر زودتر از سایر مناطق، در احتمال خوشبینانه (۲۵ درصد) اواخر ژوئن و در احتمال بسیار بدبینانه (۹۰ درصد) تا اواخر آگست به تاخیر می‌افتد. براساس وضعیت خوشبینانه حداقل یک دوره خشک و وضعیت بسیار بدبینانه در برخی از ایستگاهها و مناطق بین ۱ تا ۴ دوره خشک اقلیمی نیز شناسایی شد. خشکترین روز دوره در اکثر ایستگاهها در ماه اکتبر اتفاق می‌افتد. نتایج حاصل از این پژوهش تا حدودی تایید کننده کار محمدی و همکاران (۱۳۹۲) است که از طریق فیلتر کردن بارش در سه آستانه، پارامترهای بارش را تعیین کردند. نتایج کار مخصوصاً در آستانهٔ ۱ میلیمتر با یافته‌های این پژوهش (احتمال ۵۰ درصد) شباهت زیادی دارد؛ بطوریکه نوار شمالی کشور کمترین طول دورهٔ خشکی و جنوب شرقی بیشترین و طولانی‌ترین دورهٔ خشکی مربوط به چابهار و کوتاترین مربوط به انزلی می‌باشد. پژوهش کوچکی و همکاران (۱۳۸۶) در مقایسه با نتایج این پژوهش از نظر میانگین طول

دوره خشکی در ایستگاههای مختلف تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد؛ بیشترین اختلاف این دو پژوهش مربوط به ایستگاه‌های سواحل شمالی ایران است.

منابع

انصاری حسین، داوری کامران، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی دورهٔ خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS مطالعه موردی خراسان، پژوهش‌های جغرافیایی، صص۹۷-۱۰۸.

ذوالفقاری حسن، مجرد فیروز، میرزایی مجتبی، (۱۳۹۴)، عدم اعتماد به بارندگی در ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۸، صص۲۰۷-۲۲۹.

علیزاده، امین، (۱۳۸۹) ، اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات: دانشگاه امام رضا. چاپ ۲۹. ویرایش۵.

فرج زاده، منوچهر، (۱۳۸۴). خشکسالی از مفهوم تا راهکار. انتشارات: سازمان جغرافیایی و وزارت دفاع و پشتیبانی.

کاویانی، محمد رضا، علیجانی بهلول، (۱۳۸۲)، مبانی آب وهواشناسی. انتشارات: سمت. چاپ نهم.

کهربائیان پروین، ایرانمنش انیس، محمدی حسین، (۱۳۹۲) ، کاربرد مدل زنجیرهٔ مارکوف و توزیع نرمال در تعیین احتمال وقوع دوره‌های خشکی و ترسالی مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۰ صص۱۸۱-۱۹۶.

کوچکی علیرضا، نصیری مهدی، کمالی غلامعلی، (۱۳۸۶)، مطالعهٔ شاخص‌های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۵ شماره ۱، صص۱۳۳-۱۴۲.

مسعودیان، ابوالفضل، کاویانی، محمد رضا، (۱۳۸۷)، اقلیم شناسی ایران. انتشارات: دانشگاه اصفهان.

محمودی پیمان، پروین نادر، رضایی، جبار، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی ایران بر اساس طول دوره‌های خشک، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱۳، صص۸۵-۱۰۶.

Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Maheras, P., Reiser, H & Kutiel, H. (2008). Quantifying uncertainties in precipitation: a case study from Greece. Adv Geosci, 16, 19–26.

Aviad, Y., Kutiel, H & Lavee, H. (2009). Variation of Dry Days Since Last Rain (DDSLR) as a measure of dryness along a Mediterranean— arid transect. J Arid Environ, 73, 658–665.

Deka, S., Borah, M & Kakaty, S.C. (2010). Statistical modeling of wet and dry spell frequencies over North-East India. Journal of Applied and Natural Science 2(1): 42-47.

Deni, S.M., Jemain, A.A, & Ibrahim, K. (2010). The best probability models for dry and wet spells in Peninsular Malaysia during monsoon seasons. Int. J. Climatol. 30: 1194–1205.

Giuseppe, E.D., Vento, D., Epifani, C & Esposito, S. (2005). Analysis of dry and wet spells from 1870 to 2000 in four Italian sites. Geophysical Research Abstracts, 7: 1-6.

Hardy, J. (2003). Clamate change, Causes, Effects and solutiond, Johan Wiley sons. Ltd, pp. 39.

Kutiel, H. (1985). The multimodality of the rainfall course in Israel, as reflected by the distribution of dry spells. Arch Meteoro Geophysics Bioclimatol 36:15–27.

Lana X., Martinez, M.D., Burgeno, A & Serra, C. (2008). Return period maps of dry spells for Catalonia (northeastern Spain) based on the Weibull distribution. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 53(1) February 2008.

Lopez-Franca, N., Sanchez, E., Romera, R & Dominguez, M. (2013). Dry spells analysis over the Mediterranean basin for present climate and climate change conditions using ENSEMBLES regional climate models. Física de la Tierra Vol. 25 (2013) 41-55.

Mathugama, S.C & Peiris, T.S.G. (2011). Critical Evaluation of Dry Spell Research. International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS Vol: 11 No: 06.

Mart´ın-Vide, J & Gomez, L. (1999). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells. Int. J. Climatol. 19: 537–555.

Paz, S. & Kutiel H. (2003). Rainfall regime uncertainty (RRU) in an eastern Mediterranean region – a methodological approach. Israel J Earth Sci, 52, 47–63.

Reiser, H & Kutiel, H. (2006). Rainfall uncertainty in the Mediterranean: Definition of the rainy season – a methodological approach;Theor. Appl. Climatol. 94:35-49.

Reiser, H & Kutiel, H. (2009). Rainfall uncertainty in the Mediterranean: definitions of the daily rainfall threshold (DRT) and the rainy season length (RSL);Theor Appl Climatol., 97, 151-162.

Reiser, H & Kutiel, H. (2010). Rainfall uncertainty in the Mediterranean: dryness distribution. Theor Appl Climatol, 100, 123–135.

Ruiz-Sinoga, J.D., Garcia-Marin, R., Gabarron-Galeote, M.A & Martinez-Murillo, J. F. (2012). Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain. Int. J. Climatol. 32: 1558–1571.

Stern, R.D., Dennett, M.D & Dale, I.C. (1982). Analysing daily rainfall measurements togive agronomically useful results. I. Direct methods. Experimental Agriculture18, 223–236.

Tennant, W.J & Hewitson, B.C. (2002). Intra-seasonal rainfall characteristics and their importance to the seasonal prediction problem. Int J Climatol 22:1033–1048.

Vicente -Serrano, S.M & Begueria-Portugues, S. (2003). Estimating extreme dry-spell risk in the middle Ebro valley (northeastern Spain): a comparative analysis of partial duration series with a general Pareto distribution and annual maxima series with a Gumbel distribution. Int. J. Climatol. 23, 1103-1118.

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۷/۲۵

صفحات: ۳۶-۱۹

بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن۹۲ در ایران با تاکید بر نقش پدیده بلاکینگ

فاطمه درگاهیان*[۱]، بهلول علیجانی[۲]

چکیده

پدیده بلاکینگ می‌تواند در رخداد برخی از مخاطرات جوی و اقلیمی خسارت زا موثر باشد. به منظور بررسی نقش رخداد بلاکینگ در بارش برف سنگین و مداوم ۱۱ تا ۱۶ بهمن ۹۲، داده های مربوط به میانگین فشار سطح دریا ،۸۵۰ ، ۵۰۰ ،۳۰۰ ، نقشه ضخامت، موقعیت خط همدمای صفر درجه در سطح زمین، مولفه مداری سرعت باد، مولفه نصف النهاری سرعت باد، امگا، رطوبت نسبی، و دمای پتانسیل از سایت NCEP دریافت و در نر م افزار Gradsترسیم و تجزیه و تحلیل شد. بررسی نقشه های سینوپتیکی نشان داد که ایران تحت تاثیر تراف قوی و عمیق سمت راست بلاکینگ امگا با یک پشته بسیار قوی تا عرض‌های ۷۰ درجه شمالی، واقع شده است. استقرار مرکز پرفشار قوی در شمال دریای خزر و ریزش هوای سرد از عرض های بالا منجر به ایجاد شرایط دمایی ویژه در سطح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکالی شده و کسب رطوبت زیاد از دریای خزر شرایط را برای ریزش برف سنگین فراهم نموده است. با توجه به ماهیت شبه ایستور بودن و تداوم بلاک امگایی قوی، برای۶ روز متوالی در اکثر نقاط ایران بارش برف سنگین و خسارت زا ثبت و گزارش گردید. بررسی مولفه های دینامیکی نیز نشان داد که در زمان بلوغ بلاکینگ این مولفه ها به اوج شدت خود رسیده و منجر به برف سنگین در بیشتر نقاط کشور گردید. شناسایی سیستم های بلاکینگ منجر به بارش برف سنگین با استفاده از نقشه های پیش یابی و صدور پیش آگاهی های بموقع می‌تواند به برنامه ریزان و تصمیم گیران مناطق تحت تاثیر، جهت آمادگی و پیشگیری از خسارات بیشتر کمک کند.

واژگان کلیدی: برف سنگین، بلاکینگ امگا، شرایط سینوپتیک، مولفه های دینامیکی

۱- استادیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی(نویسنده مسئول) fatemeh.dargahian@gmail.com

۲- استاد، گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، مدیر قطب علمی مخاطرات محیطی bralijani@gmail.com

مقدمه

از زمستان سال۱۳۸۳ و تا حدودی۱۳۸۶ تا بهمن ماه سال۹۲ بارش برف سنگین و مداوم با پراکنش فضایی گسترده در کل پهنه کشور رخ نداده بود. وقوع بارش‌های برف مکرر در زمستان۹۲ نسبت به چند سال گذشته در کشور، آن را از سال‌های دیگر متمایز کرده است؛ اما از بین رخدادهای برف زمستان۹۲، بارش برف ۱۳۹۲/۱۱/۱۱ تا۱۳۹۲/۱۱/۱۶ از تداوم و سنگینی بیشتری برخوردار بود و دامنه وسعت آن ۲۳ استان کشور را در بر گرفت؛ به طوری که در برخی از روزهای استقرار این سیستم در ۱۰۲ ایستگاه سینوپتیک کشور به طور همزمان بارش برف گزارش شد.

چندین مورد بارش برف در زمستان۹۲ اتفاق افتاد که ناشی از عبور سیستم های مهاجر بادهای غربی بود و یکی دو روز بیشتر دوام نداشتند؛ اما برف۱۱تا ۱۶ بهمن ماه به علت استقرار یک بلاکینگ بزرگ مقیاس و قوی که مرکز آن در منطقه بیشینه رخداد بلاکینگ، اطلس - اروپا، بود به علت ماهیت شبه ایستور بودن و حرکت بسیار کند به سمت غرب برای یک هفته آن را از سایر رخداد ها متمایز نمود و منجر به یکی از نادر ترین، گسترده تری و سنگین ترین بارش‌های برفی در کشور گردید؛ که نه تنها عوامل ستاد بحران کشور بلکه نیروهای لشگری را نیز به امداد طلبید. با توجه به شرایط و عوامل محیطی شدت برف در برخی استان‌ها مانند مازندران (غرب استان) و گیلان (شرق استان) بیشتر بود به طوری که نه تنها شمال کشور بلکه اکثر نقاط کشور بی سابقه ترین برف نیم قرن اخیر را تجربه کردند. کاهش دما بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در نتیجه یخ زدگی لوله های آب آشامیدنی، قطع برق، افت شدید فشار گاز و مشکل تامین نان، رخداد این پدیده را به یک بحران تبدیل کرد.

سیستم های پرفشار دینامیک مهاجر که از قطب و اروپا وارد ایران می‌شوند می‌توانند در صورت فراهم بودن سایر شرایط، منجر به رخداد برف سنگین شوند اما نمی‌تواند منجر به بارش برف مداوم شوند زیرا ریزش برف سنگین و مداوم تنها در شرایط خاصی امکان پذیر است که در این پژوهش به طور موردی بررسی شده است. در بررسی رخداد برف های سنگین و مداوم کشور پرفشار سیبری نقش برجسته داشته است. این سیستم پرفشار قوی‌ترین سامانه پرفشار در نیمکره شمالی در فصل زمستان است که با گسترش به عرض های پایین تر و عبور از روی آب‌های گرم، زمینه برای ناپایدار شدن آن فراهم می‌شود. این پرفشار با عبور از دریای خزر و گرفتن رطوبت، در فصل پاییز بارش‌های خوب و در فصل زمستان در صورت فراهم بودن سایرشرایط برف های سنگینی را به ویژه در سواحل شمالی ایران ایجاد می کند. در رخداد برف بهمن ۹۲ پرفشار سیبری با مرکزیت فشاری۱۰۵۰بر روی شمال دریای خزر زبانه های خود را به سمت جنوب خود ارسال کرد و ریزش هوای سرد از عرض‌های بسیار بالا سبب افزایش فشار و تقویت پرفشار سیبری شد این پرفشار با عبور از روی دریای خزر که شرایط دمایی بیشتری از هوا دارد، سبب کسب رطوبت زیاد ی شده و وجود ناوه عمیق در تراز بالایی جو جریان های صعودی را تقویت کرد، بنابراین در این سیستم به علت عمق زیاد ناوه در تراز بالایی جو و وجود پرفشار قوی در سطح زمین بارش برف شدید رخ داد که شدت آن در روزهای اول در استان‌های شمالی کشور بود زیرا به دلیل استقرار و حرکت کند شرقی سوی تراف سمت راست بلاکینگ و همراهی پرفشار قوی واقع در شمال دریای خزر و نفوذ زبانه های آن به کشور، علاوه بر شرایط کلی جو، با توجه به شرایط محلی، استان‌های شمال کشور از برف بیشتری برخوردار بودند؛ اما از روز چهارم ورود یک سامانه از سمت غرب و جنوب غرب به کشور و برخورد آن با سامانه سرد شمالی شرایط جبهه‌ای مناسبی ایجاد شد و با توجه

به تداوم استقرار تراف عمیق سمت راست بلاکینگ مناطق بیشتری از غرب و بتدریج مرکز ایران را نیز در برگرفت به طوری که در روز پنجم عمر سیستم، در بیش از ۱۰۰ایستگاه سینوپتیک کشور برف گزارش شده است که ریزش برف با این سطح گستردگی در بلند مدت کم سابقه بوده است.

در دهه اخیر با توجه به رخداد تغییرات اقلیمی و مسئله گرمایش جهانی کارهای مطالعاتی زیادی در زمینه برف انجام نمی شود اما با توجه به این دو مسئله وقوع رخدادهای حدی مانند برف های سنگین هراز چند گاه به طور غافل گیرکننده، خسارات زیادی به همراه می آورد. بلاکینگ با توجه به شدت و قدرت خود می‌تواند منجر به رخدادهای حدی مانند بارش سنگین و مداوم؛ (عزیزی و همکاران،۱۳۹۱) و (درگاهیان و علیجانی،۱۳۹۳)، دماهای حدی و سرد؛ (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸) و (عزیزی و خلیلی،۱۳۹۱) و (درگاهیان و علیجانی، ۱۳۹۳) و برف های سنگین،(درگاهیان و علیجانی،۱۳۹۲) و غفاریان و همکاران،۱۳۹۴) سیل،(حبیبی،۱۳۸۶) و خشکسالی، (ذولفقاری و همکاران،۱۳۹۱) درکشور شود. مطالعه اقلیم شناختی رخداد برف های سنگین نشان می دهد که برف های سنگین درچهار منطقه از کشور فراوانی بیشتری دارد؛ شمال کشور به علت موقعیت پرفشار سیبری و وجود منبع عظیم رطوبت دریای خزر بیشترین رخداد برف سنگین را دارد و مطالعات مربوط به آن به صورت موردی (فهیمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱)، و به صورت بلندمدت (مومن پور و همکاران،۱۳۹۳) انجام شده است. برف های سنگین شمال غرب؛ (امینی نیا و همکاران،۱۳۸۹) و غرب، (صفری و برومند، ۱۳۸۹)، (عابدپور و همکاران، ۱۳۹۲) ، (فتاحی و شیراوند ،۱۳۹۳)، (اسکندری، ۱۳۹۳) کشور به ترتیب اهمیت بیشتر تحت تاثیر سیستم های مهاجر و به ندرت تحت تاثیر بلاکینگ رخ می دهند. رخداد های وسیع و مداوم برف سنگین می‌تواند تمام مناطق کشور، حتی استان‌های شرق و جنوب شرق را نیز دربرگیرد (برف بهمن ۹۲).

مطالعات انجام شده در منابع خارجی بیشتر بر جنبه مطالعات اقلیم شناختی و روش‌های آشکارسازی رخداد پدیده بلاکینگ تاکید دارند؛ هرچند مطالعات زیادی در رابطه با آن و رخداد دماهای حدی صورت گرفته است؛ (ریچارد[۱] و دیوید[۲]،۲۰۰۶)، (ریمبو[۳] و گروسفلد[۴]، ۲۰۰۷)، (سیلمون[۵] و کروسی[۶]، ۲۰۰۹)، (وانگ[۷] و همکاران، ۲۰۱۰)، (کاتاکسی[۸] و همکاران، ۲۰۱۰)، (بوهلر[۹] و همکاران،۲۰۱۱)، (پفال[۱۰] و ورنلی[۱۱]، ۲۰۱۲). بررسی نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که رخداد دماهای سرد در زمستان امری طبیعی است اما در حضور پدیده بلاکینگ این دماها کمتر و از تداوم بیشتری از ۳روز تا بیش از یک هفته برخوردارند. در زمینه ارتباط بارش برف سنگین و بلاکینگ مطالعات زیادی

---

[1]- Ricardo
[2]- David
[3]- Rimbu
[4]- Grosfeld
[5]- Sillmann
[6]- Croci
[7]- Wang
[8]- Cattiaux
[9]- Buehler
[10]- Pfahl
[11]- Wernli

موجود نمی باشد؛ در منطقه شرق قطب جنوب، اثرات فصلی رخداد بلاکینگ بر بارش برف مورد بررسی قرار گرفته است (اسکارچیلی[1] و فروزیتی[2]، ۲۰۱۰). ارتباط رخداد بلاکینگ با شاخص نوسان اطلس شمالی در گرینلند بررسی و نتایج نشان داده که رخداد بلاکینگ نه تنها یک عنصر کلیدی در توصیف نوسان شاخص اقیانوس اطلس شمالی است، بلکه یک عنصر ضروری در تعدیل عمل الگوی آن است (داوینی[3] و همکاران، ۲۰۱۲).

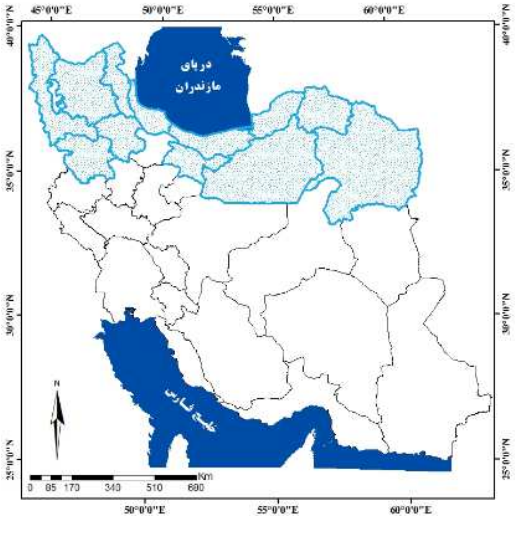
شناسایی سیستم های بلاکینگ منجر به برف به منظور برنامه‌ریزی، آمادگی و کاهش خسارات ناشی از آن از اهمیت شایانی برخوردار است شدت و تداوم برف بهمن ۹۲ که ناشی از استقرار یک سیستم بلاکینگ بود به علت ویژگی شبه ایستور بودن و عمق تراف سمت راست سیستم بلاکینگ و ریزش هوا از ارتفاعات بسیار بالا سبب تداوم و شدت برف در اکثر نقاط کشور شد؛ به طوری که در برخی مناطق منجر به شرایط بحرانی شد و خسارات زیادی به تاسیسات زیربنایی به ویژه آب، گاز، برق، مخابرات، مدارس، واحدهای بهداشتی و درمانی، بخش کشاورزی، خصوصی و صنعتی و واحدهای مسکونی وارد کرد به طور نمونه میزان این خسارات در استان گیلان درمجموع ۵۰۷ میلیارد تومان برآورد گردید.

شناسایی شرایط وقوع سیستم های بلاکینگ و پدیده‌های همدیدی متناظر با آنها و پیش بینی آنها با کمک مدل‌های پیش بینی عددی میان مدت گام مهمی در کاهش خسارات و آمادگی در برابر آنها محسوب می شود در این پژوهش نوع بلاکینگ و شرایط همدیدی منطقه تحت نفوذ آن جهت بهره برداری در مراکز پیش بینی به منظور صدور به موقع پیش آگاهی‌های لازم شناسایی شده است.

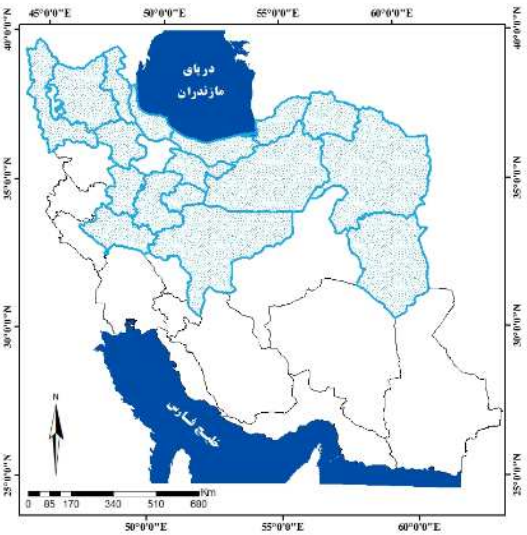
منطقه مورد مطالعه

بلاکینگ یک پدیده بزرگ مقیاس است که منطقه وسیعی را تحت تاثیر خود قرار می دهد و پدیده های آب و هوایی متعددی از جمله بارش برف سنگین و مداوم را به همراه دارد. در این مورد مطالعاتی چون به مدت ۶ روز استان‌های متعددی از کشور تحت تاثیر پدیده بلاکینگ بود، منطقه مورد مطالعه کل کشور ایران در نظر گرفته شد. در شکل ۱تا۶ مناطق تحت تاثیر نشان داده شده است. در روز اول رخداد بلاکینگ، در مجموع ۶۵ ایستگاه سینوپتیک در۱۲ استان، روز دوم ۷۸ ایستگاه، ۱۷ استان، روز سوم ۶۸ ایستگاه، ۱۷ استان، روز چهارم ۹۶ ایستگاه، ۲۰ استان، روز پنجم ۱۰۲ ایستگاه، ۲۶ استان و در روز ششم ۸۷ ایستگاه، ۲۳ استان در کشور بارش برف ثبت شده است در روز هفتم سیستم از سمت شرق و شمال شرق خارج شده و تنها در برخی از ایستگاه‌های خراسان رضوی و جنوبی برف گزارش شده است.

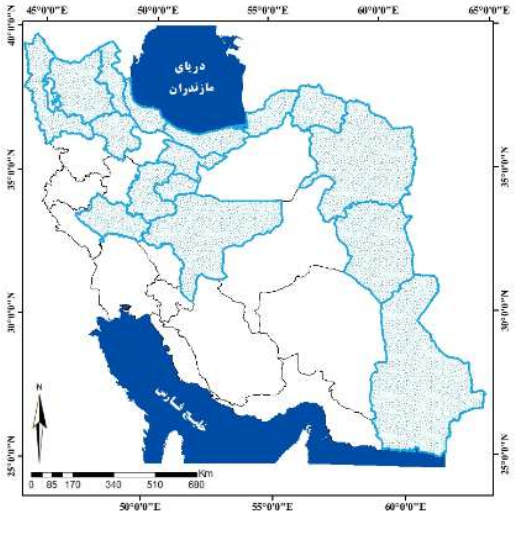
[1]- Scarchilli
[2]- Frezzotti
[3]- Davini



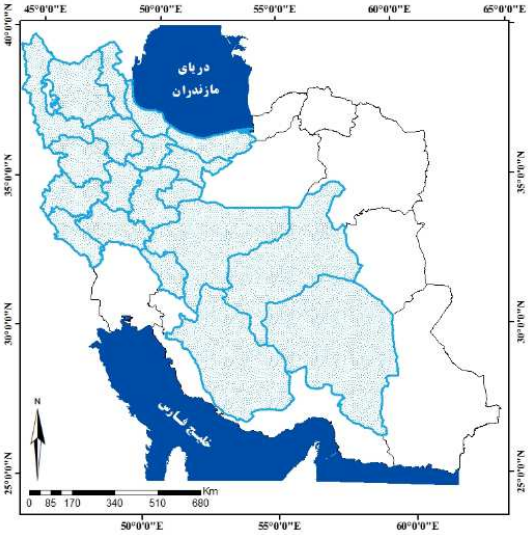
شکل۱: استانهای تحت پوشش برف ۹/۱۱/۱۱



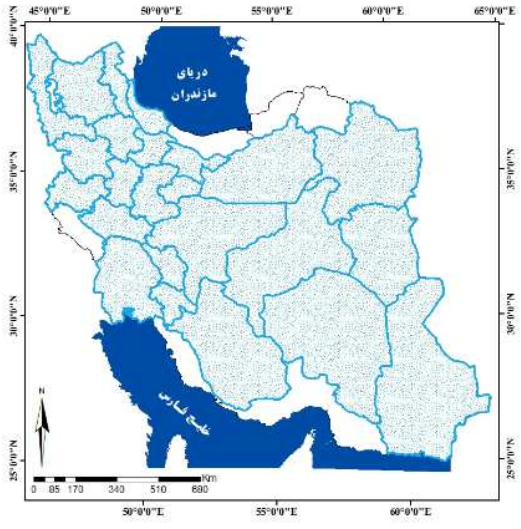
شکل۲: استانهای تحت پوشش برف ۹۲/۱۱/۱۲



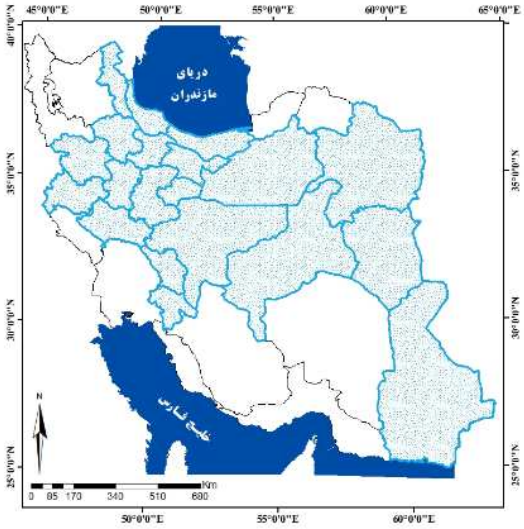
شکل۳: استانهای تحت پوشش برف ۹۲/۱۱/۱۳



شکل۴: استانهای تحت پوشش برف ۹۲/۱۱/۱۴



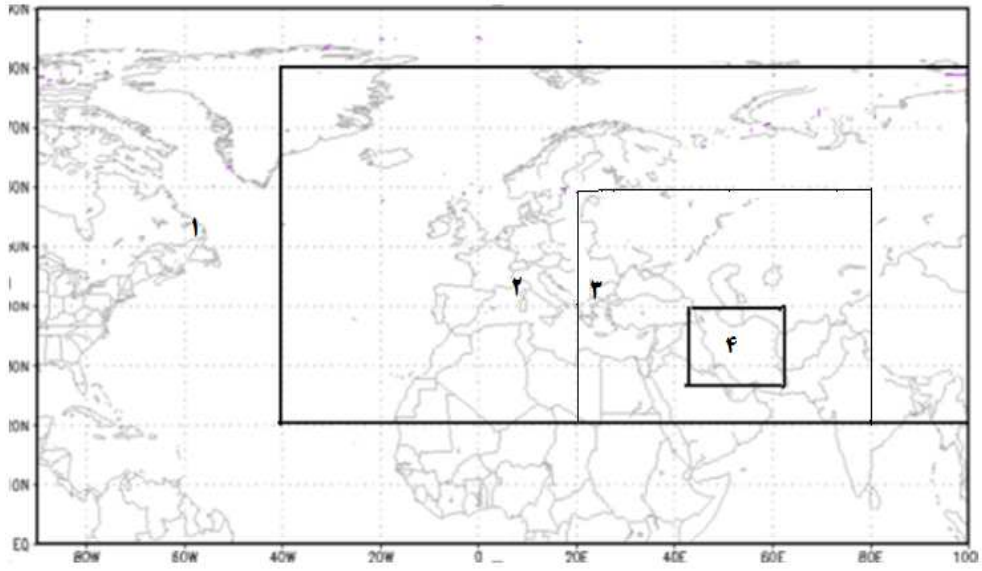
شکل۵: استانهای تحت پوشش برف ۹۲/۱۱/۱۵



شکل۶: استانهای تحت پوشش برف ۹۲/۱۱/۱۶

داده‌ها و روش‌ها

به منظور بررسی سینوپتیکی و دینامیکی رخداد برف بهمن۹۲، داده‌های روزانه مربوط به میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل و نوع سامانه بلاکینگ و موقعیت آن نسبت به ایران)،۳۰۰هکتوپاسکال (دو شاخه‌ای شدن جریان جت در بر خورد با بلاکینگ)، نقشه ضخامت لایه بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ (برای نشان دادن ضخامتی از جو که منجر به ریزش برف می‌شود)، موقعیت خط همدمای صفر درجه در سطح۸۵۰ هکتوپاسکال (خط مرزی بین بارش برف و باران)، مولفه مداری سرعت باد (شدت بی هنجاری منفی مولفه باد مداری)، مولفه نصف‌النهاری سرعت باد (شدت بی هنجاری مثبت باد نصف‌النهاری)، سرعت قائم (امگا)، رطوبت نسبی، و دمای پتانسیل از تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۱ تا ۱۱/۱۶/ ۱۳۹۲ از سایتNCEP-NCAR دریافت گردید. به منظور نشان دادن شکل کلی بلاکینگ نقشه های سینوپتیکی مورد استفاده در بررسی ویژگی های سینوپتیکی منطقه مورد مطالعه را از ۴۰- درجه غربی تا ۱۰۰ درجه شرقی و ۲۰ تا ۸۰ درجه شمالی در نظر گرفته شد(شکل ۷ منطقه ۲). به منظور نشان دادن تغییرات مولفه‌های دینامیکی نظیر مولفه مداری سرعت باد مولفه نصف النهاری سرعت باد، سرعت قائم (امگا)، رطوبت نسبی و دمای پتانسیل منطقه مورد مطالعه به ۲۰ تا ۸۰ شرقی و ۲۰ تا ۶۰ شمالی محدود گردید (شکل ۷ منطقه ۳). شکل و نوع بلاکینگ و مدت استقرار آن به صورت نقشه میانگین ۶ روزه و تغییرات مربوط به مولفه های دینامیک در مراحل مختلف عمر بلاکینگ؛ تشکیل، بلوغ و تضعیف، با استفاده از نرم افزار Grads ترسیم و تجزیه و تحلیل گردید و به این ترتیب الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بلاکینگ منجر به برف سنگین شناسایی شد.



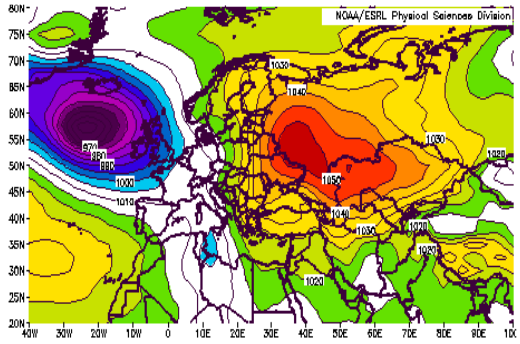
شکل۷: محدوده نقشه های مورد مطالعه *(منبع: نگارندگان)*

یافته‌های تحقیق

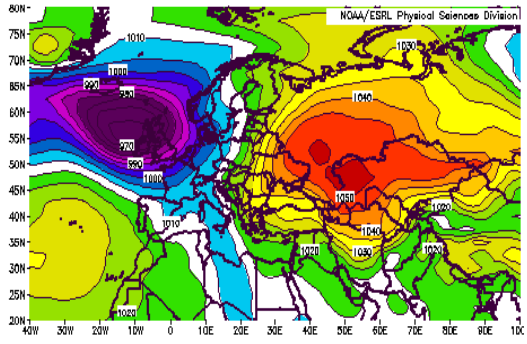
سطح زمین

همراهی کم ارتفاع سطح بالا (۵۰۰ هکتوپاسکال) و کم فشار سطح زمین منجر به بارش باران و همراهی کم ارتفاع سطح بالا با پرفشار سطح زمین، در صورت فراهم بودن سایر شرایط، معمولا منجر به بارش برف می شود. در رخداد برف ۱۱ تا ۱۶ بهمن ۹۲ پرفشار سیبری با مرکزیت ۱۰۵۰ میلیبار در شمال دریای خزر تشکیل شد و امواجی قوی را به سمت دریای خزر فرستاد، با تقویت پرفشار سیبری رودباد جت قطبی نیز قوی شده و سبب کاهش دما به علت وزش باد شدید از مرکز پرفشار به سواحل دریا شد؛ موج هوای سرد با عبور از روی دریا ،به علت اختلاف دما و طی مسافت طولانی، رطوبت زیادی کسب کرد که این رطوبت به علت ریزش هوای بسیار سرد از عرض های بالا فشرده شده و به صورت برف نازل شد. وجود پرفشار در سطح زمین و وجود تراف عمیق در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال به علت حاکمیت یک سیستم بلاکینگ از نوع امگا تداوم یافت و بیشتر استان‌های کشور برای ۶ روز متوالی تحت تاثیر تراف سمت راست بلاکینگ امگا، دارای شرایط ناپایدار و ریزش برف شدند. البته شرایط سطح زمین در توزیع برف موثر بود؛ با وجودی که بیشتر نیمه غربی ایران به طور یکسان تحت تاثیر تراف سمت راست بلاکینگ قرار گرفته بودند اما از آن جایی که استان‌های ساحلی شمال کشور علاوه بر تاثیر پذیری از شرایط عمومی جو به شدت تحت تاثیر عوامل محلی سطح زمین از جمله رشته کوه بزرگ البرز و بزرگترین دریاچه جهان بودند، علاوه بر تداوم بارش، شدت رخداد برف در آنها بیشتر از سایر استان ها بوده است. در دو روز اول با توجه به موقعیت پرفشار سیبری و گسیل امواج آن از روی دریای خزر چون امواج آن از کوه‌های البرز نمی‌توانند عبور کنند، بیشتر استان های شمال غربی و شمالی دارای بارش برف بود اما در سه روز آخر با توجه به ماندگاری و حرکت کند شرق سوی تراف سمت راست امگا و با ورود

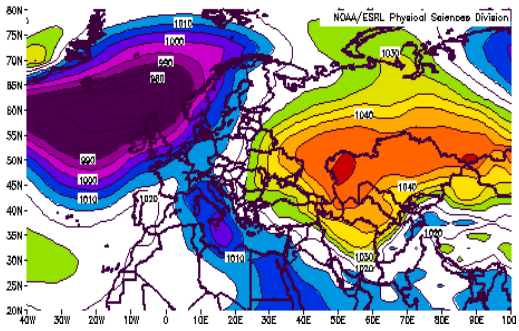
سامانه جدید از سمت غرب و جنوب غرب بارش برف در سایر نقاط کشور آغاز شد و از ۹۳/۱۱/۱۴ تا ۹۳/۱۱/۱۶ باعث بارش سنگین برف در استان‌های حاشیه زاگرس مرکزی و جنوبی، جنوب استان کرمان، مناطقی از استان سیستان و بلوچستان و مناطق سردسیری استان فارس شد به طوری که در مناطقی از غرب کشور موجب بسته شدن برخی از راه‌ها و خسارت به تاسیسات زیربنایی و افت فشار گاز شد.در شکل ۸ تا ۱۳ نفوذ موقعیت فشار سطح زمین در سطح دریا نشان داده شده است.



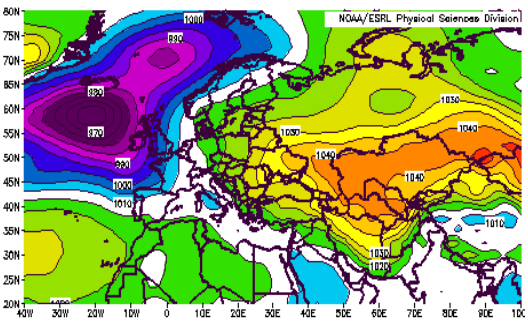
شکل۸: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۱



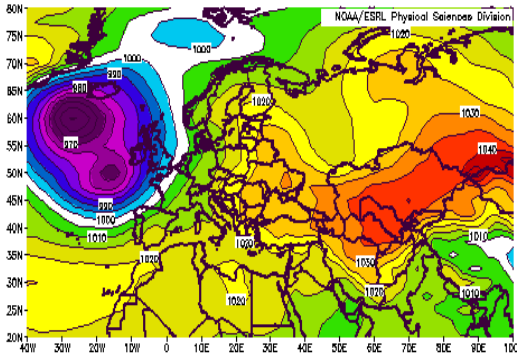
شکل۹: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۲



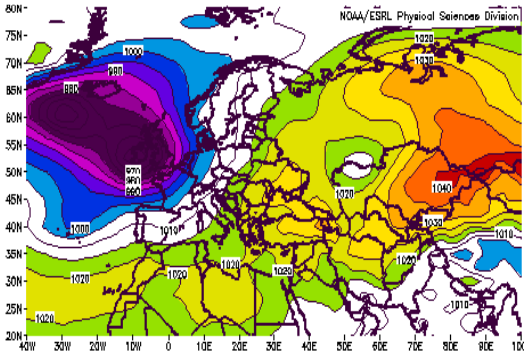
شکل۱۰: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۳



شکل۱۱: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۴



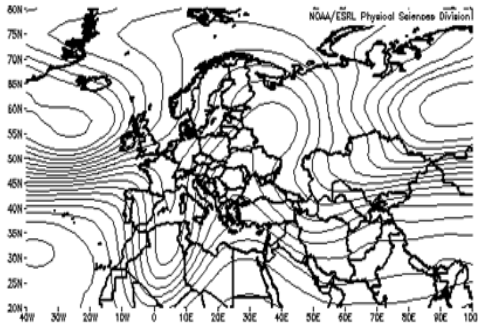
شکل۱۲: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۵



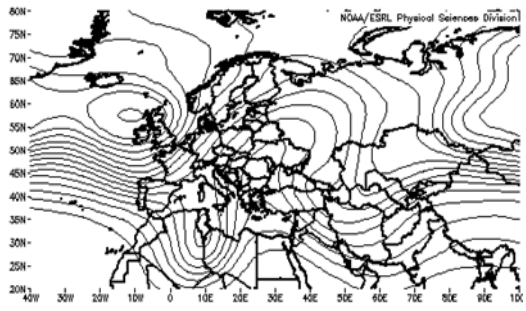
شکل۱۳: نقشه همفشار سطح زمین۹۲/۱۱/۱۶

سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال

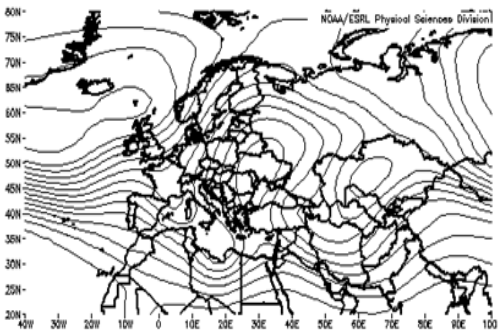
بر روی نقشه‌های سطح۵۰۰ هکتوپاسکال، در بلاکینگ های قوی عمق تراف ها بیشتر است و سامانه‌های جوی به عرض‌های پایین‌تر می‌روند. بنابراین بلاکینگ حتی بر مسیر سامانه‌های جوی موثر است و بیشتر سامانه‌های جوی در صورت عدم حضور بلاکینگ از مسیرهای شمالی‌تری عبور می‌کنند. بدین ترتیب با وجودی که بلاکینگ پدیده غالب عرض‌های میانی است اما عرض‌های پایین‌ترحتی تا ۲۰ درجه هم از اثرات آن بی بهره نیستند. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا شرایط لازم برای فرارفت هوای سرد و تقویت سامانه را فراهم کرده است. ایران در جلو تراف سمت راست بلاکینگ امگا واقع شده و هوا دارای شرایط صعود و ناپایداری بوده است؛ که این شرایط برای۶ روز متوالی تداوم داشته که با توجه به شرایط سطح زمین در قسمت‌های مختلف سطح کشور ریزش برف رخ داده است (شکل ۱۴تا۱۹ موقعیت ایران تحت تاثیر جلو تراف سمت راست بلاکینگ است)



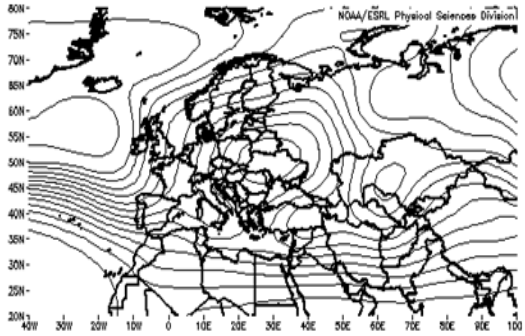
شکل۱۴: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۱



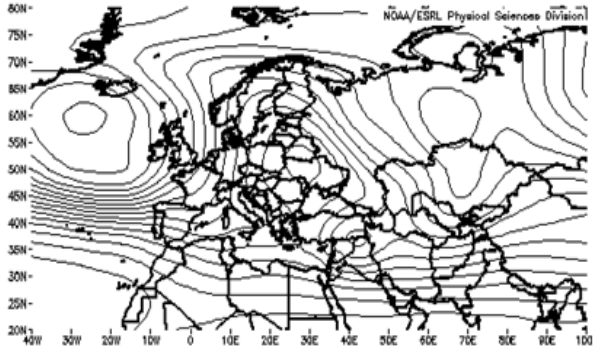
شکل۱۵: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۲



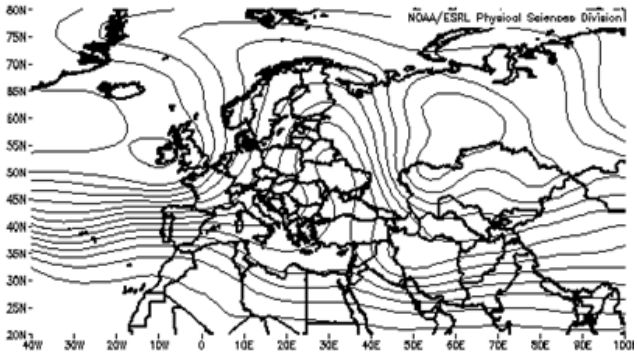
شکل۱۶: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۳



شکل۱۷: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۴



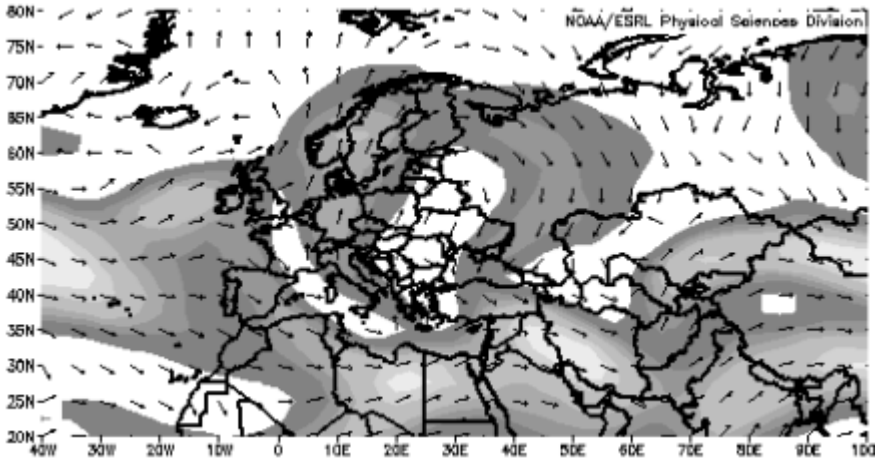
شکل۱۸: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۵



شکل۱۹: نقشه هم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال۹۲/۱۱/۱۶

سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال

بلاکینگ مانند یک واداشت عمل کرده و مسیر معمول بادهای غربی را سد می‌کند و موجب دو شاخه‌ای شدن جریانات بخصوص در سطوح میانی و فوقانی جو می‌شود، که این انحراف جریانات، خود را در ارتفاع ژئوپتانسیلی ۳۰۰ و ۲۰۰ بهتر نشان می دهد. در ارتفاع ۳۰۰ هکتوپاسکال دو شاخه‌ای شدن جریان جت کاملا نمایان است و بادهای غربی که مسیر غربی - شرقی دارند، همان‌طور که در شکل۲۰ نشان داده شده است، در برخور با بلاکینگ منحرف شده و بخشی از آن در جنوب بلاکینگ و بخشی دیگر در شمال آن ادامه مسیر داده‌اند.



شکل۲۰: ارتفاع ۳۰۰ هکتوپاسکال دو شاخه ای شدن جریان جت

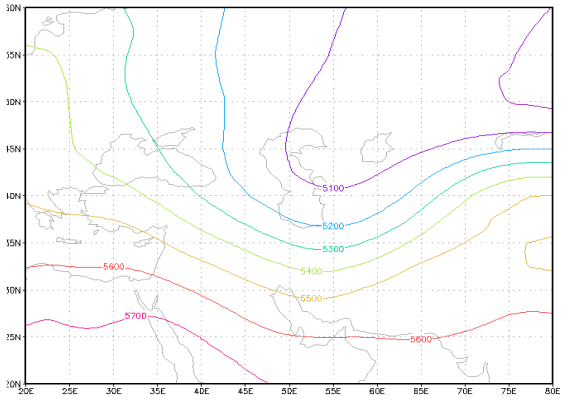
نقشه ضخامت

در نقشه‌های سطوح فوقانی جو، ضخامت بین سطوح ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان ضخامت جو در نظر گرفته می‌شود. معمولا ضخامت جو بر اثر گرمایش بیشتر و بر اثر سرمایش کاهش می‌یابد. اگر در منطقه‌ای جو سرد شود ضخامت جو کاهش می‌یابد و اگر گرم شود ضخامت جو بیشتر می شود. در ضخامت های کمتر از۵۲۰۰ متر برف و

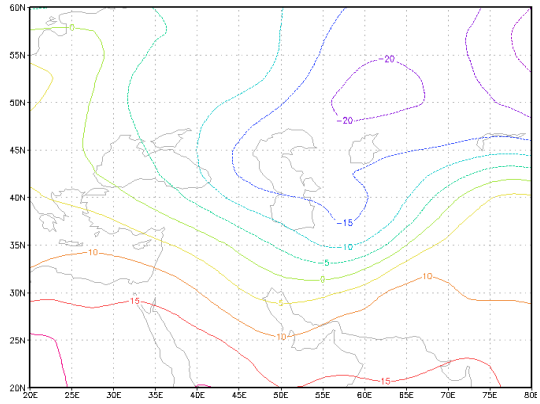
بیشتر از آن باران می‌بارد. در امریکا منحنی صفر درجه سطح زمین با ضخامت۵۳۰۰ متر مطابقت دارد (علیجانی،۱۳۸۱). در ایران منحنی صفردرجه سطح زمین با توجه به شرایط سطح زمین و ارتفاع ناهموی‌ها و با توجه به عرض جغرافیایی متفاوت است و به طور کلی می‌توان گفت که ضخامت۵۲۵۰ تا۵۳۰۰ با خط همدمای صفر درجه مطابقت دارد. در رخداد برف مورد مطالعه آرایش منحنی های هم ضخامت همانند توپوگرافی سطوح فشار در ایجاد و هدایت سیستم های همدید نقش مهمی دارند. الگوهای مختلف این آرایش در شکل۲۰ نمایش داده شده است. در شمال کشور خط هم ضخامت ۵۲۰۰ و در مناطق غرب و مرکزی خط همدمای۵۳۰۰ حاکمیت دارد در مناطقی مانند کرمان و سیستان نیز که بارش برف گزارش شده در مناطقی که عوارض سطح زمین از جمله ارتفاعات همراهی خوبی داشته‌اند در ضخامت ۵۳۵۰ متر برف گزارش شده است.

موقعیت دمای خط صفر

خط همدمای صفردرجه سانتی‌گراد به عنوان خط فرضی بین بارش برف و باران در نظر گرفته می شود. در شکل ۲۲موقعیت خط صفر نشان داده شده است .خط صفر از نیمه جنوبی کشور عبور کرده و به همین دلیل است که بسیاری از استان‌های نیمه جنوبی کشور به استثنای استان‌های هرمزگان و بوشهر، با توجه به سایر عوامل از جمله ارتفاع، در برخی از ایستگاه های سینوپتیک گزارش برف را برای چند روز متوالی داشتند. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، غرب و مرکز ایران خط همدمای ۵- درجه و در شمال، شمال غرب خط همدمای ۱۰- درجه سانتیگراد حاکمیت دارد تا جایی که خط همدمای۱۵- به شمال شرق کشور نیز نفوذ کرده است.



شکل۲۱: نقشه هم ضخامت ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



شکل۲۲: موقعیت خط همدمای صفر درجه سانتیگراد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال

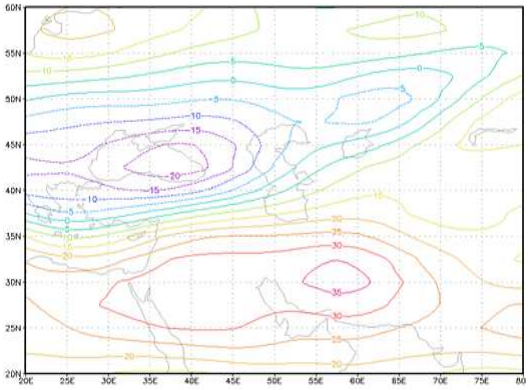
مولفه مداری سرعت باد

مولفه مداری باد، جهت و سرعت بادهای مداری را نشان می دهد. مقادیر منفی این مولفه مبین وزش باد شرقی و مقادیر مثبت آن وزش باد غربی را نشان می دهد. شکل۲۳ مولفه باد مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در مرحله

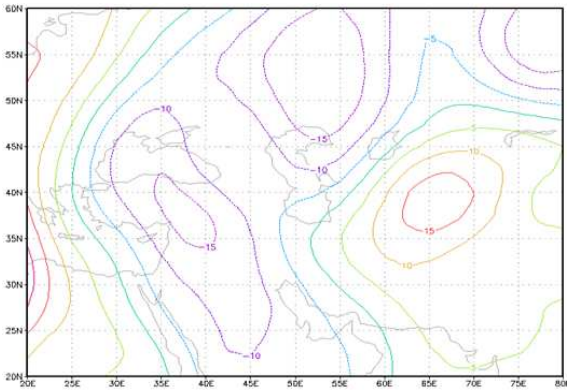
بلوغ بلاکینگ به واحد متر بر ثانیه نشان می دهد . مقدار این مولفه در مرحله قبل از تشکیل بلاکینگ و در مرحله میرایی آن نیز بررسی شده و نشان داده شده که مقدار این مولفه در مرحله بلوغ آن به حداکثر رسیده به طوری که در این مرحله مقدار مولفه باد مداری منفی و شرقی بیشتر بوده و بی هنجاری منفی آن به حداکثر رسیده است به طوری که سرعت آن بر روی ایران به ۳۵ متر بر ثانیه رسیده با تضعیف سامانه و رسیدن به مرحله میرایی مجددا از سرعت باد کاسته شده است. در واقع ویژگی شبه ایستور بودن بلاکینگ موجب بی هنجاری منفی مولفه مداری سرعت باد شده است که با شرقی تر شدن مولفه مداری باد سرعت حرکت جبهه سطح زمین در راستای جلو تراف سطح ۵۰۰ همراه با آن نیز کند شده و با افزایش مدت زمان استمرار سامانه سبب تداوم بارش برف نیز شده است.

مولفه نصف النهاری سرعت باد

مولفه نصف النهاری باد، سرعت باد را در جهت شمال و جنوب نشان می دهد. مقادیر مثبت این مولفه جهت باد شمالی و مقادیر منفی جهت باد جنوبی را نشان می دهند. میدان مولفه نصف النهاری باد در مراحل شکل گیری، بلوغ و میرایی یا تضعیف بلاکینگ تغییر می کند. به دلیل جریان واچرخندی سامانه های پر فشار در نیمکره شمالی در سمت چپ جریان ساعتگرد مقدار مولفه نصف النهاری باد مثبت و به عکس در سمت راست ساعتگرد مقدار مولفه نصف النهاری منفی است. در مرحله شکل گیری بلاکینگ مقدار آن کم بوده و در مرحله بلوغ به حداکثر رسیده و منجر به بی هنجاری مثبت آن شده است، سپس در مرحله تضعیف مجددا کم شده است. بنابراین می‌توان گفت که در مرحله بلوغ بلاکینگ مقادیر مثبت تری از مولفه نصف النهاری سرعت باد وجود دارد در نتیجه در اثر رخداد بلاکینگ مقدار این مولفه افزایش داشته و دارای بی‌هنجاری مثبت است که یکی از ویژگی‌های مهم بلاکینگ است. شکل ۲۳ بی‌هنجاری مثبت مولفه نصف النهاری باد را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مرحله بلوغ عمر بلاکینگ نشان می‌دهد. با توجه به حاکمیت پرفشار سطح زمین جهت باد شمال و شمال شرقی بوده و بی‌هنجاری مثبت مولفه باد نصف النهاری به حداکثر مقدار خود رسیده است.



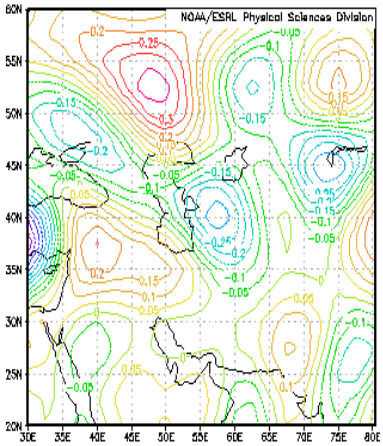
شکل۲۳: توزیع سرعت و جهت باد مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مرحله بلوغ عمر بلاکینگ



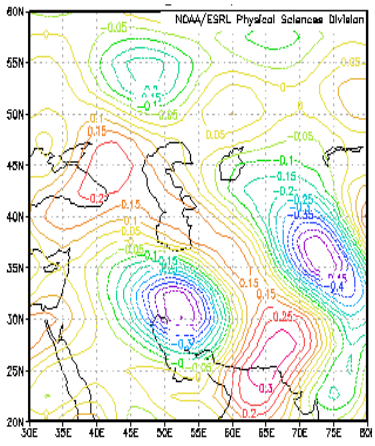
شکل۲۴: توزیع سرعت و جهت بادنصف النهاری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مرحله بلوغ عمر بلاکینگ

سرعت قائم(امگا)

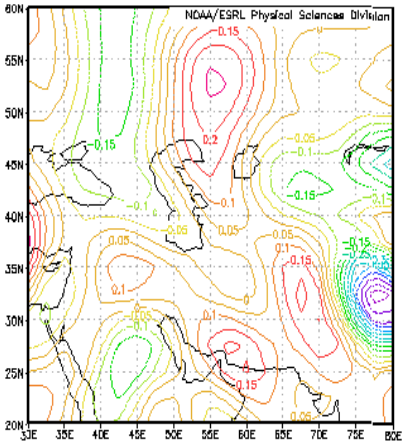
یکی دیگر از ویژگی‌های بلاکینگ افزایش سرعت قائم هوا در تمام مراحل ماندگاری، به ویژه در مرحله بلوغ است. مقادیر منفی سرعت قائم که سرعت قائم بالا سو است دلالت برصعود هوا، تقویت همگرایی، جبهه هوا و سامانه بارشی دارد که در صورت فراهم بودن سایر شرایط از جمله شار رطوبتی مناسب می‌تواند منجر به بارش قابل ملاحظه در حضور بلاکینگ برای چند روز شود. در حالی که مقادیر مثبت سرعت قائم پایین سو نشان دهنده نزولی بودن جریان هوا بوده و واگرایی را تقویت می‌کند. در بلاکینگ نوع امگا مقادیر امگای منفی یا سرعت قائم بالاسو بر قسمت‌های شرق و جنوب شرق ناوه های جانبی بلاکینگ در ترازهای فوقانی که منطبق بر کم فشارهای سطح زمین است منطبق می باشد. در مرحله شکل‌گیری بلاکینگ مقدار امگای منفی تنها درشمال شرق کشور وجود دارد و مقدار امگا در سایر قسمت‌ها مثبت است و به ۰,۰۵ پاسکال بر ثانیه رسیده است. در مرحله بلوغ مقدار امگای منفی به حداکثر مقدار خود وبه ۰,۰۷- پاسکال بر ثانیه رسیده است در مرحله تضعیف و میرایی بلاکینگ مقدار آن مجددا مثبت شده است (شکل ۲۵ تا۲۷).



شکل۲۵: مقدار امگا در مرحله تشکیل بلاکینگ



شکل ۲۶: مقدار امگا در مرحله بلوغ بلاکینگ

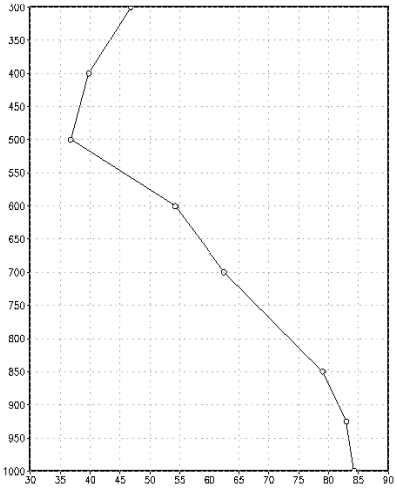


شکل ۲۷: مقدار امگا در مرحله میرایی بلاکینگ

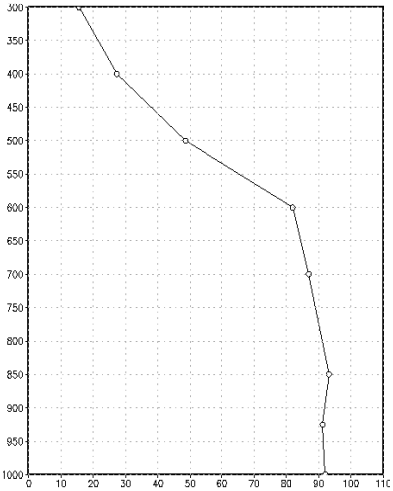
رطوبت نسبی

در حضور بلاکینگ رطوبت نسبی در مرحله تشکیل افزایش می‌یابد، اما در مرحله بلوغ به حداکثر میزان خود می‌رسد به طوری که منجر به بی‌هنجاری رطوبت نسبی در این مرحله می‌شود. بی‌هنجاری رطوبت در مراحل مختلف طول عمر بلاکینگ دریک ایستگاه یا یک نقطه از شبکه تحت تاثیر مراحل مختلف عمر بلاکینگ، از طریق ترسیم نمودار نیمرخ سینوپتیکی در شکل ۲۸تا۳۰ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، میزان رطوبت نسبی با وجودی که با شروع بلاکینگ در سطح زمین قابل ملاحظه است اما در سطح ۴۰۰ هکتوپاسکال کم می‌باشد و تا ارتفاع بیش از۷۰۰ هکتوپاسکالی، گسترش ندارد. اما در مرحله بلوغ در تمام ترازهای جو به حداکثر میزان خود می‌رسد به طوری که تا ارتفاع۴۰۰ هکتوپاسکال گسترش دارد. و این امر ناشی از افزایش سرعت قائم در حضور پدیده

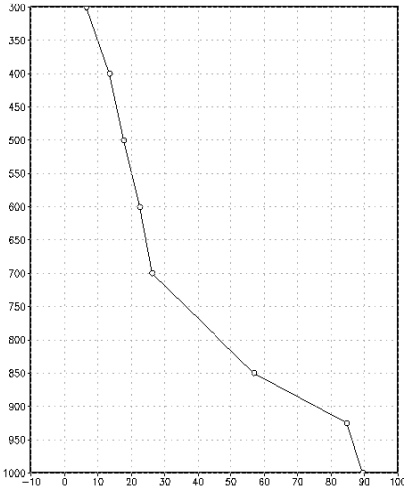
بلاکینگ در مرحله بلوغ است، که هرچه سرعت قائم بیشتر باشد، صعود هوا نیز تا ارتفاع بیشتری ادامه می یابد. بنابراین با افزایش سرعت قائم و همراهی افزایش رطوبت با آن بارش های شدیدتری نیز رخ می دهد و منجر به حداکثر بارش در مرحله بلوغ رخداد بلاکینگ می گردد. در مرحله تضعیف بلاکینگ از سرعت قائم و در نتیجه صعود هوا به تدریج کاسته شده و بی هنجاری رطوبت نسبی تنها تا سطح فشاری ۷۰۰ هکتوپاسکال ادامه دارد. زیرا با کاهش سرعت قائم صعود هوای مرطوب از سطح زمین با شدت کمتر و در ارتفاع کمتر اتفاق می‌افتد که در نهایت منجر به کاهش بارش در مرحله تضعیف و میرایی بلاکینگ شده است.



شکل ۲۸: نمودار نیمرخ سینوپتیکی میزان رطوبت نسبی در مرحله تشکیل بلاکینگ



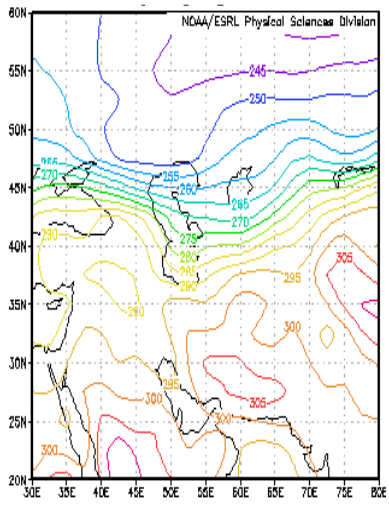
شکل ۲۹: نمودار نیمرخ سینوپتیکی میزان رطوبت نسبی در بلوغ میرایی بلاکینگ



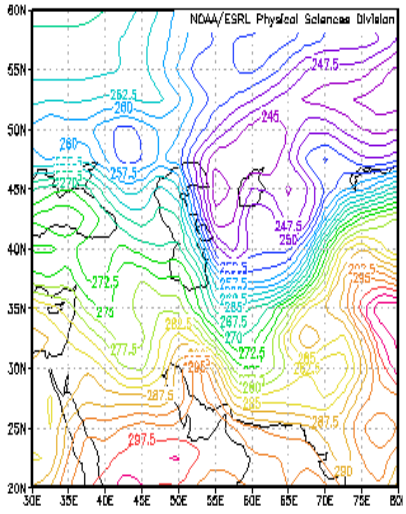
شکل ۳۰: نمودار نیمرخ سینوپتیکی میزان رطوبت نسبی در مرحله میرایی بلاکینگ

دمای پتانسیل

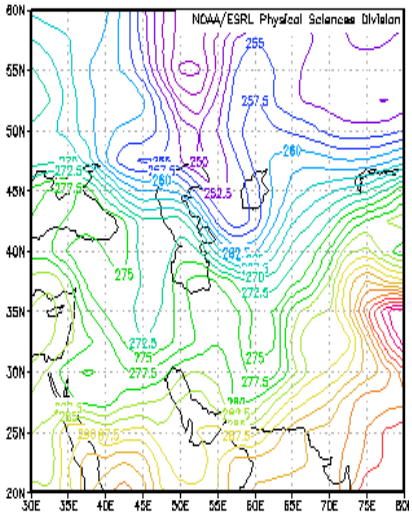
دمای پتانسیل دمایی است که وقتی یک بسته هوا با دمای T و فشار p به تراز فشاری ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به صورت بی دررو منتقل می‌شود، دمای آن به دمایی تغییر می‌یابد که به آن دمای پتانسیل می‌گویند. گرادیان کنتورهای دمای پتانسیل در مراحل اولیه تشکیل و در مراحل تضعیف و میرایی رخداد بلاکینگ ضعیف است؛ اما در مرحله بلوغ بلاکینگ گرادیان این خطوط زیاد شده و به بیشینه مقدار خود می‌رسد که منجر به تشدید فعالیت سامانه می‌شود(شکل ۳۱ تا ۳۳).



شکل ۳۱: دما پتانسیل در سطح hpa ۱۰۰۰ در مرحله تشکیل بلاکینگ



شکل ۳۲: دما پتانسیل در سطح hpa ۱۰۰۰ در مرحله بلوغ بلاکینگ



شکل ۳۳: دما پتانسیل در سطح hpa ۱۰۰۰ در مرحله میرایی بلاکینگ

نتیجه‌گیری

سیستم های پرفشار دینامیک مهاجر که از قطب و اروپا وارد ایران می‌شوند می‌توانند در صورت فراهم بودن سایر شرایط، منجر به رخداد برف سنگین شوند اما نمی تواند منجر به بارش برف مداوم شود زیرا ریزش برف سنگین و مداوم تنها در شرایط خاصی امکان پذیر است. بررسی رخداد برف سنگین و مداوم بهمن ۹۲ نشان داد که به علت قرارگیری ایران تحت تاثیر تراف قوی و عمیق سمت راست بلاکینگ امگا که تا عرض ۲۰ درجه شمالی گسترش پیدا کرده و مرکز آن در شمال اروپا قرار دارد با یک پشته بسیار قوی که تا عرض های ۷۰ درجه شمالی رسیده با ریزش هوای سرد از عرض های بالا و همراهی آن با پرفشار قوی مستقر در شمال دریای خزر با مرکزیت فشار ۱۰۵۰ میلیباری، با کسب رطوبت بسیار زیاد و وقوع شرایط دمایی ویژه در سطح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکالی و تداوم این شرایط برای ۶ روز اکثر نقاط ایران با بارش برف و برخی مناطق با توجه به موقعیت و سایر شرایط شان در معرض برف سنگین ، مداوم و خسارت باری قرار گرفتند. علاوه بر بررسی مولفه های سینوپتیکی رخداد برف سنگین، مولفه‌های دینامیکی نیز در تمام مراحل تشکیل، بلوغ و میرایی بلاکینگ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در مرحله بلوغ تمام مولفه ها به حداکثرشدت خود رسیده و سپس کم کم در مرحله میرایی تضعیف شده اند

با وجودی که بیشتر نیمه غربی ایران به طور یکسان تحت تاثیر تراف سمت راست بلاکینگ قرار گرفته بودند اما از آن جایی که استان های ساحلی شمال کشور علاوه بر تاثیر پذیری از شرایط عمومی جو به شدت تحت تاثیر عوامل محلی از جمله رشته کوه بزرگ البرز و بزرگترین دریاچه جهان، خزر، می باشد، علاوه بر تداوم بارش برف ناشی از استقرار سیستم بلاکینگ، شدت رخداد برف در آنها بیشتر از سایر استان ها بوده است.در روز های بعد ورود یک سامانه از سمت غرب و جنوب غرب به کشور و برخورد آن با سامانه سرد؛ شرایط جبهه ای مناسبی ایجاد شد و با

توجه به ماندگاری تراف عمیق سمت راست بلاکینگ مناطق بیشتری از غرب و بتدریج مرکز ایران را نیز در برگرفت به طوری که در روز پنجم عمر بلاک در ۱۰۲ ایستگاه سینوپتیک برف گزارش شده است که ریزش برف با این سطح گستردگی در بلند مدت کم سابقه بوده است. بنابراین شناسایی شرایط وقوع سیستم های بلاکینگ و پدیده های همدیدی متناظر با آنها و پیش بینی آنها با کمک مدل‌های پیش بینی عددی میان مدت گام مهمی در کاهش خسارات و آمادگی در برابر آنها محسوب می شود در این پژوهش نوع بلاکینگ و شرایط همدیدی منطقه تحت نفوذ جهت بهره برداری در مراکز پیش بینی به منظور صدور به موقع پیش آگاهی های لازم شناسایی شد؛ تا بتوان از مدیریت بحران به سمت مدیریت ریسک در آینده سوق پیدا کرد.

منابع

اسکندری، مریم (۱۳۹۳)، تحلیل سینوپتیک بارش برف سنگین در محور های کوهستانی (مورد مطالعه محور کوهرنگ – لردگان در استان چهارمحال و بختیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد.

امینی نیا، کریم، حسن، لشگری، بهلول، علیجانی (۱۳۸۹)، بررسی و تحلیل نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران، نشریه فضای جغرافیایی، دوره ۱۰، شماره ۲۹، صص ۱۶۳-۱۳۵.

امیدوار، کمال (۱۳۸۹)، اقلیم شناسی دینامیک، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد.

حبیبی، فریده (۱۳۸۶)، نقش سامانه بندالی در چرخند زایی روی شرق دریای مدیترانه و بررسی نقش آن در سیل روی منطقه غرب ایران، پژوهش های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۶۲، صص ۱۲۷-۱۰۹.

درگاهیان، فاطمه و بهلول، علیجانی (۱۳۹۲)، بررسی اثر بلاکینگ بر رخداد برف های سنگین و مداوم ایران مجله علمی و پژوهشی سرزمین، دوره۱۰، شماره ۳۸، صص۱۴-۱.

ذوالفقاری، حسن، جعفر، معصوم پور، الهه، رشیدی، مرتضی، میری (۱۳۹۱)، تاثیر سامانه های بندالی جو بر وقوع و استمرار دوره های خشک غرب و شمال غرب ایران، فصلنامه علمی پژوهشی مناطق خشک، سال سوم، شماره ۹-۱۰، صص۱۱۹-۱۰۱.

درگاهیان، فاطمه، بهلول، علیجانی، حسین، محمدی (۱۳۹۳)، بررسی الگوهای فشار مرتبط با رخدادهای بلاکینگ موثر بر دمای ایران: مجله علمی-پژوهشی پژوهش های اقلیم شناسی، شماره، ۱۹-۲۰ صص۲-۸۱.

درگاهیان، فاطمه، بهلول، علیجانی، حسین، محمدی (۱۳۹۳)، بررسی سینوپتیکی الگوهای بلاکینگ موثر بر رخداد بارش های مداوم (۵ روز و بیشتر) و سنگین در ایران: درفصل سرد۲۰۱۲-۱۹۵۳مجله علمی-پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی مشهد ، سال سوم، شماره ۱۰، صص۷۳-۱۵۵.

درگاهیان، فاطمه، بهلول، علیجانی، حسین، محمدی (۱۳۹۳)T آشکار سازی و مطالعه اقلیم شناختی رخدادهای بلاکینگ موثر برآب و هوای ایران درفصل سرد (دوره آماری،۲۰۱۲-۱۹۵۳) مجله علمی و پژوهشی فضای جغرافیا، دوره۱۴ شماره۴۸ صص۲۵۶-۲۳۷.

غفاریان پروین، نفیسه، پگاهفر، الهه، اولاد (۱۳۹۴)، الگوهای بزرگ مقیاس و همدیدی برف های سنگین استان ایلام، نشریه علمی-ترویجی نیوار، دوره ۳۹ شماره ۸۸-۸۹ ، صص ۱۴-۳.

فتاحی، ابراهیم و هنگامه، شیراوند (۱۳۹۳)، بررسی الگوهای گردش جوی روزهای همراه با بارش برف سنگین در غرب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره۱، ص۱۰۷-۹۷.

فهیمی نژاد، الهام، زهرا، حجازی زاده، بهلول، علیجانی، پرویز، ضیائیان (۱۳۹۱)، تحلیل سینوپتیکی و فضایی توفان برف استان گیلان (فوریه ۲۰۰۵)، مجله جغرافیا وتوسعه ناحیه ای سال۱۰، شماره ۱۹، صص ۳۰۲-۲۸۱.

صفری, هدیه، برومند، صلاحی (۱۳۸۹)، تحلیل آماری و سینوپتیکی بارش‌های برف سنگین شهرستان کرمانشاه، پنجمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست، اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۱)، اقلیم شناسی سینوپتیک، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.

عزیزی، قاسم (۱۳۷۵)، بلوکینگ و اثرات آن بر بارش ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

عابدپور، صغری، برومند، صالحی، قاسم، هژبرپور (۱۳۹۲)، تحلیل سینوپتیکی بارش های برق سنگین شهرستان ملایر، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۹)، نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم افزار Grads، انتشارات سها.

محمدی، حسین (۱۳۸۲)، سیستم ها و فرآیندهای جوی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

مومن پور، فروغ، سمانه، نگاه، شبنم، صبوری، فرید، مجتهدی، نیما، اسعدی، ابراهیم، اسکویی (۱۳۹۳)، واکاوی سازکار رخداد مخاطره برف های سنگین جلگه گیلان در نیم سده اخیر، نشریه مخاطرات محیطی، شماره ۹، صص ۳۶-۱۷.

Scarchilli, C. Frezzotti, M. Michele, P., (2010), Snow precipitation at four ice core sites in East Antarctica: provenance, seasonality and blocking factors. Climate Dynamics, 37:2107–2125.

Davini, P., Cagnazzo, C., Neale, R., Tribbia, J., (2012), Coupling between Greenland blocking and the North Atlantic Oscillation pattern. Geophysical Research Letters, volume 39, number 14.

Cattiaux, J., R. Vautard, C., Cassou, P., Yiou, V., Masson-Delmotte, and Codron, F., (2010), winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate, Geophysical Research Letters, Volume 37, number 20.

Ricardo, G., David, B., (2006), Northern Hemisphere snow cover and atmospheric blocking variability, Journal of Geophysical Research, Volume 111, number 21.

Rimbu, N., Lohmann, G, and Grosfeld, K., (2007), Blocking signature in ice core records from northern Greenland, Geophysical Research Letters, Volume 34, number 9.

Sillmann, J., & Croci-Maspoli, M., (2009), Present and future atmospheric blocking and its impact on European mean and extreme climate, Geophysical Research Letters, 36(10).

Pfahl, S., & Wernli, H., (2012), Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-) daily time scales, Geophysical Research Letters, 39(12).

Buehler, T., Raible, C., C., & Stocker, T. F., (2011), The relationship of winter season North Atlantic blocking frequencies to extreme cold or dry spells in the ERA-40, Tellus A, 63(2), 212-222.

-Wang, C., Liu, H., & Lee, S., K., (2010), The record-breaking cold temperatures during the winter of 2009/2010 in the Northern Hemisphere, Atmospheric Science Letters, 11(3), 161-168

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۳۰
صفحات: ۶۲-۳۷

پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی

بتول زینالی*[۱]، وحید صفریان زنگیر[۲]

چکیده

خشکسالی به عنوان یک پدیده اقلیمی با کمبود رطوبت و بارندگی نسبت به شرایط نرمال تعریف می‌شود. این پدیده به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشر تاثیر می‌گذارد. در مقاله حاضر با استفاده از قابلیت‌های سامانه نرم‌افزاری MATLAB و شاخص تلفیقی SEPI۳ در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، به بررسی وضعیت خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. برای این کار از داده‌های اقلیمی، دو پارامتر (بارندگی و دما) ۵ ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (تبریز، مراغه، ارومیه، سقز، مهاباد) استفاده شد. یافته پژوهش نشان می‌دهد که شاخص SEPI ویژگی دو شاخص SPI و SEI را به خوبی در خود منعکس می‌کند و هم‌چنین دما را که به عنوان یکی از پارامترهای موثر در تغییر شدت خشکسالی است، در بررسی شرایط خشکسالی وارد می‌کند؛ بنابراین بررسی خشکسالی با شاخص SEPI بهتر از شاخص SPI می‌باشد. بررسی‌ها در رابطه با خشکسالی بر اساس شاخص SEPI نشان می‌دهد که روند خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه روبه افزایش است، دما هم با شدت بیش‌تر روند افزایشی دارد. طولانی‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه، در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه از ماه مه سال ۲۰۰۵ تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۶به مدت ۱۹ ماه اتفاق افتاده است. بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در ایستگاه مهاباد مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: پایش خشکسالی، شاخص‌های SEPI و SPI، منطق فازی، دریاچه ارومیه

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی(نویسنده مسئول) zeynali.b@uma.ac.ir
۲- دانشجوی ارشد گروه جغرافیایی طبیعی، آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه محقق اردبیلی Safariyan.vahid@gmail.com

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی است که در همه اقلیم‌ها و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما اثرات آن در مناطق خشک و نیمه خشک بیش‌تر ظاهر می‌شود (چناری، ۱۳۸۴). مساله اصلی اقلیمی مناطق خشک، خود خشکسالی نیست؛ بلکه عدم شناخت کافی از آن به‌عنوان یکی از پدیدهای عادی طبیعی و عدم تنظیم برنامه‌ها و مصارف مختلف آب براساس آن شناخت است. موقعّیت جغرافیایی ایران دو ویژگی اساسی دارد؛ نخستین ویژگی مهم جغرافیایی، کوهستانی بودن آن است و خصیصهٔ دیگر آن قرارگرفتن در کمربند خشک نیمکره شمالی است (رهنمایی، ۱۳۷۰). از سویی واقع شدن ایران بر روی کمربند خشک جهانی موجب شده تا نوسانات بارندگی در کشور ما شدید باشد. به همین دلیل در برخی سال‌ها، در اثر طغیان آبی رودخانه‌ها، سیلاب رخ می‌دهند در حالی که مواقعی دیگر وقوع خشکسالی موجب آسیب‌های شدید می‌گردد. در عین حال زمانی که خشکسالی به موقع پیوسته، وقوع یک بارندگی نیز می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به بار آورد که نمونه این مورد در سال ۱۳۸۰ در استان گلستان به وقوع پیوست (مساعدی و مرعشی، ۱۳۸۸). طبق تعریف، خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در نتیجه بارش کم‌تر از حد نرمال رخ می‌دهد. به تعبیر «اشنیدر[1]» خشکسالی در یک منطقه عبارت است از میانگین بارندگی یک سال یا یک فصل که کم‌تر از میانگین بارندگی چند ساله آن منطقه باشد (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹)

ویژگی‌های خشکسالی در ایران نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت خود، از اثرات این پدیده مخرب تجربه می‌کند. نیاز به پایش و تعیین درجه شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه خشکسالی، توزیع مکانی و زمانی آن از یک طرف و اظهار این عقیده که تعیین شرایط خشکسالی به عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌باشد، پژوهش‌گران را به آن داشته تا شاخص‌هایی جهت پایش خشکسالی ارائه دهند و براساس این شاخص‌ها به بررسی این پدیده اقلیمی بپردازند. یکی از شاخص‌های جدید در بحث بررسی شایط خشکسالی، شاخص SEPI[2] می‌باشد. این شاخص برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPI[3] ارائه شده است انصاری و همکاران، (۱۳۸۹). حدادی و حیدری (۱۳۹۴)، در تحقیقی برای شناسایی نوسانات بارش و دوره‌های خشکسالی از مدل SPI و از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده کرده‌اند. و به این نتیجه رسیده‌اند که با کاهش میزان بارش، از میانگین دبی و انحراف معیار ایستگاه کاسته و معادله خط رگرسیونی دبی، روندی کاهشی را در پیش گرفته و تا به امروز این سیر نزولی ادامه یافته است. منتصری و امیرعطایی (۱۳۹۴)، در تحقیقی برای پیش‌بینی احتمالاتی خصوصیات مختلف خشکسالی در شمال غرب ایران با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، تئوری ران وشاخص بارش استاندارد (SPI)، و روش استوکستیکی استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اندکـه انتظـار خشکسالی‌هایی با تداوم پنج سال یا بیش‌تر در منطقه مطالعاتی تقریباً نزدیک به صفر بوده است. هم‌چنین نتایج مطالعه مؤید

---

[1]- Schneider

[2]- ترکیب شاخص‌های SPI (شاخص بارش استاندارد) و SEI (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد)بر اساس قواعد در سیستم استنتاج فازی SEPI

[3]- SPI: Standardized Percipitation Index

محدودیت اساسی داده‌های تاریخی درمطالعات پایش خشکسالی و ضرورت به کارگیری روش مونت‌کارلو برای استنتاج‌های دقیق و واقعی از پدیده خشکسالی هستند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی به پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند بررسی‌ها در رابطه با خشکسالی بر اساس شاخص SEPI نشان می‌دهد که روند خشکسالی در استان اردبیل رو به افزایش است. دما هم با شدت بیش‌تر روند افزایشی دارد. طولانی‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در استان، در ایستگاه پارس‌آباد در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه از ماه ژوئن سال ۱۹۹۸ تا ماه نوامبر سال ۱۹۹۹ به مدت ۱۸ ماه اتفاق افتاده است. بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی درایستگاه پارس‌آباد و کم‌ترین آن در ایستگاه خلخال مشاهده شده است. پالمر[1] (۱۹۶۵)، خشکسالی را کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی تعریف کرده است. خشکسالی یک رویداد یا واقعه اقلیمی است که خصوصیات آن بستگی به‌مدت، استمرار، شدت و وسعت منطقه تحت تاثیر و تسلط آن دارد (کتا[2]، ۱۹۹۳). نیرآنجا[3] و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی به تنوع مشاهده خشکسالی‌های موسمی در سراسر هند با استفاده از شاخص پایش خشکسالی، یعنی شاخص Evapo (تعرق بارش)، استاندارد شده (SPEI) پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که تجزیه و تحلیل همبستگی کانونی [4](CCA) نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تنوع خشکسالی که توسط ال‌نینو/نوسان جنوبی [5](ENSO) و تنوع خشکسالی‌های موسمی در سراسر هند به‌طور قابل توجه‌ی، توسط ناهنجاری دمای سطح دریا استوایی تحت تاثیر قرار دارد. جان‌درمیان و همکاران[6](۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی وضعیت خشکسالی دشت سراب و ارتباط آن با تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۰ پرداخته‌اند بدین منظور از شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، هیدروگراف واحد و کموگراف دشت استفاده کرده‌اند نتایج نشان داد با این که در بیش‌تر سال‌ها خشکسالی در حد نرمال بوده است، اما افت سطح ایستابی و روند افزایشی شوری آب زیرزمینی اتفاق افتاده است لذا اعمال برنامه‌های مدیریت منابع آب در دشت سراب ضروری است. خشتکاری‌ثانی[7] (۱۳۹۵)، در تحقیقی به واکاری خشکسالی‌های استان آذربایجان غربی با شاخص SPI و GIS پرداخته و به این نتیجه رسیده است که بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ شدیدترین خشکسالی آذربایجان غربی در تکاب در طی این ۲۰ سال رخ داده است. هم‌چنین طولانی‌ترین تداوم خشکسالی نیز در جنوب استان و در ایستگاه تکاب با مدت تداوم ۷ سال به وقوع پیوسته است. هوانگ[8] و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی به ساختار خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی استاندارد ناپارامتری چند متغیره (NMSDI)، و روش موجک در سراسر حوضه رودخانه زرد، چین پرداخته اند، نتایج نشان می‌دهد که شاخص خشکسالی چند متغیره ناپارامتری قابل اعتماد و در توصیف خشکسالی موثر واقع شده، شروع خشکسالی در فصل بهار تابستان و زمستان ترجیح بهبود خشکسالی در منطقه مورد مطالعه

---

[1] - Palmer
[2] - Keta
[3] - Niranjana
[4] - Canonical Correlation Analysis
[5] - El Nino_Southern Oscillation =)ENSO)
[6] - Jandrmyan et al
[7] - Khshtkarysany
[8] - Huanga

بوده است. مدت زمان متوسط، درازمدت خشکسالی در کل حوضه حدود ۵ تا ۸ ماه، بوده است. به‌طور کلی، ساختار خشکی از لحاظ مدت زمان دوره خشکسالی، زمان شروع و پایان در منطقه مورد مطالعه پایدار باقی مانده است. تیوما[1] و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی به بررسی ارتباط بین خشکسالی و تغییرات دما، بارش و رطوبت خاک با استفاده از چهار شاخص ارزیابی: (SPI)، (ERI)[2]، (SEPI) و (SMDI)[3]، مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند، و به این نتیجه رسیده‌اند که احتمال افزایش خشکسالی‌های استثنایی مشخص شده است و افزایش خطر ابتلا به تنش ناشی از خشکسالی برای سیستم‌های طبیعی و انسانی ناشی از غلظت گازهای گلخانه‌ای به وجود خواهد آمد. جاین[4] و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی برای ارزیابی، ویژگی‌های خشکسالی در حوضه رودخانه کن واقع در مرکز هند با استفاده از شاخص‌های (SPI)، (EDI)[5] و شاخص (RDI)[6] بررسی کردند و به این نتیجه رسیده‌اند که EDI خود عاری از مشکل گام زمانی است و این شاخص خشکسالی مناسب‌تر برای حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، که مطابق با نتیجه برنامه EDI در کره، ژاپن، ترکیه، استرالیا و ایران هر چند روش‌های تست آن، متفاوت است. اسپینونی[7] و همکاران، (۲۰۱۵)، در پژوهشی به بررسی بزرگ‌ترین رویدادهای خشکسالی در اروپا از جمله روسیه، به استثنای گرینلند، جزایر قناری، آزور، و مادیر درسال‌های ۱۹۵۰-۲۰۱۲ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده بارش پرداخته‌اند، و به این نتیجه رسیده‌اندکه محاسبه سری‌های زمانی از شاخص‌های ترکیبی برای هر منطقه و کشور بزرگ‌ترین رویدادهای خشکسالی در ۲۰۱۲-۱۹۵۰ شمال اروپا و روسیه را نشان می‌دهد و بیش‌ترین فراوانی خشکسالی از اوایل ۱۹۹۰ به بعد در اروپا و جنوب غربی (به ویژه منطقه مدیترانه) می‌باشد. به‌طور کلی، یک افزایش کوچک اما مداوم از خشکسالی از اوایل ۱۹۸۰ به اوایل ۲۰۱۰ مناطق اروپا دچار شده است.

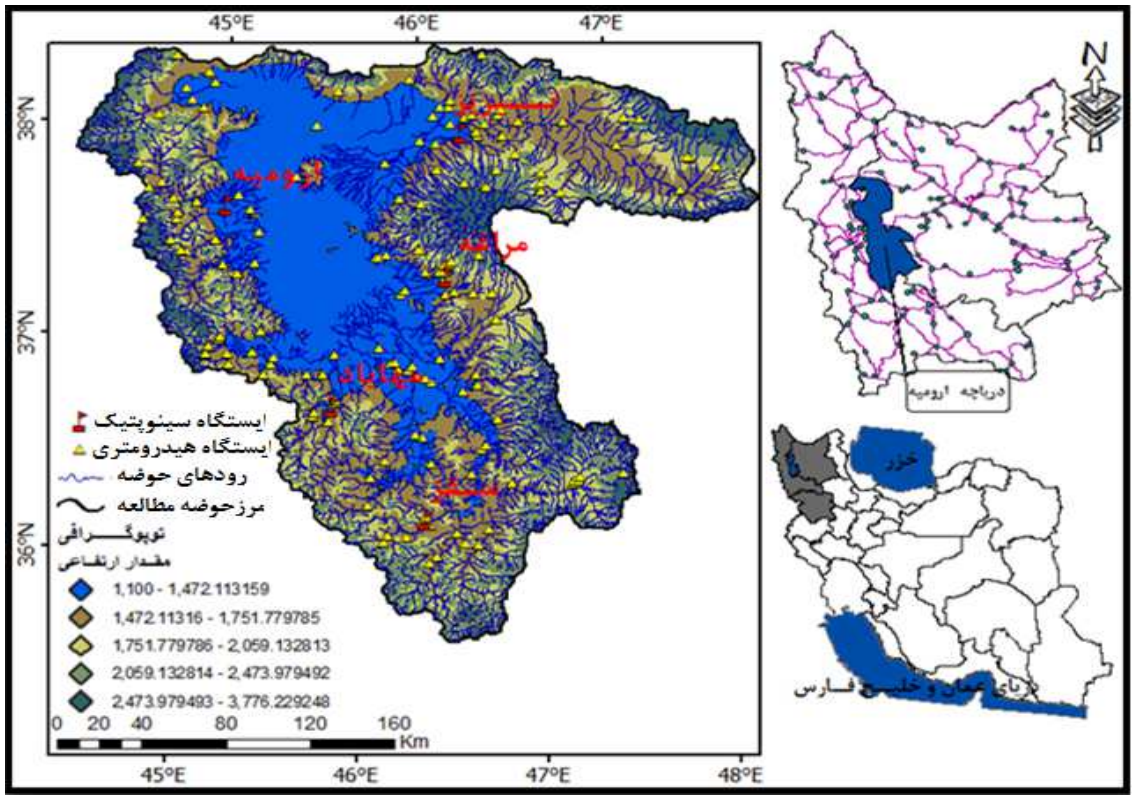
با توجه به مطالب ذکر شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با توجه به مسائلی مانند احداث سد، استحصال آب‌های زیرزمینی، احداث میان‌گذر روی دریاچه، هم‌چنین کاهش بارش‌ها در حوضه دریاچه در طول سال‌های گذشته باعث کاهش آب‌های سطحی و درنتیجه کاهش ورودی دریاچه ارومیه و استفاده غیر اصولی از آب‌های سطحی و زمین‌های کشاورزی باعث تشدید خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه شده است. در منطقه مورد بررسی شواهد حاکی از آن است که مطالعات انجام شده در زمینه خشکسالی از نظر کمیت، روش انجام تحقیق و با استفاده از شاخص‌های مختلف کفایت موضوع را کاملا در بر نداشته است. بنابراین می‌توان با انجام پژوهش‌های علمی دقیق بر این موارد فایق آمد یا حدقل در مسائل مدیریتی و برنامه‌ریزی این پدیده اقلیمی، بهتر عمل کرده و میزان خسارات ناشی از آن را کاهش داد، و با انجام این پژوهش با استفاده از یک شاخص جدید با نام SEPI به بررسی ویژگی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته و امکان پایش خشکسالی این پدیده را در این حوضه ضروری می‌باشد.

---

[1] - Touma
[2] - ERI: Effective Rain Fall Index
[3] - SMDI: Soil Moisture Drouyht Index
[4] - Jain
[5] - Effective drought index
[6] - Reclamination Drought Index
[7] - Spinoni

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شمال غرب ایران است که در محدوده ۳۶-۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۰-۴۹ درجه طول شرقی واقع شده است. این منطقه شامل محدوده سیاسی استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی شامل ۵ ایستگاه می‌باشد که در شکل (۱) موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه ذکر شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور

در این تحقیق از داده‌های ماهانه دما و بارش ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، سقز، مراغه و مهاباد در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ استفاده شده است، برای بررسی همگنی داده‌ها از روش آزمون ران استفاده شد و تصادفی بودن و همگنی داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تایید قرار گرفت.

شاخص SPI [1]

شاخص استاندارد شده بارش یکی از شاخص‌های پرکاربرد در پایش خشکسالی می‌باشد. این شاخص یکی از معدود شاخص‌های پایش دوره‌های خشک و حتی می‌توان گفت تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی مد نظر قرار گرفته است. تعیین مقیاس زمانی بسته به تاثیر خشکسالی در منابع مختلف کشاورزی، هیدرولوژیکی و ... مشخص می‌شود. مقیاس زمانی را می‌توان از ۱ ماه تا چند سال تعیین نمود. برای محاسبه شاخص SPI تنها از عنصر اقلیمی بارندگی استفاده می‌شود. مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه در مقیاس زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود. جدول(۱) مقادیر طبقه‌بندی SPI را نشان می‌دهد. در بررسی حاضر مقیاس زمانی ۶ ماهه بر اساس تاثیر خشکسالی در مسائل کشاورزی و رطوبت خاک و مقیاس ۱۲ ماهه در ارتباط با اثر خشکسالی بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی انتخاب شد.

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی شاخص SPI میکو، (۱۳۸۸)

طبقات خشکسالی	مقادیرشاخصSPI
ترسالی خیلی شدید	≥ ۲
ترسالی شدید	۱/۹۹ تا ۱/۵
ترسالی متوسط	۱/۳۹ تا ۰/۹۹
ترسالی ملایم	۰/۹۹ تا ۰/۵
نرمال	۰/۳۹ تا -۰/۳۹
خشکسالی ملایم	-۰/۵ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱/۰۰ تا -۱/۳۹
خشکسالی شدید	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
خشکسالی خیلی شدید	≤-۲

شاخص SEI [2]

از آن‌جایی که در محاسبه شاخص SPI تنها ورودی، بارندگی است، لذا تغییرات مقادیر شاخص SPI تحت تأثیر پارامتر درجه حرارت و تبخیر و تعرق که از پارامترهای مؤثر در تغییر شدت خشکسالی می‌باشد، نخواهد بود. بنابراین برای وارد کردن تاثیرات درجه حرارت و تبخیر و تعرق در شاخص SPI شاخص SEI (شاخص تبخیر و تعرق استاندارد) به‌عنوان یک شاخص فرضی ارائه شده است که جدول(۲) مقادیر طبقه‌بندی SEI را نشان می‌دهد. برای محاسبه این شاخص، قبل از هر اقدامی باید تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای دوره آماری مورد نظر برآورد کرد.

[1] - Standardized Precipitation Index
[2] - Standardized Evapotranspiration

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص فرضی SEI انصاری و همکاران،(۱۳۸۹: ۳۹)

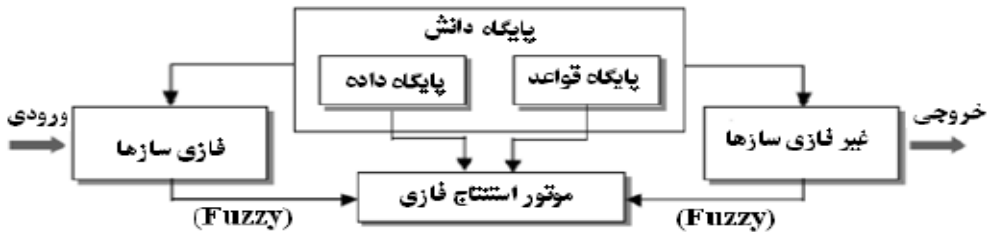
طبقات خشکسالی	مقادیرشاخص SEI
خشکسالی خیلی شدید	≥ ۲
خشکسالی شدید	۱/۹۹ تا ۱/۵
خشکسالی متوسط	۱/۳۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی ملایم	۰/۹۹ تا ۰/۵
نرمال	۰/۳۹ تا -۰/۳۹
ترسالی ملایم	-۰/۵ تا -۰/۹۹
ترسالی متوسط	-۱/۰۰ تا -۱/۳۹
ترسالی شدید	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
ترسالی خیلی شدید	≤ -۲/۰۰

شاخص فازی SEPI

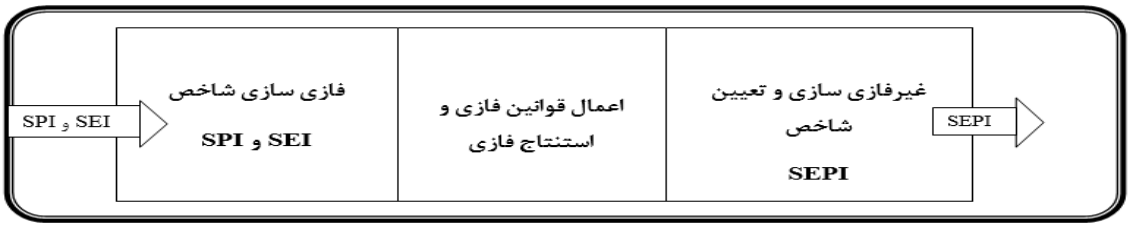
شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده (SEPI) برای رفع قسمتی از معایب شاخص SPI ارائه شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۰). شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده از تلفیق شاخص SPI و SEI حاصل می‌شود. این شاخص نتیجه معماری مدل فازی پایش خشکسالی است که با استفاده از منطق فازی در یک سیستم استنتاج فازی طراحی می‌شود. نحوه طراحی این مدل و تعیین شاخص SEPI در ادامه شرح داده شده است.

معماری‌فازی پایش خشکسالی

برای مشتق‌سازی شاخص‌های SPI و SEI با استفاده از سیستم استنتاج فازی، با توجه به ساختار مدل‌های فازی شکل (۲)، ساختار مدل فازی پایش خشکسالی به صورت شکل (۳) در نظر گرفته شد.



شکل ۲: سیستم استنتاج فازی *(سلاجقه و فتح آبادی، ۱۳۸۸)*



شکل ۳: مدل فازی پایش خشکسالی در تحقیق حاضر(*ماخذ: نگارندگان*)

بعد از تعیین ساختار مدل فازی، برنامه رایانه‌ای مربوط به محیط نرم‌افزار MATLAB طراحی می‌شود و با استفاده از این برنامه فایل‌های ورودی یعنی مقادیر شاخص SPI و شاخص SEI خوانده شده و مقادیر SEPI در فایل خروجی ارائه می‌گردد. طراحی مدل فازی پایش خشسالی در تحقیق حاضر بر محورهای زیر استوار است:

تعریف مجموعه‌های فازی و درجه عضویت

مجموعه‌های فازی به آن دسته از مجموعه‌ها یا طبقاتی از صورت وضعیت‌های یک پدیده یا موضوع اطلاق می‌شوند که دارای محدوده‌های تعریف شده دقیقی نیستند (در این پژوهش طبقات شدت پدیده خشکسالی). در چنین حالت‌هایی گذر از یک صورت وضعیت به صورت وضعیت دیگر به صورت تدریجی انجام می‌گیرد. در این پژوهش صورت وضعیت‌های مربوط به خشکسالی با برچسب‌هایی ترسالی خیلی شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ملایم، شرایط نرمال، خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید بر اساس شاخص‌های SPI و SEI تعیین شده است. در مجموعه‌های فازی، به طور ویژه‌ای، به یک زیرمجموعه A از موضوع بحث U پرداخته می‌شود که در آن، درجه عضویت بواسطه تابع عضویت $\mu_A(x)$ بیان می‌گردد. در این تابع، درجه تعلق عناصر x از موضوع بحث U به زیر مجموعه A نشان داده می‌شود یا به عبارت دیگر معرف درجه عضویت xدر A می‌باشد، مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین ۱ و ۰ قرار دارد تعیین کرد. این امر خود یک نوع استانداردسازی داده‌ها تلقی می‌شود (مالچسفکی، ۱۳۸۵).

متغیرهای زبانی و ارزش‌های زبانی

منظور از متغیر زبانی، متغیرهایی هستند که تصاویرشان عددی نیستند، بلکه کلمات یا جملاتی هستند که به زبان عادی بیان می‌شوند. ارزش‌ها هم شامل حالت‌هایی هستند که با مفاهیم زبانی نظیر خیلی کوتاه، کوتاه، متوسط، دراز، خیلی دراز، تند، خیلی تند، کوچک، متوسط، بزرگ و نظایر آن هستند که به متغیرهای زبانی نسبت داده می‌شود. در واقع این مفاهیم در عطف به یک متغیر پایه[1] که ارزش‌ها و حالت‌های آن در طول یک دامنه خاص، تغییر می یابد، تعریف می‌شوند. در همین راستا، اگر تغییرات شرایط خشکسالی را به‌عنوان متغیر زبانی تلقی کنیم، شرایط ترسالی خیلی شدید، ترسالی شدید، ترسالی متوسط، ترسالی ملایم، شرایط نرمال، خشکسالی ملایم و ... معرف آن دسته از

[1] - Base variable

ارزش‌های زبانی هستند که حالت‌های مختلف خشکسالی را نشان داده و در عین حال هر یک نشان‌گر یک مجموعه فازی هستند در مثال خشکسالی با توجه به تعداد طبقات شاخص SPI، واژه زبانی نه گانه به کار گرفته می‌شود که از طیفی از تغییرات در قالب واژه‌های زبانی ترسالی خیلی شدید (WVH)، ترسالی شدید (WH)، ترسالی متوسط (WA)، ترسالی ملایم (WS)، شرایط نرمال (N)، خشکسالی ملایم (DS)، خشکسالی متوسط (DA)، خشکسالی شدید (DH) و خشکسالی خیلی شدید (DVH) در قالب مقیاس زبانی نه گانه نام برد. در پژوهش حاضر از این مقیاس در سنجش صورت وضعیت شرایط خشکسالی استفاده شده است (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹).

تعریف عملیاتی اعداد فازی

اعداد فازی حامل بار عددی ارزش‌های زبانی و واژه‌های زبانی در طول یک دامنه مشخص از اعداد است. در واقع، هر عدد فازی در عطف به یک واژه زبانی و یک مجموعه فازی مطرح می‌شود. با تبدیل ارزش‌های زبانی باعداد فازی، انجام عملیات‌های حسابی و منطقی بر روی آن‌ها، روال مشخصی به خود می‌گیرد. معمولاً به شکل استاندارد شده و در قالب بازه بسته ۰ تا ۱ و یا ۰ تا ۱۰۰، در نظر می‌گیرند. (محورهای افقی در نمودارهای شکل زیر). به عنوان مثال اعداد فازی مربوط به شیب‌های پایین، متوسط و بالا در طول یک دامنه استاندارد شده مطابق با شکل زیر عبارتند از: (۰/۴، ۰/۲، ۰، ۰) پایین، (۰/۸، ۰/۵، ۰/۲، ۰/۲) متوسط، و (۱ ،۱، ۰/۸، ۰/۶) بالا، همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود. تعداد اعداد فازی و بار عددی هر کدام بر روی یک دامنه استاندارد می‌توان به تناسب واژه‌های زبانی سه تایی، چهارتایی، هشت تایی و نظایر آن تعیین شود، پس برای استانداردسازی شاخص SPI از رابطه ۱ و شاخص SEI از رابطه ۲ استفاده می‌شود.

رابطه ۱:
$$\mathbf{x_{ij}} = \frac{x_j max - x_j}{x_j max - x_j min}$$

رابطه ۲:
$$\mathbf{x_{ij}} = \frac{x_j - x_j min}{x_j max - x_j min}$$

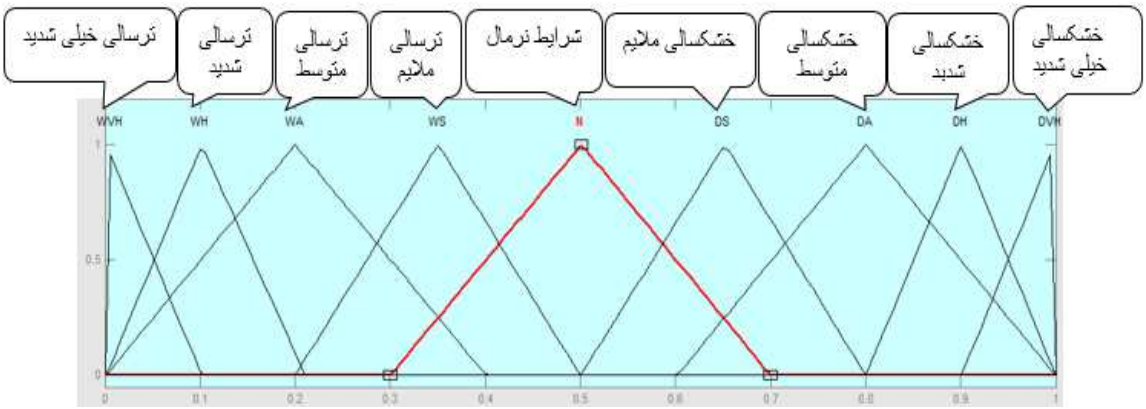
در این روابط $\mathbf{x_{ij}}$ معرف مقدار استاندارد شده، x_j مقدار شاخص مورد نظر، $x_j max$ بیش‌ترین مقدار موجود در سری اعداد و $x_j min$ معرف کم‌ترین مقدار در سری اعدادی باشد (مالچسفکی، ۱۳۸۵).

یکی از راه‌هایی که می‌توان واژه‌های زبانی را در قالب منظم، به اعداد فازی متناظر با آن‌ها تبدیل کرد استفاده از جدول تبدیل ارائه شده توسط هوانگ است (صفری و همکاران، ۱۳۸۲). باتوجه به آن که در پژوهش حاضر شاخص‌های خشکسالی SPI و SEI که به صورت وضعیت‌های خشکسالی را در نه طبقه نشان می‌دهند، با استفاده از جدول تبدیل ارائه شده از سوی چن و هوانگ، این واژه‌های زبانی نه گانه به عدد فازی متناظر تبدیل شد(جدول۳).

جدول ۳: مقادیر فازی طبقات خشکسالی بر اساس جدول هوانگ *(مأخذ : نگارندگان)*

طبقات خشکسالی	مقادیر فازی طبقات
ترسالی خیلی شدید	۰/۱، ۰، ۰، ۰
ترسالی شدید	۰/۲، ۰/۱، ۰/۱، ۰
ترسالی متوسط	۰/۴، ۰/۲، ۰/۲،۰
ترسالی ملایم	۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۳۵، ۰/۲
نرمال	۰/۷، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۳
خشکسالی ملایم	۰/۸، ۰/۶۵، ۰/۶۵، ۰/۵
خشکسالی متوسط	۱، ۰/۸، ۰/۸، ۰/۶
خشکسالی شدید	۱، ۰/۹، ۰/۹، ۰/۸
خشکسالی خیلی شدید	۱، ۱، ۱، ۰/۹

توابع فازی طبقات شدت خشکسالی در منطق فازی با توجه به مقادیر فازی آن‌ها به صورت شکل (۴) می‌باشد. در ادامه اعداد فازی حاصله به اعداد غیر فازی تبدیل می‌شود. از اعداد غیر فازی در نوشتن قواعد استفاده می‌شود.



شکل ۴: نمایش اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی نه گانه *(ماخذ: نگارندگان)*

غیر فازی کردن اعداد فازی

جهت تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار دقیق، روش‌های مختلفی از جمله روش مرکز ثقل، روش بیش‌ترین تابع عضویت، روش امتیاز دهی به چپ و راست عدد فازی وجود دارد که در این پژوهش، جهت غیر فازی کردن اعداد فازی از روش امتیاز دهی به چپ و راست استفاده شده است. در روش امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی امتیاز کل دقیق یک عدد فازی A از مقدار امتیازات چپ و راست A بدست آمده و این امتیازات چپ و راست از دو مجموعه ویژه حداقل (Min) و حداکثر (Max) و درجه عضویت عدد فازی به‌دست می‌آید. این دو مجموعه Min، Max با فرض این‌که دامنه اعداد فازی [۱،۰] باشند، تعریف می‌شود. در محاسبات عملی برای راحتی کار در عدد فازی مثلثی، امتیازات سمت چپ و راست را از روی روابط (۳، ۴، ۵) محاسبه می‌کنیم (جعفرنژاد و کیا، ۱۳۸۹)

رابطه ۳: $$\mu_L(A) = 1 - \frac{m}{1+\alpha}$$

رابطه ۴: $$u_R(A) = \frac{m+\beta}{1+\beta}$$

رابطه ۵: $$\mu_T(A) = \frac{\mu_R(A)+1-\mu_L(A)}{2}$$

جدول (۴) تبدیل اعداد فازی به غیر فازی با روش امتیاز دهی به چپ و راست آورده شده است.

جدول ۴: تبدیل اعداد فازی به غیر فازی *(مأخذ : نگارندگان)*

متغیر زبانی	مقدار فازی	امتیاز سمت چپ	امتیاز سمت راست	امتیاز کل (غیرفازی)
WVH	۰/۱، ۰، ۰، ۰	۱	۰/۰۹۱	۰/۰۴۵
WH	۰/۲، ۰/۱، ۰/۱، ۰	۱	۰/۱۸۲	۰/۱۳۶
WA	۰/۴، ۰/۲، ۰/۲، ۰	۰/۸۳۳	۰/۳۳۳	۰/۲۵۰
WS	۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۳۵، ۰/۲	۰/۶۹۶	۰/۴۳۵	۰/۳۷۰
N	۰/۷، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۳	۰/۵۸۳	۰/۵۸۳	۰/۵۰۰
DS	۰/۸، ۰/۶۵، ۰/۶۵، ۰/۵	۰/۴۳۵	۰/۶۹۶	۰/۶۳۰
DA	۱، ۰/۸، ۰/۸، ۰/۶	۰/۳۳۳	۰/۸۳۳	۰/۷۵۰
DH	۱، ۰/۹، ۰/۹، ۰/۸	۰/۱۸۲	۱	۰/۸۶۴
DVH	۱، ۱، ۱، ۰/۹	۰/۰۹۱	۱	۰/۹۵۵

تعیین قواعد جهت تلفیق شاخص های SPI و SEI

طبقات مختلف شاخص SPI و SEI بر پایه قواعد یا همان ترکیبی از گزاره‌های شرطی در قالب اگر، که به یک طبقه از شاخص SEPI در قالب آن‌گاه منتهی شود، تعریف می‌شود. این قاعده فقط یک ترکیب از حالت‌های مختلف شاخص‌های SPI و SEI را که به شاخص SEPI منتهی می‌شوند، نشان می‌دهد. در همین راستا، به تناسب صورت مختلف ترکیبی می‌توان قواعد متوالی را نوشته و در پایگاه دانش ذخیره کرد. با توجه به این‌که در خروجی حاصل از برآیند ترکیب، شاخص‌های SPI و SEI در تعیین وضعیت SEPI دخالت داده شود، وزن هر کدام از شاخص‌ها با توجه به تأثیر پارامتر بارندگی و درجه حرارت بر شدت خشکسالی مدنظر قرار گرفت در نتیجه شاخص‌های SPI و SEI به ترتیب با وزن های ۰/۶۶۷ و ۰/۳۳۳ در محاسبات دخالت داده شدند. برای نوشتن قاعده در محیط MATLAB از جداولی هم‌چون جدول(۵) به عنوان الگوی راهنما و رابطه (۶) در عطف به داده‌های این جدول استفاده شد (افروز و همکاران،۱۳۹۰). جدول مذکور حامل عناصری است که به کمک آن می‌توان قاعده‌ای را که منعکس کننده شرایط خشکسالی است، تعریف کرد.

جدول ۵: جدول راهنما در نوشتن قواعد

نام شاخص	نمره غیر فازی وضع موجود	وزن	بهترین حالت	نمره وزنی وضع موجود	نمره وزنی در وضع DVH
SPI	۰/۵۰	۰/۶۶۷	۰/۹۵۵	۰/۳۳۳	۰/۶۳۶
SEI	۰/۱۴	۰/۳۳۳	۰/۹۵۵	۰/۰۴	۰/۳۱۸
مجموع				۰/۳۷۸	۰/۹۵۵

رابطه ۶:

$$c_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} v_i w_i}$$

در این رابطه c_i معرف مقدار تابع فازی SEPI در حالت i از ترکیب شاخص SPI و SEI است، S_i، نمره غیر فازی وضع موجود شاخص‌های SPI و SEI در حالت i را نشان می‌دهد، w_i نشان‌گر وزن شاخص‌ها در حالت i، $s_i w_i$ معرف نمره وزنی حالت iدر وضع موجود، v_i معرف معرف نمره غیر فازی حالت i در وضعیت DVH، و$v_i w_i$، معرف نمره وزنی حالت iدر وضعیت DVH است. به‌عنوان مثال از محتوای نمونه ارائه شده در جدول (۶) قاعده معین از سری قواعد تعیین شده در جهت تعیین وضعیت شاخص SEPI استخراج شده است. این قاعده بیان می‌کند که اگر SPI در طبقه ترسالی شدید و SEI در طبقه ترسالی ملایم باشد، SEPI در طبقه ترسالی متوسط قرار می‌گیرد نمونه قاعده بیان شده در در رابطه (۷) آورده شده است:

رابطه ۷:

$$IFF \quad SPI.is.WH.AND.SEI.is.WS. \quad THEN.SEPI.is.WA$$

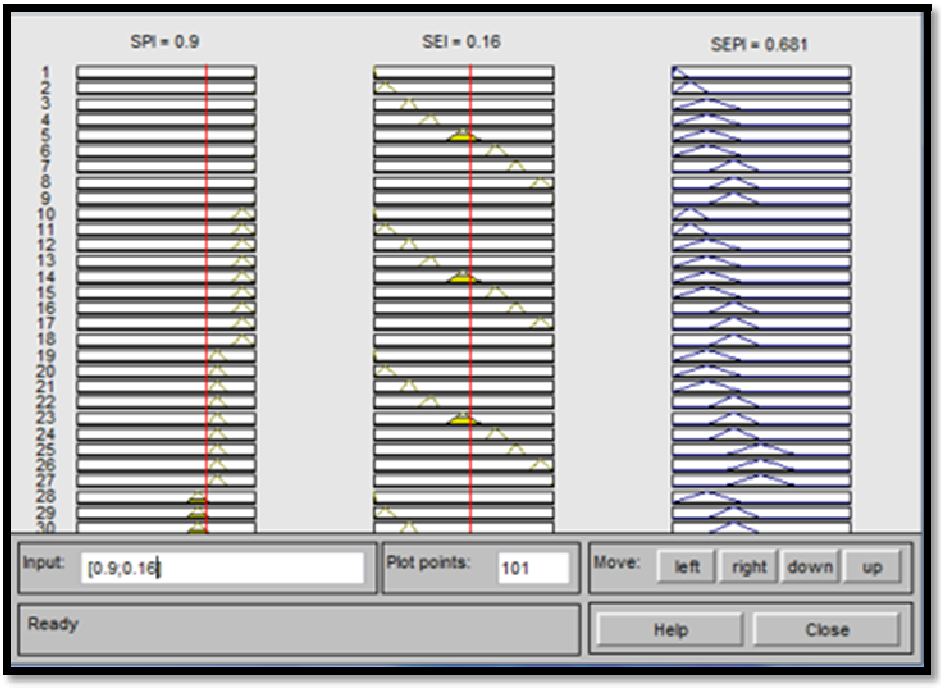
با توجه به آن‌که قواعد بر مبنای دو شاخص SPI و SEI، که هر یک در ۹ حالت مطرح است، شکل می‌گیرد، بنابراین تعداد قواعدی که منعکس کننده نتایج حاصل از ترکیب‌های ممکن از صورت وضعیت‌های مختلف دو شاخص است، بالغ بر ۸۱ قاعده تعیین شد. نمونه‌هایی از قواعد تعیین شده به شرح جدول ۶ می‌باشد:

جدول ۶: نمونه قواعد

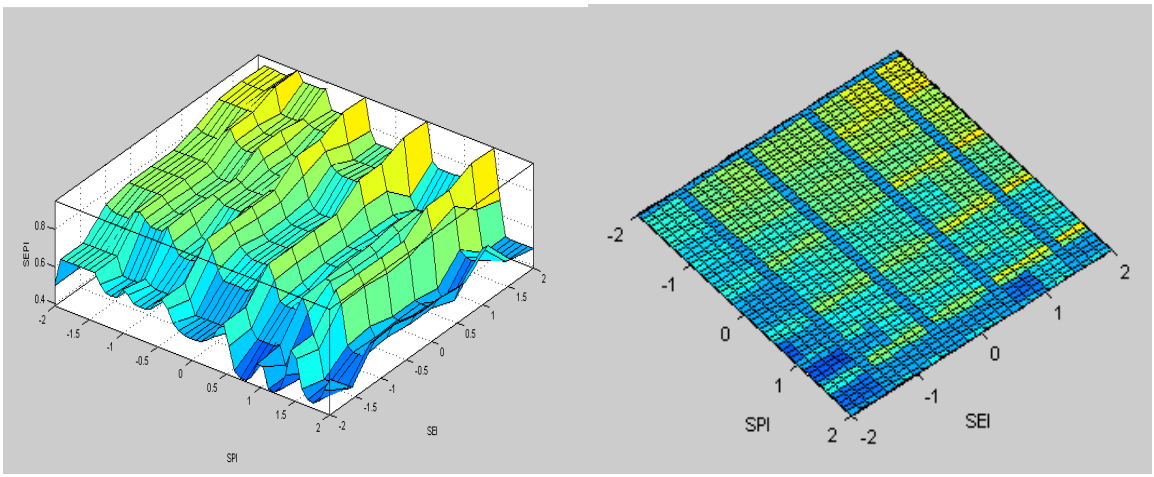
IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WVH. THEN.SEPI.is.WVH
IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WH. THEN.SEPI.is.WH
IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WA. THEN.SEPI.is.WH
IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.WS. THEN.SEPI.is.WA
IFF SPI.is.WVH.AND.SEI.is.N. THEN.SEPI.is.WA

وارد کردن قواعد فازی در محیط MATLAB

بعد از تدوین قواعد مورد نظر برای واردکردن این قواعد در محیط MATLAB در قالب پایگاه دانش فازی و سیستم استنتاج فازی از جعبه ابزار Fuzzy logic استفاده می‌کنیم. در مرحله بعد می‌توان با استفاده از ابزارهای نمایش‌گر قاعده (Rule Viewer) با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI مقدار شاخص SEPI را به‌دست آورد. به‌عنوان مثال در شکل (۵) در قسمت INPUT با وارد کردن مقدار شاخص‌های SPI و SEI که به ترتیب ۰/۹ و ۰/۱۶ می‌باشد، شاخص SEPI به مقدار ۰/۶۸ به دست آمده است در نمایش‌گر(Surface Viewer) نیز به تناسب تغییرات مقادیر شاخص‌های ورودی SPI و SEI می‌توان فراز و فرودهای سطوح شاخص SEPI را در یک نمای گرافیکی دنبال کرد (شکل ۶).



شکل ۵: نمایی از Rule Viewer در محیط MATLAB *(ماخذ: نگارندگان)*



شکل ۶: سطح منحنی حاصل از ترکیب دو شاخص SPI و SEI برای محاسبه شاخص SEPI (نمایی از Surface Viewer در محیط MATLAB) *(ماخذ: نگارندگان)*

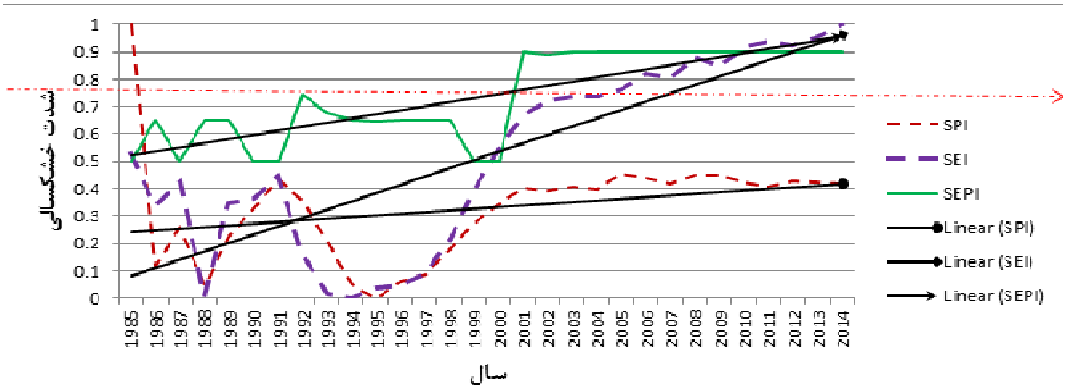
پس از این‌که شاخص فازی SEPI به طریق بیان شده به‌دست آمد، نحوه تاثیر دما و بارندگی در خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بررسی شد. سپس به پایش خشکسالی پرداخته می‌شود. در پایش خشکسالی بر اساس شاخص SEPI، روند، شدت تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی را مورد بررسی قرار می‌گیرد. روند شاخص‌های مورد بررسی با روش روند خطی تعیین می‌شود. برای به‌دست آوردن درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف، از رابطه Frequency استفاده شد.

نتایج و بحث

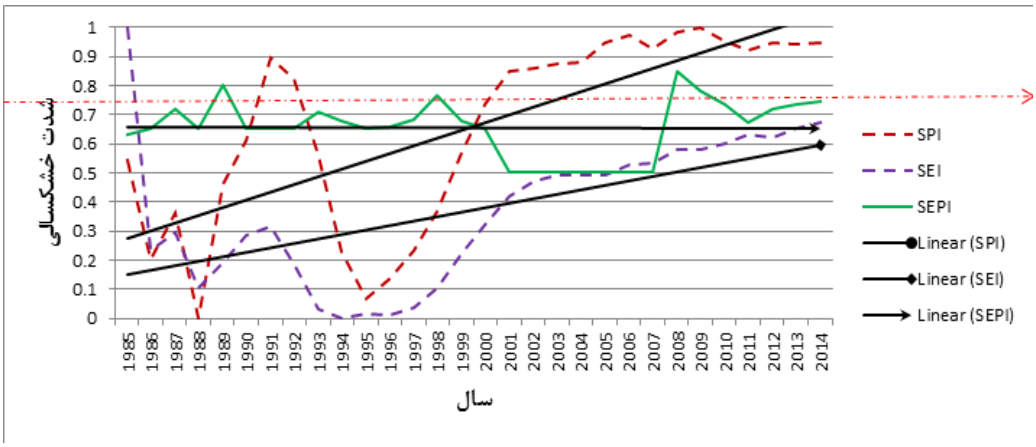
بررسی نحوه تاثیر بارندگی و دما در خشکسالی

برای بررسی نحوه‌ی تاثیر دما و بارندگی در شرایط خشکسالی ایستگاه‌ها، می‌توان میزان تغییراتی را که در شاخص‌های SPI و SEI حاصل شده و در شاخص SEPI نمود پیدا کرده است، مورد بررسی قرار داد. (شکل‌های ۷ تا ۱۶) جهت این بررسی ترسیم شده‌اند. بررسی این اشکال نشان می‌دهدکه در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه مقدار تبخیر و تعرق مشابه هم در خشکسالی محیط بوده یعنی مقدار آن از ماه ژانویه سال ۱۹۹۱ تا مه سال ۱۹۹۴ سیر نزولی داشته است و بعد از این ماه شکل افزایشی را به خود گرفته است. در صورتی که تاثیر بارندگی در مقیاس ۶ ماهه ضعیف‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه می‌باشد. یعنی از ماه فوریه سال ۱۹۹۵ تا ژوئن سال ۲۰۰۰ روند افزایشی به خود گرفته و بعد از آن شکل یکسانی را می‌پیماید. و شاخص SPI بر روی شاخص SEPI تاثیر گذاشته و تا حدودی یک روند را نشان می‌دهند. و شاخص SEPI در مقیاس ۶ ماهه شکل تندتری را نسبت به مقیاس ۱۲ نشان می‌دهد. در صورتی که در ایستگاه تبریز در مقیاس ۶ ماهه تبخیر و تعرق شکل تندری به خود گرفته است و این از ماه مه ۱۹۹۴ به بعد روند افزایشی را شامل شده و تا سال ۲۰۱۴ ادامه پیدا کرده است و مقدار بارش نیز که شاخص SPI را همراه خود دارد با شاخص SEPI نوسانی متعددی را به همراه دارد و در مقیاس ۱۲ ماه این روند شدت کم‌تری را نسبت به

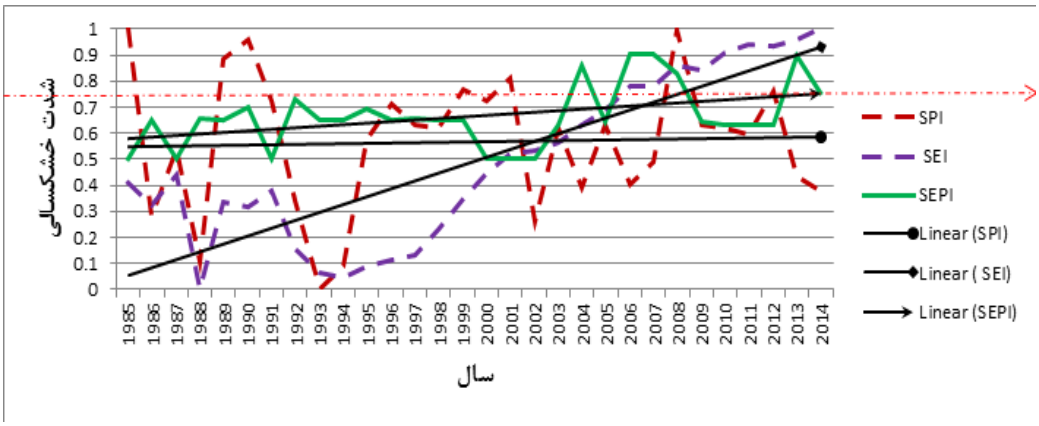
۶ ماهه دارد. در ایستگاه سقز شکل تبخیر و تعرق در مقیاس ۶ ماهه شدت ضعیف‌تری را نسبت به ۱۲ ماهه دارد و از ماه ژولای ۱۹۹۴ به شدت افزایش یافته و با شکل افزایشی خود ادامه پیدا می‌کند هر چند نوسان‌های را شامل می‌شود اما مقدار بارش کاهش خود را از آوریل ۱۹۹۲ شروع شده و تا سال ۲۰۱۴ ادامه داشته است و مقدار تبخیر و تعرق و دما و و مقدار بارش ما با نوسان‌های همراه بوده است. اما در ایستگاه مراغه تبخیر و تعرق و دما در مقیاس ۶ ماهه و ۱۲ ماهه تقریباً مشابه هم بوده و به یک شکل در ایستگاه تاثیر گذاشته‌اند. و شامل نوسان‌های شدیدتری از ماه آگوست سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۴ را به خود گرفته است. در ایستگاه مهاباد شکل تاثیرگذاری تبخیر و تعرق و دما در مقیاس ۶ ماهه شدیدتر از مقیاس ۱۲ ماهه است. در سال ۱۹۹۳ در ماه سپتامبر به شدت مقدار تبخیر و تعرق کاهش پیدا کرده است ولی مقدار دما نوسان شدیدی را شامل می‌شود.



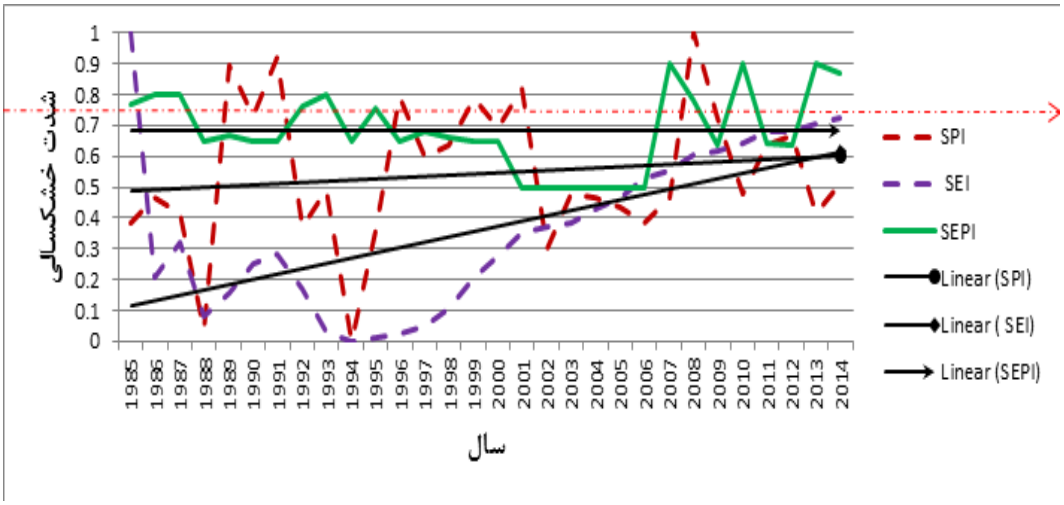
شکل ۷: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۶ ماهه



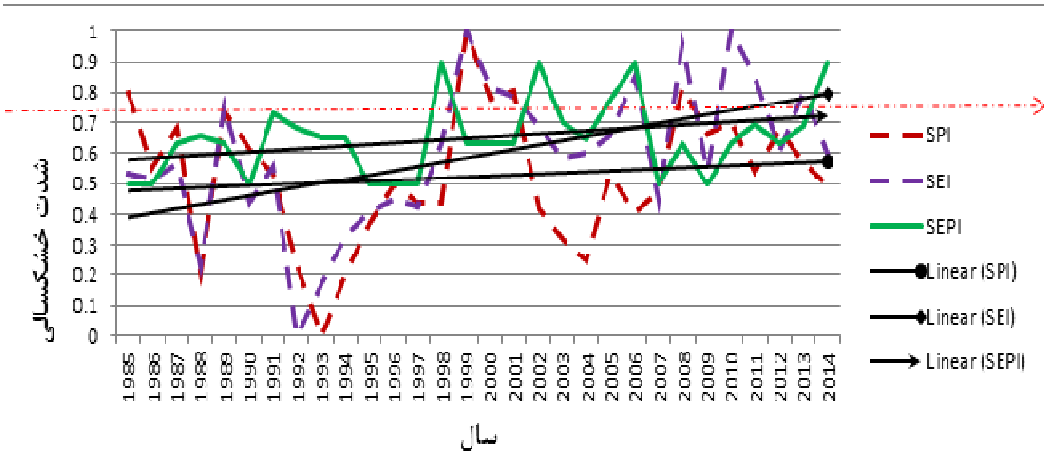
شکل ۸: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه ارومیه در مقیاس ۱۲ ماهه



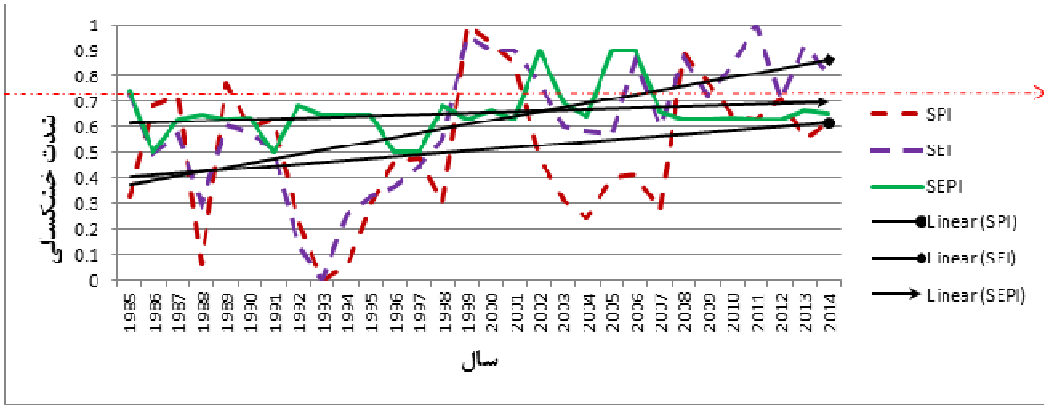
شکل ۹: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه تبریز در مقیاس ۶ ماهه



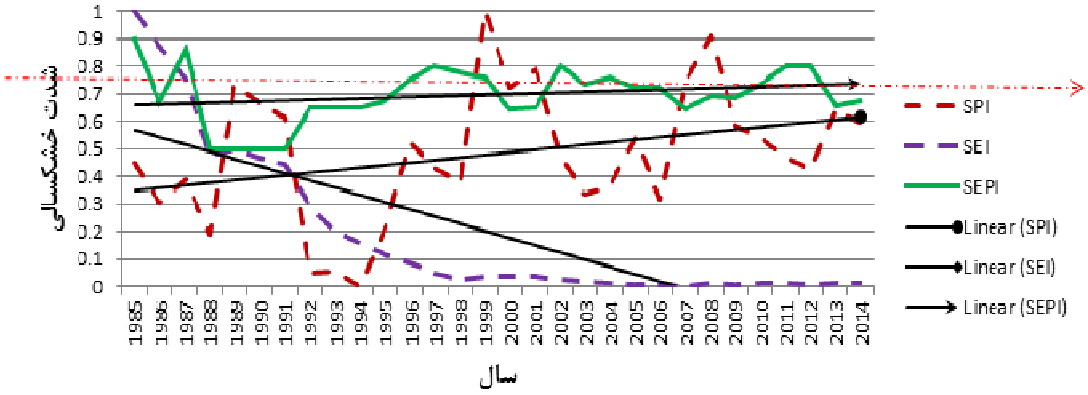
شکل ۱۰: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماهه



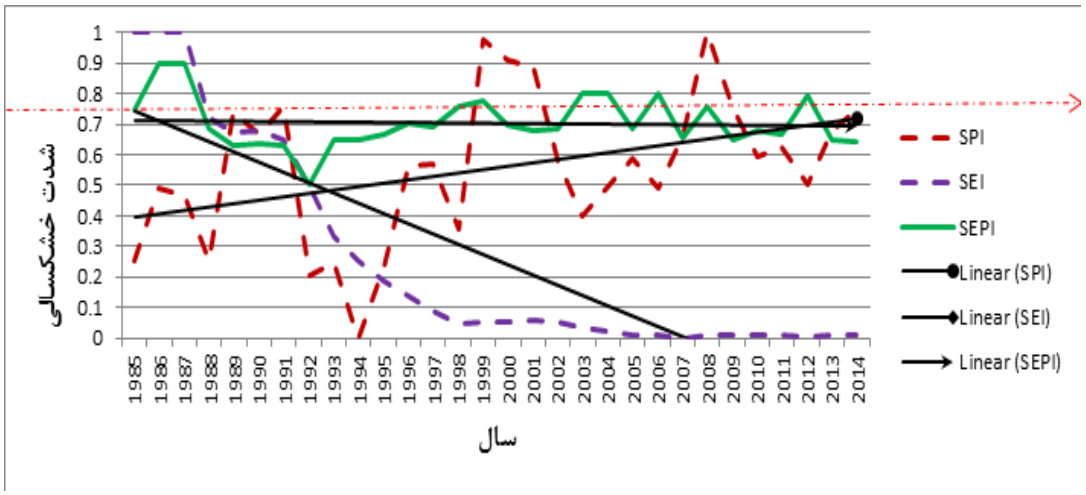
شکل ۱۱: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مهاباد در مقیاس ۶ ماهه



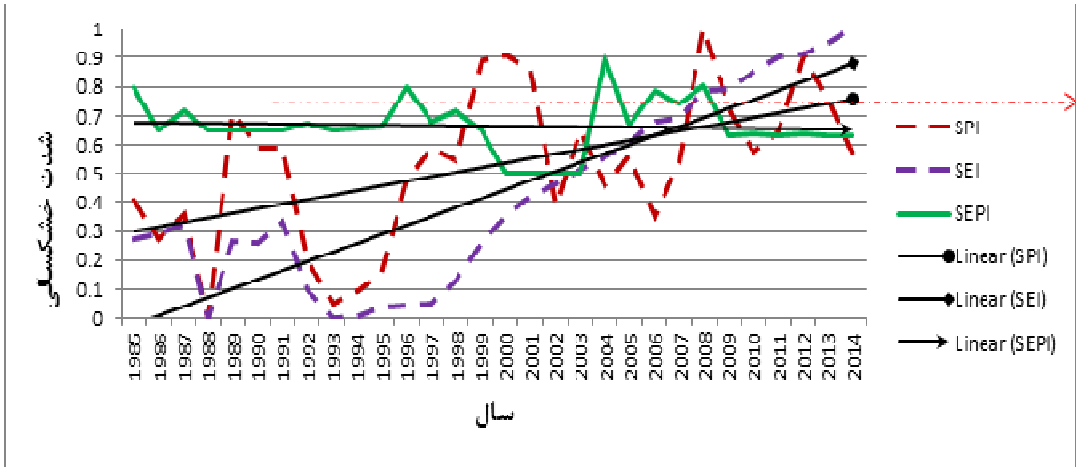
شکل ۱۲: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مهاباد در مقیاس ۱۲ ماهه



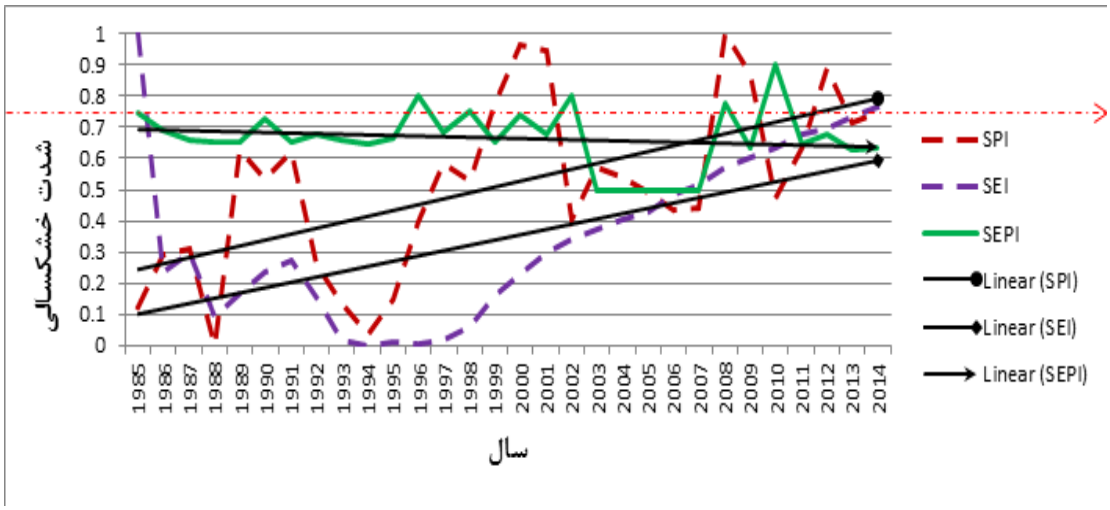
شکل ۱۳: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه سقز در مقیاس ۶ ماهه



شکل ۱۴: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه سقز در مقیاس ۱۲ ماهه



شکل ۱۵: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مراغه در مقیاس ۶ ماهه



شکل ۱۶: نوسان شاخص‌ها در ایستگاه مراغه در مقیاس ۱۲ ماهه

پایش خشکسالی

براساس شاخص SPI (که شدت طبقات در حد فواصل ۲- تا ۲+ قرار دارد) خشکسالی برای مقیاس ماهانه به این صورت تعریف می‌شود: دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد و به مقدار ۱- و کم‌تر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SPI مثبت شود. با توجه به این که طبقات خشکسالی شاخص SEPI تقریباً مشابه شاخص SPI می‌باشد اما طبقات آن بین ۰ و ۱ قرار دارد بعد این که مقادیر طبقات خشکسالی شاخص SPI در حد فاصل ۰ تا ۱ قرار بگیرد، مقادیر منفی اعداد بین ۰/۵ تا ۱ خواهد بود و ۱- هم معادل ۰/۷۳ خواهد شد(در (شکل‌های ۷ تا ۱۶) خط فلش قرمز رنگ مقطع مرز خشکسالی با مقدار ۰/۷۳ و بیش‌تر را نشان می‌دهد). بنابراین در شاخص SEPI می‌توان خشکسالی برای مقیاس ماهانه را به این صورت تعریف کرد: دوره‌ای که SEPI دائماً بیش‌تر از ۰/۵ و به مقدار ۰/۷۳ و به بیش‌تر برسد و زمانی پایان می‌پذیرد که SEPI کم‌تر از ۰/۵ شود. براساس اعداد فازی مورد استفاده در عطف به متغیرهای زبانی، طبقات

خشکسالی و ترسالی در شاخص SEPI و مقادیر آن‌ها در جدول (۷) مشخص شده است. شدت خشکسالی براساس مقادیر طبقات مشخص شده در این جدول بررسی می‌شوند.

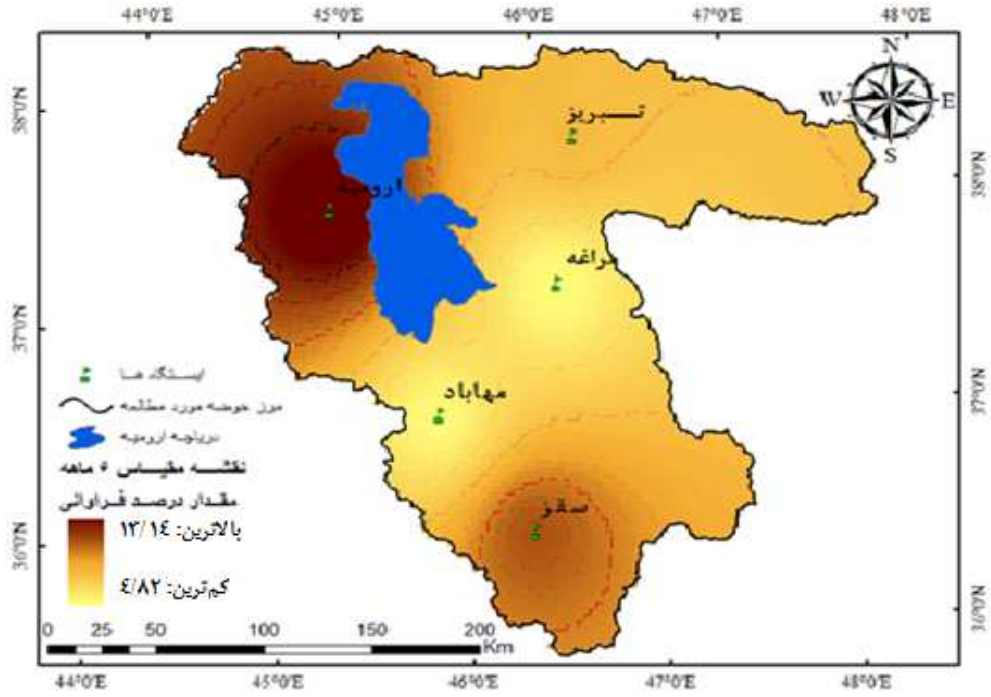
جدول ۷: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص فازی SEPI

طبقات خشکسالی	مقادیر شاخص SEPI
خشکسالی خیلی شدید	۱ – ۰/۹۵
خشکسالی شدید	۰/۹۵ – ۰/۸۶
خشکسالی متوسط	۰/۸۶ – ۰/۷۳
خشکسالی ملایم	۰/۷۳ – ۰/۵۸
نرمال	۰/۵۸ – ۰/۴۳
ترسالی ملایم	۰/۴۳ – ۰/۲۸
ترسالی متوسط	۰/۲۸ – ۰/۱۴
ترسالی شدید	۰/۱۴ – ۰/۰۵
ترسالی خیلی شدید	۰/۰۵ - ۰

برای پایش وضعیت خشکسالی، شدت، تداوم زمانی، روند و درصد فراوانی وقوع خشکسالی در شاخص SEPI براساس نمودارهای ۱ تا ۱۰ بررسی می‌شود. بررسی شدت خشکسالی‌های رخ داده نشان می‌دهند در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های سپتامبر، آگوست سال ۲۰۰۰ هر دو ماه با مقدار ۰/۹۰ و در ماه ژولای سال ۲۰۰۳ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه سپتامبر ۲۰۰۸ با مقدار ۰/۸۵ رخ داده است. که شدت خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس ۶ ماهه این ایستگاه ضعیف‌تر است. اما در ایستگاه تبریز در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های ژوئن ۲۰۰۶، سپتامبر سال ۲۰۰۷ هر دو ماه با مقدار ۰/۸۹ و در ماه آگوست سال ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه ژوئن ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. در ایستگاه سقز در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه‌های اکتبر ۱۹۸۵، با مقدار ۰/۹۰ و ماه ژولای سال ۱۹۸۷ با مقدار ۰/۸۶ رخ داده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه ژوئن ۲۰۱۳ و ماه آگوست هر دو با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. اما در ایستگاه مراغه در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه مه ۲۰۰۴، با مقدار ۰/۹۰ و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه اکتبر ۲۰۱۰ با مقدار ۰/۹۰ رخ داده است. ایستگاه مهاباد در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ماه ژولای ۲۰۰۲، با مقدار ۰/۸۹ رخ داده است. و در مقیاس ۱۲ ماهه نیز ماه آگوست ۲۰۰۶ با مقدار ۰/۹۱ رخ داده است. از نظر مقدار شدت خشکسالی ایستگاه ارومیه شدیدتر از بقیه ایستگاه‌ها است. از نظر شدت خشکسالی که مورد بررسی قرار گرفت هر ۵ ایستگاه مورد مطالعه دارای خشکسالی می‌باشند به عبارتی شاخص SEPI بالای ۰/۷۳ را می‌توان مشاهده کرد. مقایسه خشکسالی در دو مقیاس زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در مقیاس ۶ ماهه شدت و تکرار خشکسالی بیش‌تر بوده است ولی در مقیاس ۱۲ ماهه از شدت خشکسالی به نسبت کاسته شده ولی بر تداوم اضافه شده است. به عبارتی خشکسالی‌ها در مقیاس

زمانی کوتاه مدت از تداوم زیادی برخوردار نبوده و شدیداً تحت تاثیر بارندگی ماهانه می‌باشند. در حالی که خشکسالی در دوره‌های زمانی بلند مدت واکنش بسیار کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند، بنابراین تداوم خشکسالی طی دوره‌های بلند مدت بیش‌تر از دوره‌های کوتاه مدت است. بررسی انجام شده در رابطه با روند شاخص‌ها با توجه به (شکل‌های ۷ تا ۱۶) نشان داد، شاخص SEPI در هر ۵ ایستگاه روند افزایشی داشته است. بنابراین با توجه به این که ویژگی نهایی خشکسالی با استفاده از شاخص SEPI بررسی شده است می‌توان گفت خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه روند افزایشی دارد. روند شاخص SPI، روند مقدار بارندگی در طول دوره آماری را نشان می‌دهد. در زمانی که این شاخص روند افزایش داشته و رو به خشکسالی می‌رود، و روند بارندگی کاهشی بوده و بر عکس روند شاخص SPI (ایستگاه مهاباد در هردو مقیاس ۱۲ و ۶ ماهه، و ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماهه و ارومیه در مقیاس ۱۲ ماهه) نیز مشابه شاخص SEPI افزایشی می‌باشد. شاخص SEI نیز در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه (سقز روند کاهشی)، روند افزایشی می‌باشند. اما شدت افزایش در هر شاخص SEI شدیدتر از شاخص SPI و SEPI می‌باشد و نشان می‌دهد که دمای هوای در حوضه دریاچه ارومیه با شدت بیش‌تری رو به افزایش دارد. فراوانی خشکسالی اهم ویژگی‌ها در بررسی خشکسالی یک منطقه به شمار می‌آید. محاسبه درصد توزیع فراوانی در شدت‌های مختلف می‌تواند در ارزیابی قابلیت منطقه مورد مطالعه نسبت به شدت‌های مختلف خشکسالی کاربرد داشته باشد (فرجزاده، ۱۳۸۴). درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول(۸) بیان شده است.

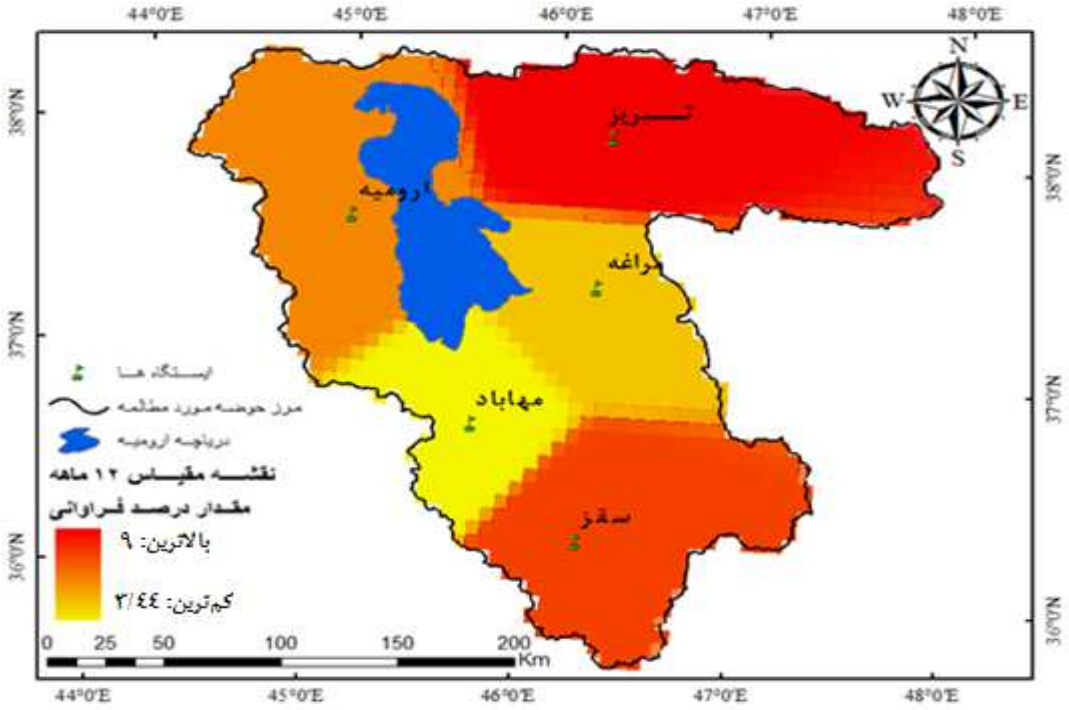
درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در (جدول ۸) بیان شده و در (شکل‌های ۱۷ تا ۱۸) در مقیاس جداگانه آورده شده است.



شکل ۱۷: درصد وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۶ ماهه

جدول ۸: درصد فراوانی وقوع خشکسالی در طبقات مختلف در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه

	درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه					درصد فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه				
طبقات خشکسالی	ارومیه	تبریز	مهاباد	سقز	مراغه	ارومیه	تبریز	مهاباد	سقز	مراغه
خشکسالی خیلی شدید	۰/۷۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
خشکسالی شدید	۱۱/۶۸	۲/۷	۳/۶	۱/۷۶	۰/۹۰	۰	۳/۵۶	۲/۷	۱/۸	۰/۹۰
خشکسالی متوسط	۰/۷۴	۳/۱۵	۱/۵	۹/۱۳	۳/۹۲	۶/۱۱	۵/۴۴	۰/۷۴	۵/۴۶	۴/۶
خشکسالی ملایم	۵/۸۵	۱۱/۰۳	۱۰/۲۸	۷/۸۹	۱۱/۷۷	۱۰/۶۶	۸/۴۲	۱۲/۸۵	۹/۹۷	۱۱/۸۴
نرمال	۳/۵	۳	۴	۲	۲	۳/۵	۲/۵	۲	۰/۵۰	۲/۵
ترسالی ملایم	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۴۰	۰	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۳۸	۰	۰/۴۰
ترسالی متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ترسالی شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ترسالی خیلی شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۱۳/۱۴	۵/۸۵	۵/۱	۱۰/۸۹	۴/۸۲	۶/۱۱	۹	۳/۴۴	۷/۲۶	۵/۵



شکل ۱۸: درصد وقوع خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس ۱۲ماهه

با توجه به تعریفی که از خشکسالی بر اساس شاخص SEPI ارائه شد، مقادیر ۰/۷۳ و بالاتر یا از طبقه خشکسالی ملایم به بالاتر به عنوان شرایط خشک مطرح می‌شود بر این اساس در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ایستگاه ارومیه با ۱۳/۱۴ درصد، ایستگاه سقز با ۱۰/۸۹ درصد، ایستگاه تبریز با ۵/۵۸ درصد، ایستگاه مهاباد با مقدار ۵/۱ درصد و ایستگاه مراغه با مقدار ۴/۸۲ درصد، موارد خشکسالی رخ داده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ایستگاه تبریز با ۹ درصد، ایستگاه سقز با ۷/۲۶ درصد، ایستگاه ارومیه با ۶/۱۱ درصد، ایستگاه مراغه با مقدار ۵/۵ درصد و ایستگاه مهاباد با مقدار ۳/۴۴ درصد، از ماه‌های مورد مطالعه در سری زمانی، خشکسالی اتفاق افتاده است

شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی، در حوضه دریاچه ارومیه در این پژوهش انجام شد، این روش در اکثر مطالعات که صورت گرفته، روش مناسبی در امر پیش‌بینی عنوان شده است، از جمله (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴) در پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SEPI توسعه یافته براساس منطق فازی، (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹) در پایش و خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI)، توسعه یافته براساس منطق فازی در مشهد، (علیاری و همکاران، ۱۳۸۷)، در پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا در شهر اراک، (فلاح قاهری و همکاران، ۱۳۸۹)، در پیش‌بینی بارش بهاره خراسان رضوی بر پایه الگوهای سینوپتیکی پیوند از دور، و هم‌چنین، (هنر و همکاران، ۱۳۸۹) در پیش‌بینی دبی سرریز جانبی، دقت قابل قبول مدل را تایید نمودند. با این حال با همه مقایسه صورت گرفته نتایج این مدل در پژوهش حاضر در پیش‌بینی SEPI کارایی رضایت‌بخشی دارد.

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه بر اساس شاخص SEPI پرداخته شد. شاخص SEPI توسعه یافته شاخص SPI بر اساس منطق فازی است. از شاخص SEPI در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه استفاده شده و ویژگی خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. در یک جمع‌بندی مربوط به پایش و بررسی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه مهم‌ترین نتایج به دست آمده را می‌توان به صورتی که در ادامه می‌آید فهرست کرد:

+ در ایستگاه‌های مورد مطالعه، در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدت و تعداد تکرار خشکسالی‌ها بیش‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه است اما در مقیاس ۱۲ ماهه تداوم خشکسالی‌ها بیش‌تر می‌باشد. خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی کوتاه مدت تداوم کمتری دارند و شدیداً تحت تاثیر بارندگی ماهانه می‌باشند. در حالی که خشکسالی در دوره‌های زمانی بلند مدت واکنش بسیار کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند.

+ روند خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه افزایشی، روند دما با شدت بیش‌تری روند افزایشی دارد.

+ بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه و کم‌ترین آن در مهاباد مشاهده می‌شود.

+ درصد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه ارومیه، سقز و مراغه در مقیاس ۶ ماه بیش‌تر از مقیاس ۱۲ ماهه است اما در ایستگاه‌های تبریز و مهاباد شرایط برعکس می‌باشد.

+ از نظر تداوم خشکسالی، بیش‌ترین تداوم خشکسالی در بین ایستگاه های مورد مطالعه، در ایستگاه ارومیه در مقیاس زمانی ۶ ماهه از ماه مه تا سال ۲۰۰۵ تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۶ به مدت ۱۹ ماه اتفاق افتاده است. در ایستگاه تبریز در مقیاس ۱۲ ماه خشکسالی با تداوم ۱۰ ماه، از ماه می سال ۲۰۰۱ تا فوریه سال ۲۰۰۲رخ داده است. ایستگاه سقز از نظر تداوم خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه به مدت ۸ ماهه از ماه آوریل تا ماه نوامبر سال ۱۹۸۷ تداوم داشته است. کم‌ترین تعداد خشکسالی و کم‌ترین تداوم زمانی خشکسالی در ایستگاه‌های مهاباد و مراغه مشاهده می‌شود.

با این‌که تغییرات مقادیر شاخص SPI تحت تاثیر پارامتر دما و تبخیر و تعرق (که از پارامترهای موثر در تغییر شدت دوره‌های خشک است) قرار ندارد اما شاخص SEPI تحت تاثیر این عامل می‌باشد. به این صورت که در بعضی از زمان‌ها بارندگی نسبت به نرمال افزایش داشته و بر اساس شاخص SPI شرایط ترسالی باید حاکم باشد اما شاخص SEPI، وقوع دوره خشک را نشان می‌دهد. دلیل وقوع این دوره‌ها را می‌توان به افزایش دما و تبخیر و تعرق نسبت داد در این شرایط افزایش بارندگی به‌حدی نبوده است که بتواند کمبود رطوبت ناشی از افزایش تبخیر و تعرق را جبران کند. هم‌چنین شاخص SEPI به پیروی از افزایش (کاهش) مقدار شاخص‌های SPI و SEI، افزایش(کاهش) یافته است و ویژگی دو شاخص SPI و SEI را به خوبی در خود منعکس می‌کند از این‌رو بررسی خشکسالی با شاخص SEPI بهتر از شاخص SPI می‌باشد. در پایان خاطر نشان می‌شود که شاخص SEPI از ترکیب دو پارامتر بارندگی و دما (تبخیر و تعرق) در سیستم استنتاج فازی حاصل می‌شود و در این پژوهش نتایج حاصل از آن در پایش خشکسالی رضایت بخش می‌باشد. ولی با توجه به این که در رخداد خشکسالی پارامترهای اقلیمی زیادی غیر از دو پارامتر بارندگی و دما

موثراند، بنابراین در راستای غنایی بیش‌تر ادبیات موضوع مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی برای محاسبه شاخص SEPI امکان ترکیب و مداخله عناصر اقلیمی بیش‌تری مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

انصاری، حسین، داوری، کامران و سیدحسین ثنائی نژاد، (۱۳۸۹)، پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی وتبخیر و تعرق استاندارد شده SEPI، توسعه یافته بر اساس منطق فازی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره‌ی ۱، صص ۳۸-۵۲.

افروز، بهرام، غفاری، عطا و رضا حیدری، (۱۳۹۰)، ارایه الگوی مناسب در سطح‌بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعه کارآفرینی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.

جوی‌زاده، سعید، حجازی‌زاده، زهرا، (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، چاپ اول، تهران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه (سمت)، ص ۳۷۶.

جعفرنژاد، علی، کیا، سید مصطفی، (۱۳۸۹)، منطق فازی در MATLAB، انتشارات کیان رایانه سبز، صص ۱۸۰-۱۵۷.

جان‌درمیان، یونس، شکیبا، علیرضا و حمیدرضا ناصری، (۱۳۹۵)، بررسی وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت سراب، کنفرانس بین اللملی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ایران، تبریز، صص ۱۶-۱۷.

حدادی، حسین، حیدری، حسن، (۱۳۹۴)، آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر روان آب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۵۸، صص ۲۴۷-۲۶۲.

خلیقی سیگارودی، شهرام، صادق سنگدهی، سیدعلی، خالد اوسطی، و یوسف قویدل رحیمی، (۱۳۸۸)، بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی: (SPI, PNPI, Nitzche)، (مطالعه موردی.استان مازندران)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد۱۶، شماره۱، صص۴۴-۵۴.

خشتکاری‌ثانی، صیاد، (۱۳۹۵)، واکاوی خشکسالی‌های استان آذربایجان غربی با شاخص SPI و GIS، کنفرانس بین اللملی با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ایران، تبریز، صص ۱۶-۱۷.

رهنمایی، محمدتقی، (۱۳۷۰)، توان‌های محیطی ایران، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.

سبحانی، بهروز، غفاری‌گیلانده، عطا و اکبرگلدوست، (۱۳۹۴)، پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص SEPI توسعه یافته بر اساس منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیای، سال ۱۵، شماره ۳۶، صص ۵۱-۷۲.

صفری، علی، جاهد، سلیمان، حسین، فلاحی و شهرام، ریاحی‌مدوار، (۱۳۸۲)، استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی–عصبی تطابقی (ANFIS) برای پیش‌بینی قدرت سرطان‌زایی ویروس پاپیلوهای انسانی، مجله علمی پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اراک، شماره۴، صص ۹۵-۱۰۵.

علیاری، مهدی، تشنه‌لب، محمد و علی خاکی صدق، (۱۳۸۷)، پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا با کمک با روش‌های ترکیبی شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه، خط حافظه‌دار تأخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO، مجله کنترل، شماره ۱، صص ۱۹-۱.

علیزاده، امین، آشگرطوسی، شادی، (۱۳۸۷)، توسعه یک مدل برای پایش و پیش بینی خشکسالی(مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، مجله علوم، صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد۲۲، صص ۲۳۵-۲۲۳.

علیزاده، امین، (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ۳۰، ص ۴۰۵.

فلاح قاهری، غلام عباس، موسوی بایگی، محمد و مجید مهدی نوخندان، (۱۳۸۷)، پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپیتیکی با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی ANFIS، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صص ۱۳۹-۱۲۱.

مالچسفکی. یاردان، (۱۳۸۵)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار، عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت.

منتصری، مجید، امیرعطایی، بابک، (۱۳۹۴)، پیش‌بینی استوکستیکی احتمالات وقوع خشکسالی (مطالعه موردی: شمال غرب کشور)، نشریه مهندس عمران و محیط زیست، جلد ۴۵، شماره ۱.

هنر، تورج، طرازکار، محمدحسین، و محمدرضا طرازکار، (۱۳۸۹)، برآورد ضریب دبی سریزهای جانبی با استفاده از سیستم استنتاج فازی– عصبی، مجله پژوهشی‌های حفاظت آب و خاک، شماره۲، صص ۱۷۷-۱۶۹.

Arms, K., (1990), Nvironmental Sciences. Staunders Collage Pub Florida.

Huanga, S., Hunger, Q., Changa, J., Zhua, Y., Lengb, G., (2015), Drought structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the Yellow River basin, China. Journal of Hydrology, 530: 127–136

Jain, v., Pandey, R., Jain, M., Byun, H-R., (2015), Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. Weather and Climate Extremes, 8: 1-11.

Keta T.B., Doesken N.J., (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eightth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179- 18u PP.

Mo, K.C., (2008), Model-based drought indices over the United States, J. Hydrometeorol, 9, 1212–1230. http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1002.1.

Niranjana, Kumar, k. N., Rajeevan, M., Pai, D. S., Sivastava, A.K., Preethi, B., (2013), On the observed variability of monsoon droughts over india weather and climate extremes, 1: 42-50.

Palmer, W.C., (1965), Meteorological drought, Research Iranian Journal of Irrigation and DrainageNo. 4, Vol. 8, Winter. 2015, p. 845-856.

Peters, E., G. Bier, H.A., Lanen, and P. Torfs, (2006), Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment, Journal of Hydrology, 321, pp 257-275.

Stairs, G., Vangelis, H., (2004), Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. Journal of Water Resources Management 18, 1-12.

Spinoni, j., Naumann, G., vogt, j., Barbosa, P., (2015), The biggest drought events in Europe from 1950-2012.journal of hydrology: Regional, 3: 509-524.

Touma, D., Ashfaq, M., Nayak., M., Kao, S-C., Diffenbaugh, N., (2015), A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. Journal of Hydrology, 526: 196-207.

Wilhite, D.A., (2000), Drought: A Global Assessment, Routledge Press, London and NewYork, Vol. 1.

Wang, L., Chen, W., (2014), A CMIP5 multimodel projection of future temperature, precipitation, and climatological drought in China. Int. J. Climatol. 34, 2059–2078. http://dx.doi.org/10.1002/joc.3822.

Zhao, M., Running, S.W., (2010), Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009.Science 329, 940–943

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۶

صفحات: ۸۸-۶۳

بررسی روابط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی در برخی از ایستگاه های همدیدی ایران

حسن فتحی زاد[۱]، اعظم غلامی نیا[۲]، محمدحسین مبین*[۳]، حمید سودائی زاده[۴]

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که می‌تواند خسارات قابل توجهی به بشر و سازه های طبیعی وارد آورد. رخداد این پدیده را با اطمینان کامل نمی توان پیش بینی نمود. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی امکان ارائه و توسعه مفهوم جدیدی از خشکسالی اقلیمی و ارزیابی ویژگی های همه جانبه آن بر اساس متغیرهای سه گانه هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با پدیده خشکسالی، چون بارش، تشعشع خورشیدی و تداوم ساعات آفتابی در مقیاس ماهانه و حتی کمتر از آن در برخی از ایستگاه های ایران که تابش خورشیدی و هم تعداد ساعات آفتابی در آنها اندازه گیری و ثبت شده، می باشد. این پژوهش با استفاده از داده های هواشناختی ۲۰ ایستگاه سینوپتیک ایران که در آن تابش خورشیدی ثبت گردیده، در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۰ انجام شد. ابتدا با استفاده از نرم افزار Minitab 17 ایستگاه های مورد مطالعه براساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد در مقیاس ماهانه (SMP)، تابش خورشیدی (SSI) و تعداد ساعات آفتابی (SSD) خوشه بندی و از هر خوشه یک ایستگاه همدیدی به عنوان نمونه انتخاب شد و جهت بررسی رابطه بین خشکسالی و متغیرهای خورشیدی، نقشه منحنی های هم ارزش بارش استاندارد شده ترسیم و سپس متغیر های معادله آنگستروم چون تابش خورشیدی و ساعات آفتابی به عنوان متغیرهای مرجع رسم گردید. نتایج نشان داد که ایستگاههای مورد مطالعه را می توان براساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده و متغیرهای خورشیدی به هشت خوشه¬ی متفاوت تقسیم بندی نمود. ضریب تعیین معادله¬ی آنگستروم در ایستگاه های بجنورد، رامسر و شیراز به ترتیب ۰/۰۳۸، ۰/۰۶۷، و ۰/۳۶ محاسبه برای بقیه ایستگاه ها ۰/۶۲-۰/۹۶ بدست آمد. بطور میانگین در دوره آماری، دوره خشکسالی در اکثر ایستگاه های فوق از اواخر ماه می (اردیبهشت) شروع شده و شامل ماههای ژون، ژولای، سپتامبر و اکتبر است و بعضاً تا اواخر نوامبر ادامه یافته و در همین دوره بیشترین مقادیر ساعات آفتابی و تابش خورشیدی نیز ثبت شده است.

واژگان کلیدی: متغیرهای سه گانه بارش استاندارد، آنگستروم، ساعات آفتابی، تابش خورشیدی

۱- دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد H.fathizad@stu.yazd.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد Az.gh1990@gmail.com

۳- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) mhmobin@yazd.ac.ir

۴- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد Hsodaie@yazd.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر در بین حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. اثرات پدیده خشکسالی از نظر درجه شدت، طول مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است (بانگلاپدیا، ۲۰۰۳)[1]. همچنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا این پدیده بتدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود (فاتحی مرج و حیدریان، ۱۳۹۲). بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است تا حدودی آنرا یک پدیده و بلیه خزنده می‌دانند، از سویی چون خشکسالی برخلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می شود، کمک‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده ها مثل سیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر می باشد (بانگلاپدیا، ۲۰۰۳). تعیین کمی دوره‌های خشک و دوره‌های مرطوب مشکل است، به دلیل اینکه تعاریف متفاوتی برای این رخدادها وجود دارد. برای مثال خشکسالی اقلیمی، هیدرولوژیکی و کشاورزی که در هریک از آنها معیارهای متفاوتی برای تشخص آغاز و خاتمه یک دوره خشک و مرطوب در بازه‌های زمانی ثبت شده ارائه شده است. برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب و تغییرات آن‌ها، شاخص‌های تخصصی بیشماری ارائه و توصیه شده که در برخی موارد داده‌های مورد نیاز آن به آسانی در دسترس می‌باشد (مانند بارندگی و دما). البته تاکنون علیرغم تلاش‌های بعمل آمده یک تعریف مشخص و منحصر بفرد برای خشکسالی و شاخص‌های آن که برای استفاده که درهمه‌ی زمینه ها کاربرد داشته باشد، ارائه نشده، اگرچه تعاریف متفاوتی توسط (ویلهایت و گلنتز، ۱۹۸۵)[2]، در این زمینه بیان گردیده است. شاید دلیل اصلی فقدان چنین تعریفی، ناشی از این حقیقت است که برای پایش پدیده خشکسالی دسترسی به داده‌های متعدد الزامی است. از این رو علاوه بر بارش، متغیرهای دیگری چون جریان سطحی، رطوبت خاک، رطوبت نسبی هوا، تبخیر، دما، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی به عنوان اطلاعات پایه ضروری هستند. تابش خورشیدی انرژی لازم برای بسیاری از فرآیندهای طبیعی و اقلیمی و چرخه‌های بیولوژیکی و جوی از جمله گردش عمومی هوا را تأمین می‌کند و رویدادهای جوی، اغتشاشات هوایی، پیدایش شرایط دمایی میانگین و مطلق، وضعیت بارشی و وزش بادها و طوفان‌ها بطور مستقیم یا غیر مستقیم نتیجه تغییر در بیلان تابشی خورشید در سطح زمین است. علاوه بر این پراکنش جغرافیایی پوشش گیاهی، حیات وحش، مراحل فنولوژیک و رشد گیاهان و بویژه نحوه استقرار سیستم‌های پرفشار و کم فشار هوا که پیامد آن پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب است، همه بنوعی تحت تأثیر تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین می باشد و ضروریست تأثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد. باتوجه به اهمیت مسئله خشکسالی مطالعات گسترده‌ای در سطح کشور و دنیا انجام شده است اما در هر یک از مناطق و کشورهای جهان از جمله ایران با استفاده از نمایه‌ها و روش‌های مختلف جنبه‌های گوناگون این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است می‌توان گفت

[1]- Banglapedia
[2]- Wilhite and Glantz

که در بخش عمده‌ای از این تحقیقات شاخص بارش استاندارد (SPI[1]) (مک‌کی[2]، ۱۹۹۳) به عنوان یکی از مناسب-ترین و رایج‌ترین نمایه‌های بررسی جنبه‌های مختلف خشکسالی اقلیمی (تداوم، حساسیت، شدت، بزرگی و فراوانی) به خاطر اینکه محاسبه‌ی آن آسان و فقط به داده‌های بارش نیاز دارد، مورد تأکید قرار گرفته است (لشنیزند، ۱۳۸۲؛ فاتحی مرج و حیدریان، ۱۳۹۲؛ تبوزاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ منتصری و امیر عطایی، ۱۳۹۴). بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که در زمینه‌ی موضوع پژوهش حاضر و بویژه روش و مراحل انجام آن در ایران هیچ گونه بررسی‌های مشابهی صورت نگرفته اما در سطح جهان (سیرداس، ۲۰۰۲)[3]، در پایان‌نامه دکترای خود این موضوع را برای اولین بار پیشنهاد نمود و در سال ۲۰۰۷ از این روش برای بررسی روابط بین خشکسالی و متغیرهای تابش خورشیدی استفاده نمود. وی با استفاده از اطلاعاتی چون تابش رسیده به سطح زمین به تابش بالای جو و ساعت آفتابی واقعی به ساعت آفتابی نجومی و بارش استاندارد شده در دوره‌ی زمانی ۱۹۸۲- ۱۹۹۱ در هفت ایستگاه همدیدی ترکیه با کاربرد روش سه‌گانه‌ی ترسیمی خشکسالی‌های اقلیمی را در رابطه با پارامترهای معادله‌ی خطی آنگستروم- پراسکات پیش‌بینی نمود. در این پژوهش برمبنای تکنیک کریجینگ مدل گوسین نمودارهای سه‌گانه‌ی خشکسالی-خورشیدی را ترسیم نمود. بعلاوه سن[4] (۲۰۰۸) از این روش به عنوان TDSIM نام برده و معتقد است که مدل‌های رگرسیونی چندگانه‌ی مختلف که تابش خورشیدی را با دیگر متغیرهای اقلیمی مرتبط می‌سازند با توجه به ماهیت چنین تکنیک‌های آماری دارای محدودیت‌هایی هستند از جمله اینکه با افزایش متغیرهای ورودی به مدل منابع خطا نیز افزایش می‌یابد و در بسیاری از موارد تغییرات تابش را توجیه نمی‌کند اما با کاربرد نمودارهای مدل سه‌گانه خشکسالی- تابش خورشیدی (TDSIM)[5] می‌توان تغییرات تابش را براساس دو متغیر دیگر و مرتبط با هم به طور همزمان تفسیر نمود. ضمنا آلتونکایناک[6] و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی با روشی مشابه نوسانات سطح آب دریاچه وان در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند در این تحقیق روش دیاگرام‌های سه‌گانه براساس تکنیک کریجینگ به کار رفته است و درنتیجه مشخص گردیده است که این روش نسبت به روش‌های دیگر مانند مارکوف و اریما برای پیش-بینی و مدلسازی تصادفی[7] کارایی بیشتری دارد زیرا روش‌های مذکور اساساً دارای ساختار خطی و غالباً برای سری-های ایستا کاربرد داشته و به هر حال توانایی محدودی در مدل کردن سری‌های ناایستا و پدیده‌هایی که دارای ماهیت غیرخطی هستند، دارند.

در ایران با توجه به گسترش بیابان‌های وسیع و وجود تابش خورشیدی برای تکمیل این گونه مباحث و رفع پاره‌ای از ابهامات، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی امکان ارائه و توسعه مفهوم جدیدی از خشکسالی اقلیمی و ارزیابی ویژگی‌های همه جانبه آن بر اساس متغیرهای سه گانه هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با پدیده خشکسالی،

---

[1]- Standardized Precipitation *Index*
[2]- McKee
[3]- Sirdas
[4]- Sen
[5]- Triple Drought-Solar Irradiation Model
[6]- Altunkaynak
[7]- Stochastic modelling

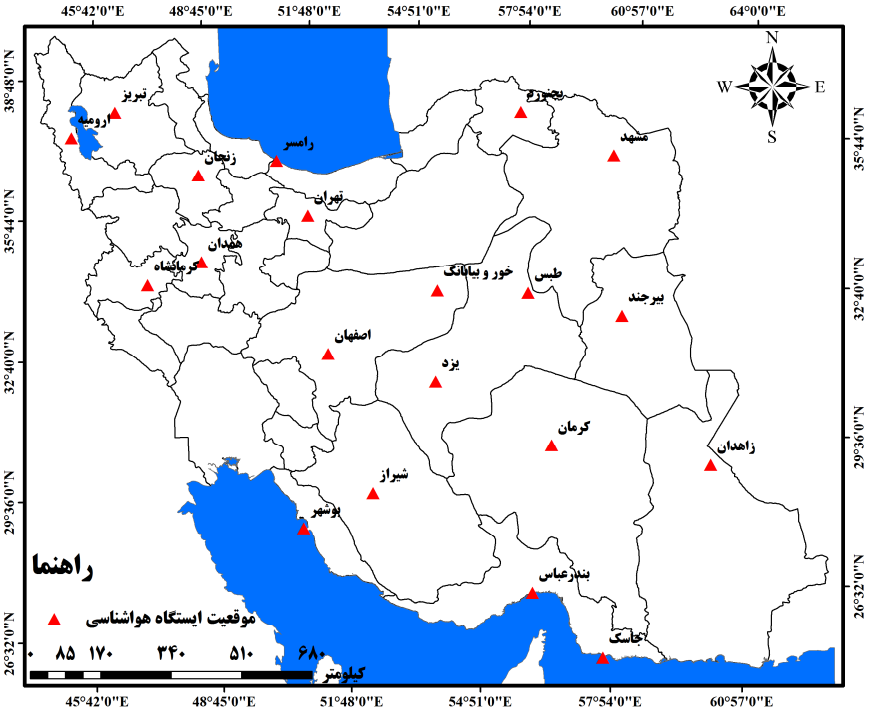
چون بارش (mm)، تشعشع خورشیدی (MJ.M- 2.Day-1)، و تداوم ساعات آفتابی (hr) در مقیاس ماهانه و حتی کمتر از آن در هشت خوشه‌ی خشکسالی-تابشی در ایران است. بعبارت دیگر یافتن روابط بین این متغیرها و میزان تأثیر آن‌ها بر وقوع خشکسالی اقلیمی و در نهایت شبیه‌سازی و ارائه برازنده‌ترین مدل‌های ریاضی و منطقی بین خشکسالی اقلیمی مورد اشاره در فوق است تا براساس روابط خاص و روش‌های ترسیمی نوینی چون نمودارهای دوگانه[۱] و سه گانه خورشیدی- خشکسالی[۲]، بتوان پدیده خشکسالی اقلیمی و ویژگی‌های همه‌جانبه آن مانند زمان-های آغاز، پایان، تداوم و شدت را تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی نمود.

داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر پس از بررسی و مرور پیشینه‌ی علمی موضوع ابتدا داده‌های هواشناختی مانند تابش خورشیدی رسیده به زمین (Mj m-2 d-1)، ساعت آفتابی (hr) و بارش (mm) در مقیاس زمانی ماهانه از ۲۰ ایستگاه همدیدی کشور که دارای طولانی‌ترین و کامل‌ترین سری داده‌های تابش خورشیدی ثبت شده بودند، در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد نظر در کشور ایران را نشان می‌دهد.

چون در برخی از ایستگاه‌های مذکور در سال‌های ۰۰ ۲۰ و ۲۰۰۱ دستگاه‌های تابش‌نگار از مدل KIPZONNEN-CCI به SOLRAD تغییر یافته و در این میان در موارد معدودی داده‌های تابش دارای خطا بودند، و با توجه به اینکه نسبت بین تابش دریافتی در سطح زمین به تابش بالای جو (R_s/R_o) باید کمتر از یک باشد، در مواردی که این نسبت بیشتر از یک بود داده‌های پرت و دارای خطا حذف گردید. سپس ایستگاه‌های همدید کشور براساس نسبت H/H_o و بارش استاندارد شده با استفاده از نرم‌افزار Minitab17 و تکنیک آماری تحلیل خوشه‌ای[۳] و روش وارد[۴] خوشه‌بندی شدند. با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه و با توجه به سطح شباهت بیشتر از ۹۰ درصد، هشت ناحیه خشکسالی- تابشی شناسایی شد. در این پژوهش ایستگاه‌های همدیدی هواشناسی مشهد، رامسر، بندرعباس، تهران، بجنورد، کرمان، شیراز و تبریز به عنوان ایستگاه‌هایی که می توان به عنوان نمونه هایی از آب و هوا های گوناگون (خشک و نیمه‌خشک) کشور تلقی شوند، انتخاب گردیدند. جدول ۲ خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[1]- Dual Graphic Method
[2]- Triple Graphical Method
[3]- Cluster analysis
[4]- Ward



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در ایران

جدول ۱: خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح میانگین دریا	ماه دارای بیشینه تابش	ماه دارای بیشینه ساعت آفتابی	کم بارش‌ترین ماه سال
کرمان	N۳۰ ۱۵	E۵۶ ۵۸	۱۷۵۳/۸	ژوئن	آگوست	جولای
مشهد	N۳۶ ۱۶	E۵۹ ۳۸	۹۹۹/۲	ژوئن	جولای	آگوست
رامسر	N۳۶ ۵۴	E۵۰ ۴۰	-	ژوئن	ژوئن	آگوست
بجنورد	N۳۷ ۲۸	E۵۷ ۱۹	۱۰۹۱	ژوئن	آگوست	آگوست
بندرعباس	N۲۷ ۱۳	E۵۶ ۲۲	۹/۸	ژوئن	ژوئن	ژوئن
تبریز	N۳۸ ۵	E۴۶ ۱۷	۱۳۶۱	ژوئن	جولای	آگوست
تهران	N۳۵ ۴۱	E۵۱ ۱۹	۱۱۹۰/۸	ژوئن	ژوئن	سپتامبر
شیراز	N۲۹ ۳۲	E۵۲ ۳۶	۱۴۸۴	ژوئن	ژوئن	سپتامبر

در مرحله‌ی بعد براساس مدل آنگستروم (آنگستروم[1]، ۱۹۲۴) ضرایب این مدل در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه واسنجی و نسبت بین متغیرهای خورشیدی (R_s/R_o و S/S_o) بدست آمد. برای تعیین دوره‌های خشک و مرطوب براساس متغیرهای خورشیدی، دو نسبت مذکور و نیز بارش ماهانه با استفاده از توزیع استاندارد z استانداردسازی و

[1]- Angstrom

نمودارهای دوگانه[۱] (DGM) مربوط به هر ایستگاه ترسیم شد. در مرحله‌ی پایانی با استفاده از بارش ماهانه‌ی استاندارد شده و انتخاب برازنده‌ترین واریوگرام در نرم‌افزار GS^+ نمودارهای گرافیکی سه‌گانه‌ی[۲] خشکسالی-خورشیدی (TGM) با نرم‌افزار Surfer ترسیم گردید.

۱- طریقه محاسبه تابش فضایی وطول روز

برای بدست آوردن تابش روزانه فضایی روی سطح افق از رابطه زیر استفاده شد.

$$H_o = \frac{24\times 3600}{\pi}\times 1353[1+0.033\cos(\frac{360n}{365})][\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\varphi\sin\delta] \qquad (۱)$$

که در این رابطه زاویه انحراف خورشیدی، δ، از رابطه زیر بدست می آید:

$$\delta = 23.45\sin(\frac{234+n}{365}) \qquad (۲)$$

برای محاسبه زاویه انحراف برای هر روز به جای n، در فرمول فوق شماره روز سال گذاشته شد، به این صورت که برای روز اول ماه ژانویه، $n=1$ در نظر گرفته شد.

همچنین زاویه ساعت معادل $\vartheta_z = 90$ یعنی ω_s هم از رابطه زیر بدست می آید:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-tg\varphi\ tg\delta) \qquad (۳)$$

که ω_s برای تک تک روزهای سال و برای شهرهای مورد نظر محاسبه شد.

برای بدست آوردن کسر ساعت آفتابی، به طول روز، N، نیاز می باشد که از رابطه زیر برای تمام روزهای سال و تک تک شهرها محاسبه شد (دافی و بکمن[۳]، ۱۹۹۱).

$$N = \frac{2}{15}\omega_s \qquad (۴)$$

۲- معادله خطی آنگستروم

روش برآورد میزان شدت تابش با استفاده از ساعات آفتابی، ابتدا به وسیله کمبل[۴] در سال ۱۹۱۹ و پنج سال بعد، مبنای ریاضی آن توسط انگستروم[۵] ارائه شد که امروزه بعد از گذشت سال‌ها، هنوز هم شکل اصلی آن بنام معادله انگستروم کاربرد دارد. این معادله به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و

[1]- Dual Graphic Method
[2]- Triple Graphic Method
[3]- Duffie and Beckman
[4]- Cambal
[5]- Angstrom

برای مناطقی که روش مناسبی برای محاسبه تابش آن‌ها ارائه نشده و یا مقادیر تابش آن‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)[1]. معادله آنگستروم- پرسکات به طور کلی به صورت زیر می باشد که در آن ضرایب 'a و 'b برای هر منطقه قابل محاسبه است.

معادله انگستروم رابطه ای رگرسیون بین نسبت متوسط ماهانه شدت تابش کل روزانه خورشید در یک سطح افق، $\overline{H}$، به همان پارامتر برای روز با آسمان صاف، $\bar{H}_c$ و کسر ساعات آفتابی (S/S_o) می‌باشد و به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a' + b' \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \qquad (۵)$$

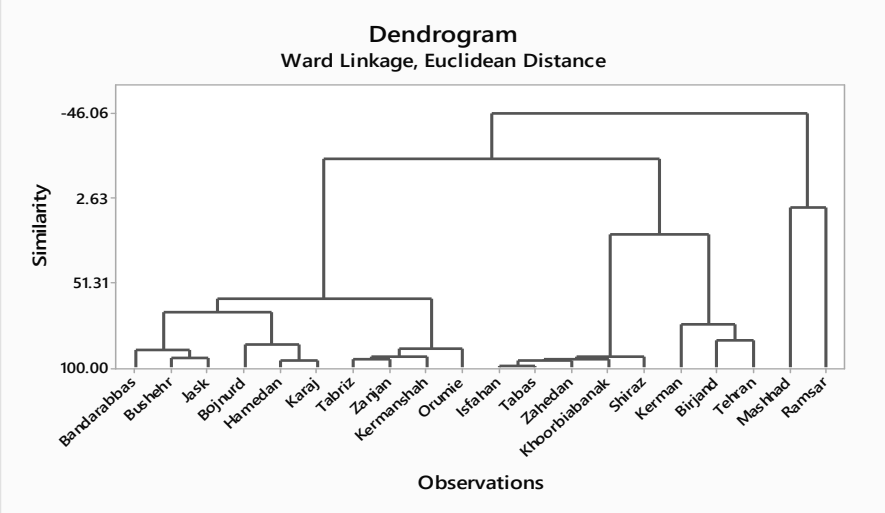
که 'a و 'b ثابت‌های این معادله هستند (کمالی و مرادی، ۱۳۸۴).

۳- خوشه‌بندی خشکسالی- تابشی ایستگاه‌ها

روش‌های خوشه‌بندی متنوعی وجود دارند که در همه آنها می‌توان ویژگی‌های مشترکی را پیدا نمود. در این تحقیق ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه کشور براساس نسبت های H/H_o، S/S_o و بارش استاندارد شده خوشه بندی شدند. در مرحله نخست از نرم‌افزار Minitab17 و تکنیک آماری تحلیل خوشه‌ای و روش وارد[2] استفاده گردید. تکنیک فوق گستره‌ی وسیعی از فنون‌های مفید برای یافتن گروهی از آیتم‌های مشابه در یک‌سری از داده‌ها را دربرمی‌گیرد. روش وارد نوعی روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی است که پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، سلسله مراتبی از خوشه‌ها را از خوشه‌های کوچک شامل کمیت‌های بسیار مشابه تا خوشه‌های بزرگتر ولی با تفاوت‌های بیشتر ایجاد می‌نماید. خروجی این تحلیل، ترسیمی است که به نام دندروگراف[3] یا نمودار درختی معروف است. این دندروگراف تمامی نمونه‌های مورد مطالعه را وارد فهرست خود نموده و نشان می‌دهد که در چه سطحی از شباهت[4]، هر دو خوشه مشابه بر پایه‌ی کمینه مجموع مربعات درون گروهی به یکدیگر متصل می‌شوند. با انجام تحلیل خوشه ای بر روی ایستگاه-های همدیدی کشور هشت ناحیه خشکسالی-تابشی شناسایی شد. چنانکه در این نمودار مشاهده می‌شود، تفاوت‌ها و شباهت‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس میزان شباهت آن‌ها بر روی محور قائم نمودار نشان داده شده است. در این نمودار هر چه به محور x نزدیک شویم میزان شباهت‌ها بیشتر می‌شود. نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه-ای در شکل ۲ نشان داده شده است.

---

[1]- Allen et al
[2]- Ward
[3]- dendrogram
[4]- Similarity



شکل ۲: خوشه‌بندی خشکسالی-تابشی ایستگاه‌های مورد مطالعه

خوشه اول شامل ایستگاه‌های بندرعباس، جاسک و بوشهر است. ایستگاه بجنورد، همدان و کرج نیز خوشه خشکسالی- تابشی بعدی را تشکیل می‌دهند. ایستگاه‌های تبریز، زنجان، کرمانشاه و ارومیه نیز در یک ناحیه خشکسالی- تابشی قرار داشته و خوشه‌ی بعدی ایستگاه‌های شیراز، طبس، اصفهان، خور و بیابانک و زاهدان را شامل می‌شود. کرمان، تهران و بیرجند در یک خوشه و سرانجام ایستگاه‌های مشهد و رامسر هر کدام به تنهایی در یک خوشه خشکسالی- تابشی قرار گرفته‌اند.

۴- شاخص استاندارد یا نرمال[1]

بر اساس مبانی ریاضی، این تبدیل بگونه ای است که اگرهر عدد موجود در یک توزیع به نمره Z-SCore تبدیل شود، میانگین نمره‌های تبدیل شده صفر و انحراف معیار آنها یک خواهد بود (وو و همکاران، ۲۰۰۱)[2]. شاخص استاندارد z بویژه جهت مقایسه چندین نوع داده‌های متفاوت و متعلق به توزیع‌هایی با میانگین‌ها و یا انحراف معیار مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال بدین منظور ابتدا سری‌های زمانی ماهانه بارش x_i $(X_1, X_2, ...X_n)$ به روش Z-Score استانداردسازی شد. سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده (SMP)، x_i به این صورت تعریف می شود:

$$xl = \frac{Xi - \bar{X}}{S_x} \quad (۶)$$

که در آن

$\bar{X}$ = میانگین حسابی سری زمانی

[1]- Z Score
[2]- Wu et al.

Sx = انحراف معیارسری زمانی

SMP[1] = بارش ماهانه استاندارد شده

در جدول ۲ طبقات Z-Score مورد استفاده در سری‌های بارش ماهانه استاندارد شده SMP را نشان می‌دهد.

جدول ۲: توصیف کیفی خشکسالی براساس شاخص نمره استاندارد Z-SCORE (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)

علامت اختصاری	طبقه‌بندی خشکسالی	مقادیر نمایه
MID[2]	خشکسالی ملایم	۰تا ۹۹/.-
MOD[3]	خشکسالی متوسط	۱- تا ۴۹ /۱-
SED[4]	خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
EXD[5]	خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر

در پژوهش حاضر از این فرمول‌های بنیادین برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه‌های همدیدی مشهد، کرمان، بندرعباس، شیراز، رامسر، تهران، تبریز و بجنورد استفاده گردید. رابطه‌ی بین متغیرهای خورشیدی و شدت خشکسالی به صورت نمودارهای پراکنش[6] با بهترین خط برازش، نشان داده شده، و سری زمانی SMP[7] برای ترسیم نمودارهای سه گانه گرافیکی خشکسالی- خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

۵- روش ترسیمی دوگانه[8] (DGM)

در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) در مقیاس زمانی ماهانه از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه استفاده شده است و با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای مذکور این پارامترها به صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است. نسبت‌های تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی با روش Z-Score بشرح زیر استاندارد شده اند (روابط ۷ و ۸):

$$SSD = \frac{(s/s_0)_i - (s/s_0)_{mean}}{Standardized\ deviation} \quad (۷)$$

$$SSI = \frac{(H/H_0)_i - (H/H_0)_{mean}}{Standardized\ deviation} \quad (۸)$$

[1]- Standardized monthly precipitation
[2]- Mild drought
[3]- Moderate drought
[4]- Severe drought
[5]- Scatter
[6]- Extreme drought
[7]- Standardized monthly precipitation
[8]- Dual Graphic Method

همانطور که اشاره گردید روابط فیزیکی خاصی بین تابش خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی با بارش وجود دارد که می‌توان آنها را به صورت زیر بیان نمود:

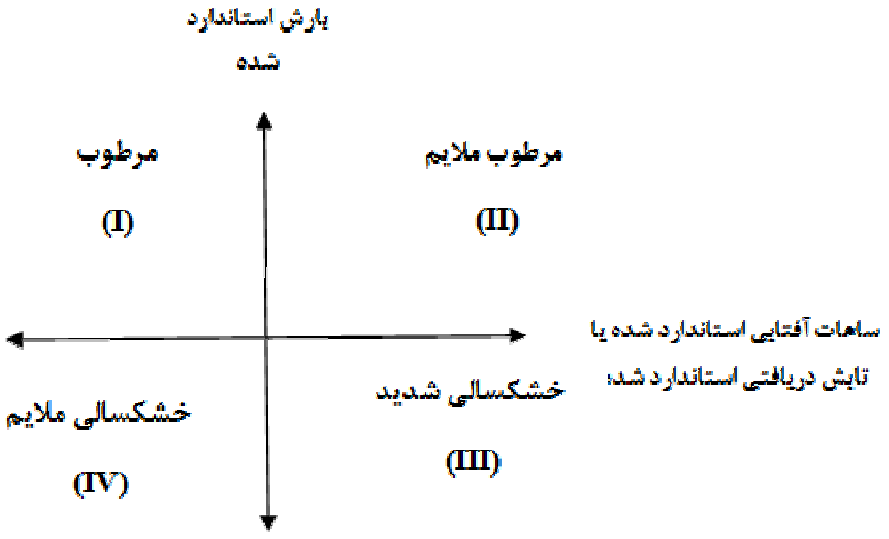
– اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (SSD)[1] رسیده به زمین (تابش دریافتی استاندارد شده) از میانگین آن کمتر، یا به عبارت دیگر کم‌تر از صفر و میزان بارش دوره استاندارد شده بیش‌تر از صفر باشد، در اینصورت شرایط اقلیمی مرطوب است.

– اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) و میزان بارش فصلی استاندارد شده از صفر بزرگ‌تر باشد شرایط اقلیمی، نسبتاً مرطوب است.

– اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) بیش‌تر از صفر و میزان بارش فصلی استاندارد شده کم‌تر از صفر باشد، شرایط خشکسالی شدید ایجاد می‌شود.

– اگر ساعات آفتابی استاندارد شده (تابش دریافتی استاندارد شده) و میزان بارش فصلی استاندارد شده کم‌تر از صفر باشد شرایط خشکسالی ملایم حاکم است (شکل شماره ۳-۵) (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)[2].

زاده (۱۹۶۸) پیشنهاد کرده این قواعد را می‌توان برای یک سیستم استنتاج منطق فازی نیز به کار برد. شرایط و تقسیم‌بندی‌های مذکور به صورت ترسیمی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تقسیم‌بندی‌کلی تابشی- خشکسالی بین بارش ماهانه استاندارد شده و تابش دریافتی یا تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده

[1]- Standardized Solar Duration
[2]- Sirdas and Sahin

چنانکه مشاهده می‌شود نمودار مذکور با توجه به اصول حاکم بر آن که بدان اشاره شد، دارای ۴ ربع است (I تا IV) که هر ربع بیانگر شرایط رطوبتی و خشکی اقلیمی و محدوده‌های بین آن‌ها در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

۶- درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم بکار می‌گیرند .با محاسبه و رسم تغییرنما در امتدادهای مختلف به آسانی می‌توان به وجود تغییرات در خود همبستگی‌ها پی برد، درون-یابی در واقع برآورد میزان متغیر پیوسته مجهول براساس نمونه‌های معلوم در منطقه است (لو و وانگ[۱]، ۲۰۰۸). برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشند، روش کریجینگ، با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنما (ساختار فضایی) است. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنما است که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است. اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغییر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می شود (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۸). از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازاء هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (حسنی پاک، ۱۳۸۶). در این تحقیق برای درون‌یابی متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار GS^{+} 5.1 استفاده شد. ابتدا برازنده‌ترین تغییرنما و مدل درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار محاسبه و سپس مدل مناسب با نرم‌افزار Surfer 11 به تغییرنما برازش داده شده است.

۷- روش سه‌گانه‌ی گرافیکی[۲]

اگر چه در حاضرفرمول‌های رگرسیون چندگانه‌ی مختلفی ارائه شده‌اند که تابش خورشید را با متغیرهای دیگر مانند ساعات آفتابی، رطوبت، دما، ارتفاع مرتبط می‌سازد اما همه‌ی آن‌ها مبتنی بر فرضیات محدودکننده‌ای هستند که مورد نیاز تکنیک‌های رگرسیون می‌باشند (سین و همکاران، ۲۰۰۱، سین، ۲۰۰۸). چنین مدل‌های رگرسیونی تغییرات جزئی را نشان نمی‌دهد و ترجیحا به حالت قطعی و جبری هستند. چنین مدل‌هایی بیانگر روابط ریاضی بوده و افزایش تعداد متغیرها، منابع خطا نیز افزایش می‌یابد و دقت مدل زیر سوال می‌رود. تغییرات سه بعدی را می‌توان با استفاده از سیستم مختصات کارتزین و بصورت نقشه‌های منحنی میزان[۳] نمایش داد. در نقشه‌های معمولی تغییرات یک متغیر با متغیرهای مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی یا جهات شمالی و شرقی آنها بیان می‌گردد (کریسی[۴]،

---

[1]- Lu and Wong
[2]- Triple graphical method
[3]- Contour map
[4]- Cressie

۱۹۹۳؛ ایساکس و سریواستاوا[1]، ۱۹۸۹؛ کیتانیدیس[2]، ۱۹۹۷). از اینرو تخمین مقادیر متغیر مورد نظر بر روی نقشه با استفاده از مقادیر یک جفت از متغیر های مکانی معلوم و متناظر آن میسر می‌گردد. بعلاوه اگر پیش‌بینی شرایط خشکسالی با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده مانند رطوبت و دمای هوا مدنظر باشد، می‌توان متغیرهای اخیر را جایگزین دو متغیر مکانی نمود. سیرداس (۲۰۰۲)، برای اولین بار این روش تهیه‌ی نقشه را در رساله‌ی دکترای خود پیشنهاد کرد. با استفاده از این روش می‌توان مقادیر کنونی یک متغیر را براساس مقادیر قبلی دو پارامتر مشابه دیگر بصورت نقشه ترسیم نمود ساختار روش سه گانه‌ی ترسیمی (TGM) سه نوع متغیر را در بر می‌گیرد که از بین آنها دو متغیر مستقل شامل تابش خورشیدی استاندارد شده[3] (SSI) و ساعات آفتابی استاندارد شده[4] (SSD) ساختار اصلی این نوع ترسیم را تشکیل داده و بارش ماهانه استاندارد شده[5] (SMP) متغیر وابسته تلقی می‌گردد که هر یک از مقادیر آن پس از محاسبه به هر زوج ارقام متغیرهای متناظر خود مرتبط و بر روی نمودار پراکنش اضافه می‌شود (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، پس از ترسیم نمودار نقطه‌ای دو متغیر مستقل، مقادیر متغیر وابسته به این نمودار اضافه شده‌اند. با این روش می‌توان نقشه‌ای تهیه نمود که به کمک آن ارزش‌های متغیر وابسته و مشخص شده بر روی نقشه را بر اساس مقادیر متغیرهای مستقل پیش‌بینی نمود. در راستای اجتناب از چنین محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود خطوط منحنی میزان مربوط به بارش ماهانه استاندارد شده براساس ساعات آفتابی و میزان تابش خورشیدی ترسیم شود. نمودار TGM نه تنها روابط متقابل بین متغیرهای ۳ گانه‌ی فوق را نشان می‌دهد بلکه تغییرات جزئی‌تر در بازه‌ی زمانی گوناگون (ماهانه، فصلی، روزانه و سالانه) را نیز بیان می‌کند. برای دستیابی به این هدف می‌توان از دو جزء مستقل به صورت همزمان استفاده نمود که با تلفیق این پراسنج‌های ۳ گانه می‌توان نمودارهای TGM نمایش داد. در این روش تخمینی محور عمودی در دستگاه مختصات نسبت ساعت آفتابی نجومی به ساعت آفتابی واقعی و محور افقی تابش رسیده به زمین به تابش بالای جو اختصاص می‌یابد و متغیر سوم به صورت خطوط منحنی میزان نمایش داده می‌شود. با توجه به مراحل قبلی می‌توان مقادیر تخمینی تابش خورشیدی را برای هر جفت مفروض ساعات آفتابی و رطوبت نسبی بدست آورد. نمودارهای TGM را می‌توان برای دوره‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) تهیه نمود (سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸).

نتایج و بحث

در فصول خشک، تابش خورشیدی و مدت زمان آفتابی تا حداکثر میزان خود افزایش یافته و برعکس در فصول مرطوب کمینه مقادیر خود را دارند. مدت زمان آفتابی و تداوم آن در دوره‌های خشکسالی، نقش موثری داشته و خود تحت کنترل این رویدادهای طبیعی گوناگون می‌باشد. در هوای ابری مدت زمان آفتابی کم و امکان وقوع بارش بیشتر

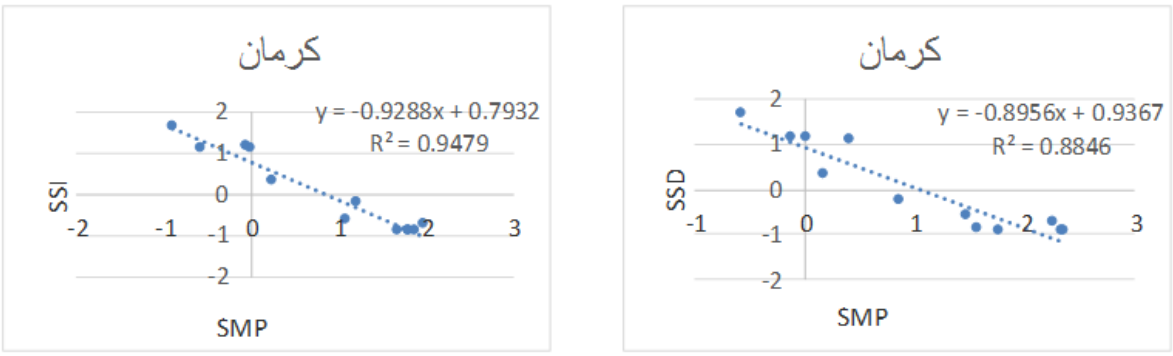
---

[1]- Isaaks and Srivastava
[2]- Kitanidis
[3]- Standardized Solar Irradiation
[4]- Standardized Sunshine Duration
[5]- Standardized month precipitation

است در حالی که در شرایط آسمان صاف، مدت زمان آفتابی حداکثر و معمولا بارش قابل توجهی رخ نمی‌دهد. اگر شرایط خشکی در چند دوره ادامه یابد در آن سال، خشکسالی رخ می دهد.

در این تحقیق برای نمایش ترسیمی روابط بین خشکسالی اقلیمی و هر یک از متغیرهای خورشیدی (ساعات آفتابی و تابش خورشیدی) از این روش شماتیک که به روش ترسیمی دوگانه (DGM) استفاده شده و با توجه به متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای مذکور این پارامترها به صورت استاندارد شده و بدون بعد استفاده گردیده است. برای بدست آورن ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و متغیرهای خورشیدی نمودارهای دوگانه و سه گانه ی خشکسالی- خورشیدی در ایستگاه‌های کرمان، مشهد، تهران، بجنورد، رامسر، بندرعباس، شیراز و تبریز ترسیم و بشرح زیر مورد بحث قرار می گیرد:

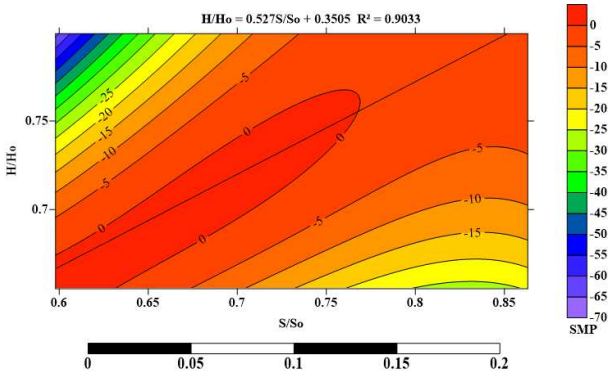
آب و هوای ایستگاه کرمان بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن BSw می‌باشد. به عبارت دیگر دارای تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب و معتدل متمایل به سرد است. در شکل ۴ دیده می‌شود که ضرایب تعیین بین ساعات آفتابی استاندارد شده و تابش دریافتی استاندارد شده با میزان بارش ماهانه استاندارد شده در این ایستگاه بترتیب بین ۰/۸۸ و ۰/۹۴ است و بنابراین رابطه‌ی خطی بین SSI و SMP از رابطه‌ی SSD قوی‌تر است. شرایط خشکی از ماه آگوست آغاز و تا می ادامه دارد که شامل ماه‌های می، ژولای، جون، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر است، یعنی ۷ ماه از سال در شرایط خشک و ۵ ماه بقیه در شرایط مرطوب واقع می‌شوند. بعبارت دیگر در بخش عمده ای از هر سال مقادیر SSI و SSD قابل ملاحظه و میزان SMP ناچیز بوده است. نتیجه‌ی قابل توجه دیگر اینکه با توجه به نمودارهای DGM وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کمی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص نمره استاندارد Z-Score (جدول ۲) تغییر می‌یابد. زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مد نظر می‌باشد، اما اگر تأثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد مشاهده می‌شود که با منظور نمودن هر یک یا هر دوی این متغیرها این وضعیت تغییر نموده و بر این اساس می‌توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی-خورشیدی آن مجددا تعریف نمود، مثلاً در ایستگاه کرمان (شکل ۴) با توجه به متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده ماه سپتامبر وضعیت خشکی شدید ولی با بارش استاندارد شده به تنهایی نزدیک به نرمال (۰/۹۹-۰/۹۹-) می‌باشد. برای تمام ایستگاه‌ها شرایط خشکی و رطوبتی را می‌توان اینگونه مورد بررسی قرار داد. علاوه بریافته های مورد اشاره می توان بدین نتیجه نیز اشاره نمود که در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه کرمان با توجه به روابط کمی بین متغیرهای خورشیدی و بارش استاندارد شده، غالبا شرایط خشکسالی حاکم بوده است زیرا بطور کلی و میانگین در دوره آماری مورد مطالعه، شرایط خشکسالی در یک دوره هفت ماهه از هر سال تداوم داشته و فقط یک دوره کمتر از پنج ماهه شرایط مرطوب را تجربه نموده است.



الف ب

شکل ۴: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه کرمان

اگر همین روابط با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۵ (نمودار TGM در ایستگاه کرمان) بررسی گردد، مشاهده می شود که بر اساس معادله انگستروم همبستگی خطی قابل توجهی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده وجود دارد (R^2= 0.91). در این شکل منحنی هم ارزش با کمیت صفر که طبق تعریف ارائه شده درجدول ۲ بیانگر شرایط خشکسالی نرمال است بصورت یک زبانه در امتداد جنوب غربی- شمال شرقی نقشه و در امتداد خط رگرسیون معادله آنگستروم کشیده شده و در داخل این منحنی، منحنی‌های هم‌ارزش با مقادیر مثبت (شرایط ترسالی) و در خارج از آن منحنی های هم ارزش با مقادیر منفی (شرایط خشکسالی) نظم یافته اند. بعبارت دیگر محدوده خشکسالی بر حسب S/So ۰/۷۶-۰/۶۴ و بر حسب H/Ho بین ۰/۶۲ تا ۰/۷۷ می باشد و در کمتر این محدوده ها شرایط ترسالی و در بیشتر این ارقام وضعیت خشکسالی حاکم، و به هرصورت با افزایش کمیت هر یک از متغیرهای خورشیدی مورد بحث خشکسالی نیز تشدید و بر تداوم آن افزوده می‌گردد.

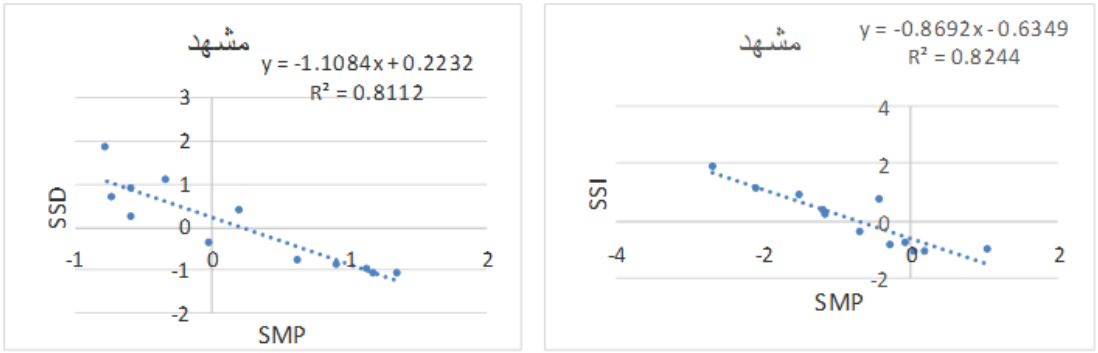


شکل ۵: نمودار TGM در ایستگاه کرمان

نکته مهم اینکه گرچه در روی این شکل ارقام منحنی ها جهت وضوح بیشتر با فواصل دو ترسیم شده اند، اما اگر از این نقشه در نرم افزار گرافیکی مربوطه (Surfer) استفاده شود، می‌توان با حرکت مکان‌نما بر روی نقشه در هر نقطه

از سطح افقی آن، مقادیر جزئی‌تر سه محور x, y و z را بررسی و تغییرات هریک را بر حسب کمیت های دیگر را مشاهده نمود. نتیجه اینکه ترسیم اینگونه نقشه های سه بعدی روشی نوین جهت ارزیابی ویژگی های همه جانبه رخداد خشکسالی (آغاز، پایان و تداوم) در مقیاس زمانی ماهانه و کمتر از آن ارائه می نماید.

ایستگاه مشهد (شکل ۶) براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSh است و از نوع اقلیم خشک می‌باشد (داوودی و همکاران، ۱۳۸۹). چنانکه در نمودارهای دوگانه (DGM) خشکسالی خورشیدی (شکل۶) مشاهده می-گردد، ضرایب تعیین بین ساعات آفتابی استاندارد شده و تابش دریافتی استاندارد شده با میزان بارش ماهانه استاندارد شده در این ایستگاه تقریبا برابر (R^2= 0.82) بوده و همان مطلبی که فوقاً در مورد ایستگاه کرمان ذکر شد، درباره این ایستگاه صادق است بجز اینکه ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آپریل و می در دوره‌ی مرطوب واقع شده‌اند. در این دوره چنانکه قبلاً اشاره شد با افزایش بارش استاندارد شده تعداد ساعت آفتابی استاندارد شده براساس یک رابطه‌ی ریاضی خطی کاهش می‌یابد که این خود نتیجه‌ی توده هوای MP بر این منطقه و پایداری نسبی جو است. در این ایستگاه با بررسی روابط بین خشکسالی و متغیرهای خورشیدی غالباً ماه‌های سال در دو ربع این نمودارها قابل بررسی است. پراکنش ماه‌ها در نمودارهای دوگانه‌ی خشکسالی- خورشیدی بر واقعیت‌های تجربی و مشاهداتی کاملاً منطبق است که این خود دقت و کارایی این نمودارها را توجیه می‌نماید به‌طوریکه با شروع ماه دسامبر و آغاز زمستان تا اواخر بهار همزمان با تثبیت نسبی تعداد ساعات آفتابی میزان بارش به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. پس از آن تنها ماهی که در دوره‌ی نسبتاً مرطوب سال واقع می‌شود آخرین ماه بهار (می) است و پس از آن به علت غلبه‌ی سیستم‌های جوی پرفشار جنب حاره‌ای (STHP)، به سرعت از میزان بارش ماهانه کاسته و بر تعداد ساعات آفتابی افزوده می‌شود، به‌طوریکه ۶ ماه از سال در ماه‌های تابستان و پاییز (نوامبر، آگوست، سپتامبر، ژون، اکتبر و ژولای) در دوره‌ی خشکسالی شدید واقع می‌شود. در این دوره‌ی ۶ ماهه به تدریج با بلندشدن روزها، تعداد ساعات آفتابی افزایش و میزان ابرناکی کاهش می‌یابد. در این ایستگاه براساس این نمودار بطور میانگین در دوره آماری مورد مطالعه ۶ ماه از سال در شرایط خشکسالی و ۶ ماه بقیه سال وضعیت ترسالی را تجربه می‌کنند.

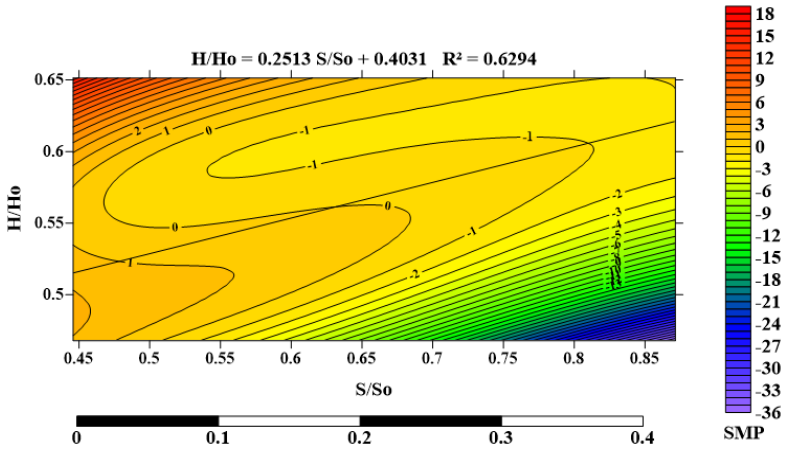


الف ب

شکل ۶: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه مشهد

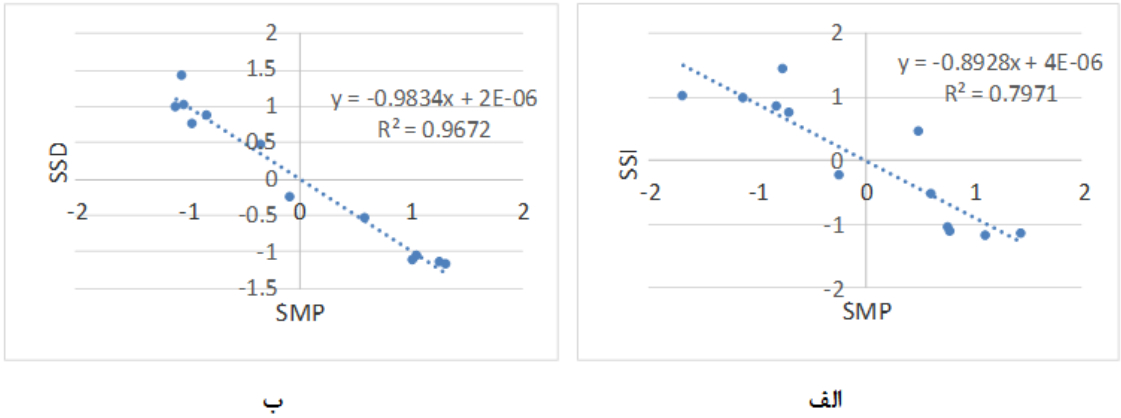
از مقایسه اینگونه نمودارها با یکدیگر مشاهده می شود که با تغییر اقلیم از BSw (کرمان) به آب و هوای نوع BSh تعادل بین شرایط خشکسالی و ترسالی بیشتر می شود بعبارت دیگر در دوره آماری مورد مطالعه در این ایستگاه بطور کلی و میانگین هر سال به دوره شش ماه خشکی و مرطوب تقسیم شده و در مقایسه با ایستگاه کرمان با ۷ ماه دارای خشکسالی و ۵ ماه ترسالی، کمتر در معرض خشکسالی های اقلیمی قرار داشته است. بعلاوه چنانکه خواهیم دید در ایستگاه‌هایی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بر آنها حاکم است (کرمان و مشهد)، بین پارامترهای خورشیدی و بارش استاندارد رابطه‌ی خطی با ضریب تعیین بالاتری وجود دارد (اشکال شماره ۴ و ۶). نکته مهم دیگر اینکه شیب خط رگرسیون معادلات مربوط به تخمین خشکسالی اقلیمی بر مبنای متغیرهای خورشیدی با توجه نمودارهای DGM، در ایستگاه‌های مختلف یکسان نبوده و می‌تواند خود پایه‌ای جهت تصمیم‌گیری برای استفاده از روش ترسیمی سه‌گانه در بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای مذکور و اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده بکار گرفته شود، زیرا هرچه این شیب بیشتر باشد نقاط مربوط به دوره های چند ماهه و مداوم خشکسالی و ترسالی بطور واضح تر در امتداد خط رگرسیون پراکنده شده و هر مجموعه از این ماه ها به‌گونه‌ای منفک و مشخص در دو ربع I و III قرار می گیرند. مثلاً مقایسه نمودارهای DGM ایستگاه‌های کرمان مبین آنست که میزان شیب این خط بنوعی تمایز فصلی دوره خشک و بارشی را نشان می دهد. یعنی هرچه شیب این خط بیشتر باشد، سال از دو فصل متمایز و متباین خشک و بارشی تشکیل شده و روش‌های تحلیلی DGM و TGM از کارایی بیشتری برخوردارند.

اگر همین روابط با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۷ (نمودار TGM در ایستگاه مشهد) بررسی گردد، مشاهده می شود که بر اساس معادله انگستروم همبستگی خطی قابل توجهی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده وجود ندارد (R^2= 0.62) و در مقایسه با ایستگاه کرمان این رقم کمتر است و منحنی‌های هم ارزش بارش ماهانه استاندارد شده به اندازه ایستگاه کرمان منظم و موازی نیست. در این شکل منحنی هم ارزش با ارزش صفر که طبق تعریف ارائه شده در جدول ۳ بیانگر شرایط خشکسالی نرمال است بصورت یک نوار بشکل S تقریباً از میان خط رگرسیون معادله خطی آنگستروم عبور نموده و درسمت چپ آن شرایط ترسالی و در طرف راست آن شرایط خشکسالی مشاهده می‌شود. توازی و نظم منحنی‌ها در این نقشه وضعیت منحصر بفردی را نمایش می‌دهند، بطوریکه از مبداء نمودار (H/Ho = S/So=0.45) تا اواسط هر محور (H/Ho= 0.55 و S/So= 0.65) شیب تغییر شرایط نرمال به سمت خشکسالی یا ترسالی تدریجی و فواصل بین منحنی ها کمتر بوده اما از این نقاط به طرف ارقام بیشتر بر روی هر محور این گرادیان و فاصله ها فزونی می یابد. بعبارت دیگر بر خلاف ایستگاه کرمان که بطور کلی با افزایش کمیت هر یک از متغیرهای خورشیدی، خشکسالی نیز تشدید و بر تداوم آن افزوده می‌شود. در ایستگاه مشهد سهم هر یک از این متغیرها در پیدایش و تداوم خشکسالی‌ها یکسان نیست و H/Ho بیشتر در غلبه ترسالی و S/So عمدتاً در چیرگی شرایط خشکسالی موثر است.



شکل ۷: نمودار TGM در ایستگاه مشهد

ایستگاه تهران که براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSk است. همبستگی خطی بین تعداد ساعات آفتابی استاندارد شده با بارش ماهانه استاندارد شده بیشتر است (R^2= 0.96). طبق شکل ۸ در بین تعداد ساعات آفتابی نسبت به تابش خورشیدی با خشکسالی ماهانه استاندارد شده همبستگی بیشتری وجود دارد. از اینرو در شکل ۹-ب ماه ها بطور مشخص تری به دو گروه تقسیم شده اند، در صورتیکه در شکل ۹-الف این تمایز کمتر است. بنابراین براساس یافته‌های فوق این تمایز اقلیمی را می‌توان از ویژگی‌های آب و هوایی این ایستگاه تلقی نمود.

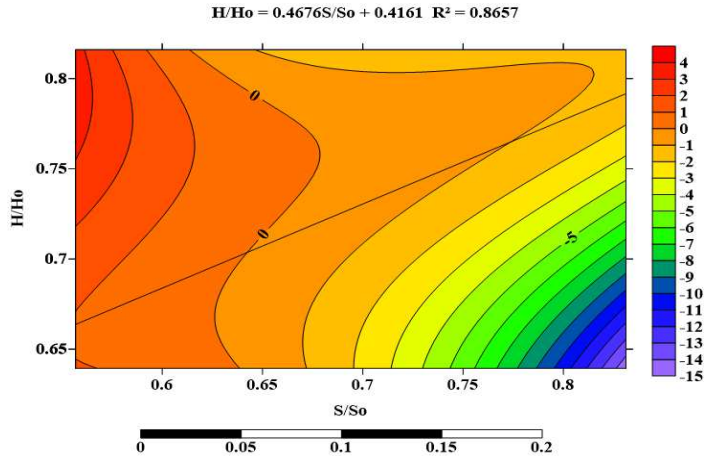


ب الف

شکل ۸: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه تهران

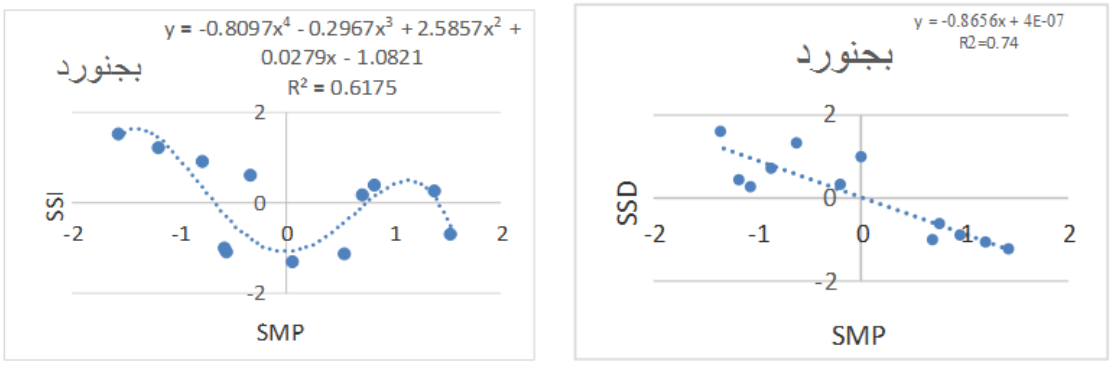
همین روابط را می توتن با روش سه‌گانه‌ی گرافیکی چنانکه در شکل ۹ (نمودار TGM در ایستگاه تهران) مشاهده نمود. بر اساس معادله انگستروم همبستگی خطی بین ساعات آفتابی و تابش دریافتی استاندارد شده قابل توجه است (R^2= 0.86) است. در این شکل منحنی هم ارزش با ارزش صفر که طبق تعریف ارائه شده درجدول ۳ بیانگر شرایط

خشکسالی نرمال است در نقطه H/Ho =0.7 و S/So= 0.64 خط رگرسیون معادله خطی آنگستروم قطع نموده و درسمت چپ آن شرایط ترسالی و در طرف راست آن شرایط خشکسالی مشاهده می‌شود. در این ایستگاه مشهد سهم هریک از این متغیرها در پیدایش و تداوم خشکسالی‌ها یکسان نیست، بطوریکه حتی با افزایش ارقام محور H/Ho شرایط ترسالی نسبتاً افزایش می‌یابد. اما پس از اندکی گذر بر روی محور S/So منحنی‌های خشکسالی با گرادیان یا شیب و فشردگی بیشتر شرایط خشکسالی را بخوبی نشان می دهند. این وضعیت بیانگر آنست که تغییرات S/So عمدتاً و بهتر در پیدایش و چیرگی شرایط خشکسالی موثر است.



شکل ۹: نمودار TGM در ایستگاه تهران

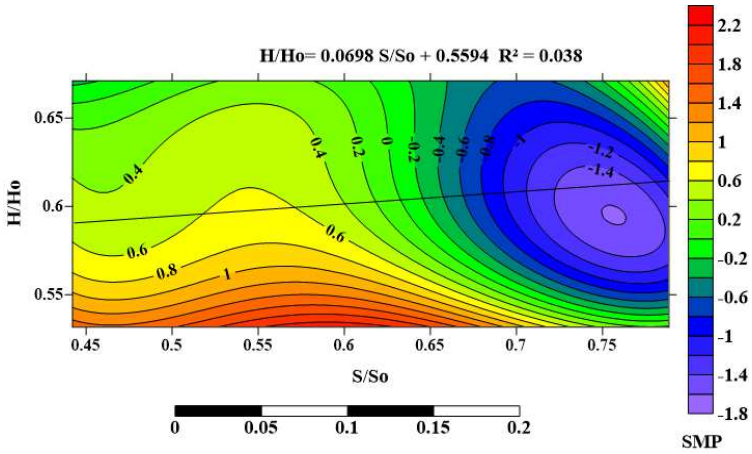
در ایستگاه بجنورد که براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم BSk است، رابطه‌ی بین SSI و SMP خطی و با ضریب تعیین معنی‌دار برقرار است و مانند ایستگاه های قوق می‌توان از این نمودار برای بررسی خشکسالی بدین روش استفاده نمود (شکل ۱۰).



ب الف

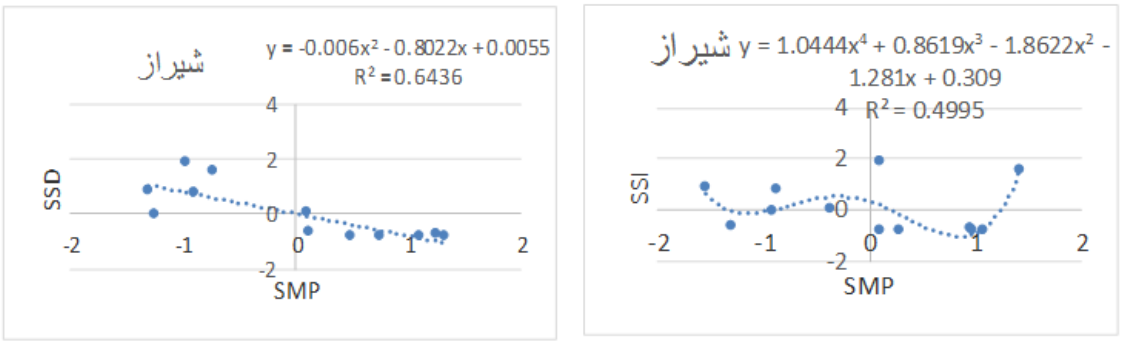
شکل ۱۰: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه بجنورد

با توجه به نمودار TGM (شکل ۱۱) مشاهده می شودکه در این ایستگاه تأثیر تعداد ساعت آفتابی استاندارد شده بر بارش ماهانه استاندارد شده بیشتر از تابش خورشیدی است.



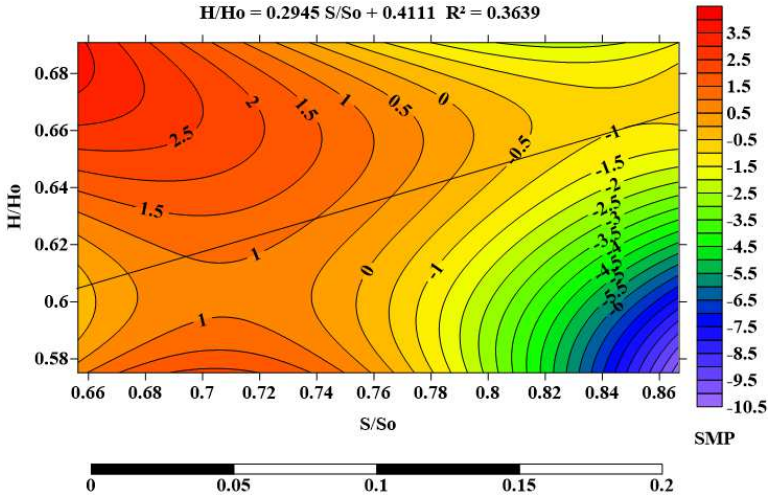
شکل ۱۱: نمودار TGM در ایستگاه بجنورد

شکل شماره ۱۲ رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) را در ایستگاه شیراز نشان می دهد. همبستگی خطی قابل قبولی بین SSD و بارش ماهانه استاندارد شده (R^2= 0.64) وجود دارد و ۵ ماه از سال در ربع اول و هفت ماه بقیه در ربع سوم واقع شده اند بنابراین همان شرایط و توضیحات ایستگاههای کرمان و تهران برای آن صادق است. اما بین SSI و SSD چنین رابطه خطی وجود ندارد و بنابراین چنانکه در نمودار TGM (شکل ۱۳) مشاهده می‌شود اگرچه رابطه خطی آنگستروم بین متغیر های خورشیدی نیز در این ایستگاه نسبتاً ضعیف بوده (R^2= 0.36) ولی در نقشه مربوطه متغیر خورشیدی S/So بخوبی توانسته شرایط خشکسالی و ترسالی را مشخص و تبیین نماید.



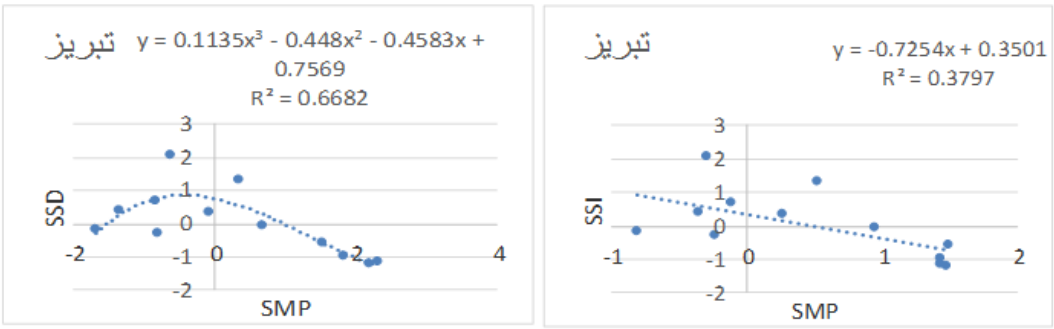
ب الف

شکل ۱۲: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه شیراز



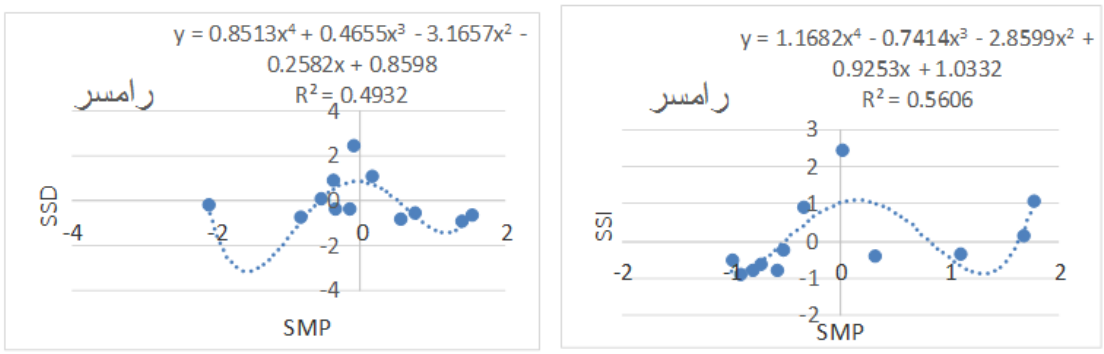
شکل ۱۳: نمودار TGM در ایستگاه شیراز

در مورد ایستگاه های هواشناسی تبریز، رامسر و بندر عباس که بر اساس سیستم طبقه بندی کوپن بترتیب دارای اقالیم BSk، Csa و Bwh هستند، بر اساس معادله آنگستروم، ارتباط خطی معنی داری بین متغیر های خورشیدی و بارش ماهانه استاندارد شده یافت نشد و ضرایب تعیین معادلات آنها بین ۰۴/ ۰ و ۰/۲۵۸ بدست آمد. بهمین جهت بعلت فقدان چنین رابطه معنی داری می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیش از متغیر های خورشیدی عوامل هوا شناختی و جغرافیایی دیگری در تبیین الگو های رفتاری بارشی آنها تأثیر گذارند که مورد آنها از اهداف این تحقیق نیست. اشکال شماره ۱۴ تا ۱۶ رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) و اشکال شماره ۱۶ تا ۱۹ نمودار های TGM را این گروه از ایستگاه ها نشان می‌دهند. به عنوان مثال ایستگاه رامسر (شکل ۱۵) که در دامنه‌های شمالی البرز و در کرانه خزر واقع و براساس سیستم طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم Csa است، با توجه به پایین بودن میزان ضریب تعیین رابطه خطی (۰/۱۵۸ و ۰/۰۴) می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات SSE و SSDنمی‌تواند تغییرات SMP را توجیه نماید و عوامل دیگری چون واقع شدن آن در دامنه های شمالی البرز، نزدیکی به دریای خزر، تأثیرپذیری از پرفشار سیبری، ناپایداری‌های جوی محلی و عوامل دیگر که موجب توزیع بارش تقریباً یکسان در تمام ماه‌های سال در این منطقه بوده و در این امر موثر می‌باشد.



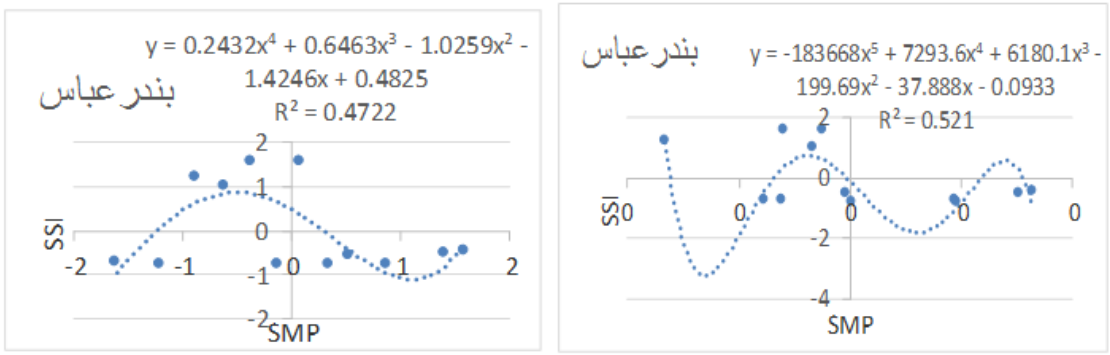
ب الف

شکل ۱۴: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه تبریز



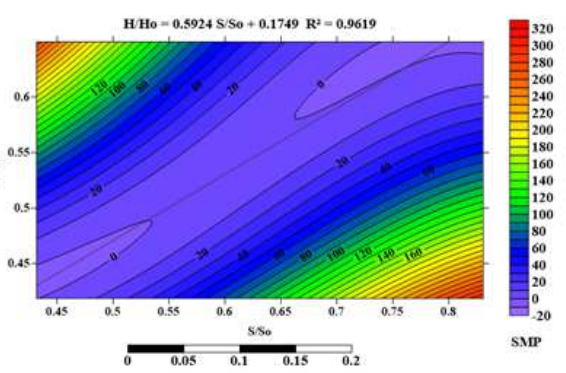
ب الف

شکل ۱۵: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه رامسر

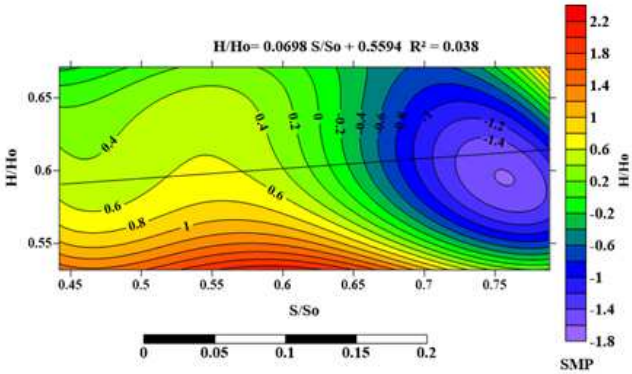


ب الف

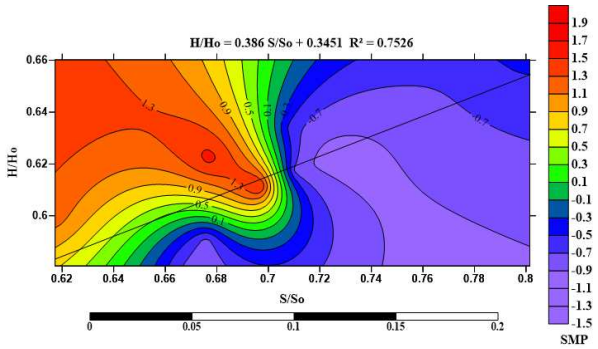
شکل ۱۶: نمودار رابطه‌ی بین تابش خورشیدی (SSI) و خشکسالی (الف) و نمودار رابطه‌ی بین تعداد ساعات آفتابی (SSD) و خشکسالی (ب) در ایستگاه بندرعباس



شکل ۱۷: نمودار TGM در ایستگاه تبریز



شکل ۱۸: نمودار TGM در ایستگاه رامسر



شکل ۱۹: نمودار TGM در ایستگاه بندرعباس

با بررسی تطبیقی نمودار های دوگانه و نقشه‌های سه بعدی که در بالا مورد بحث قرار گرفتند این نتیجه بدست می آید که بطور کلی در ایستگاه هایی که بارش سالانه بطور عادلانه در چند ماه متوالی دریافت می‌شود و سال به دو دوره خشک و بارشی قابل تقسیم است و یا بعبارت دیگر نقاط مشخص شده در نمودارهای دوگانه در دو ربع I و III پراکنده می باشند و ضمناً ضرایب تعیین روابط خطی بین SSI و SSD با SMP و نیز ضرایب تعیین روابط خطی معادله آنگستروم بین S/Soو H/Ho زیاد و قابل توجه‌اند، می توان بنحوی شایسته چنین روش‌هایی را برای تشخیص و ارزیابی جنبه‌های همه حانبه خشکسالی در مقیاس زمانی ماهانه مورد استفاده قرار داد. چنین ایستگاه هایی بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک بوده و در سیستم کوپن در گروه B قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان ویژگی‌های همه‌جانبه‌ی خشکسالی اقلیمی مانند زمان آغاز، پایان، تداوم و شدت را در مقیاس‌های ماهانه و حتی کمتر بر اساس مقادیر متغیرهای هیدرومتئورولوژیکی و هواشناختی مرتبط با

پدیده خشکسالی، چون بارش (mm)، تشعشع خورشیدی (MJ.M- 2.Day-1)، و تداوم ساعات آفتابی (hr) برآورد نمود. برای بررسی تطبیقی این متغیر ها همه آنها به کمیت‌های استاندارد شده تبدیل شده و روابط خطی بین بارش ماهانه (SMP)، تعداد ساعات آفتابی (SSD) و تابش دریافتی در سطح زمین استاندارد شده (SSI) با ترسیم نمودارهای دوگانه (DGM) و بر اساس معادله خطی آنگستروم ($H/H_O = A. S/S_O + B$)، بر روی نقشه‌های سه بعدی (TGM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اما قبل از مراحل مذکور ابتدا ۲۰ ایستگاه هواشناسی همدید کشور که در آنها داده های تابش خورشیدی اندازه‌گیری و ثبت شده است در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰ بر اساس داده های مورد بررسی در تحقیق با روش Ward به هشت گروه تقسیم و از هر گروه یک ایستگاه بعنوان نمونه انتخاب گردید. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه نمودارهای DGM، وضعیت خشکی برخی از ماه‌ها نسبت به جدول توصیف کیفی خشکسالی و ترسالی براساس شاخصSMP تغییر می‌یابد. زیرا در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده فقط مقادیر بارش ماهانه مد نظر می‌باشد، اما اگر تأثیر هریک از متغیرهای خورشیدی به عنوان یک عامل هواشناختی در وضعیت خشکسالی و رطوبتی ماه‌های سال بررسی گردد، مبنایی برای ارائه یک روش جدید جهت تشخیص و ارزیابی جنبه-های همه جانبه وضعیت خشکسالی در مقیاس زمانی ماه‌هانه بدست می‌آید که می‌توان شرایط اقلیمی هر ماه بر حسب وضعیت خشکسالی- خورشیدی آن مجدداً تعریف نمود. همچنین در نمودارهای TGM، محدوده‌های و تغییرات کمی و کیفی خشکسالی و ترسالی بر حسب دو متغیر خورشیدی در مقیاس زمانی ماه‌هانه را بررسی نمود و با توجه به ارقام خطوط منحنی میزان شدت خشکسالی را در هر ماه و حتی بین هر ماه مشاهده نمود و تغییرات شیب خط فرضی که به طور مستقیم هر دو ماه متوالی را به یکدیگر متصل می‌کند می‌تواند روند و تداوم دوره های چند ماهه خشکسالی را نمایش داد، می‌توان گفت که این پژوهش روشی نوین برای تشخیص آغاز، تداوم، شدت و پایان خشکسالی اقلیمی بر اساس روابط بین بارش استاندارد شده و مقادیر کمی متغیر های خورشیدی (تعداد ساعات آفتابی و تابش دریافتی) در مقیاس زمانی ماهانه و حتی کمتر از آن برای ایستگاه های هواشناسی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران ارائه نموده است. نتایج بیانگر آنست‌که در ایستگاه‌هایی که که بارش سالانه بطور عادلانه در چند ماه متوالی دریافت می‌شود و سال به دو دوره خشک و بارشی قابل تقسیم است و یا بعبارت دیگر نقاط مشخص شده در نمودار های دوگانه در دو ربع I و III پراکنده می باشند و ضمنا ضرایب تعیین روابط خطی بین SSI و SSD با SMP و نیز ضرایب تعیین روابط خطی معادله آنگستروم بین S/So و H/Ho زیاد و قابل توجه‌اند، یا بر اساس سیستم طبقه بندی دومارتن دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک بوده و در سیستم کوپن در گروه B قرار می گیرند، روابط خطی معتبرتری بین متغیر های خورشیدی و نمایه های خشکسالیSPI در مقیاس ماهانه وجود دارد. بطوریکه ضرایب تعیین در ایستگاه های خشک و نیمه خشک (کرمان، مشهد، تهران، بجنورد، و شیراز) بین SSI یا SSD با SMP بیش از ۰/۸۰ محاسبه شده است. بعلاوه در همین ایستگاه‌ها ارقام مذکور برای روابط خطی مبتنی بر معادله آنگستروم بین ۰/۶۰ تا ۰/۹۴ نیز بدست آمده است. بعلاوه بطور میانگین در دوره آماری ۱۰-۱۹۷۰، دوره خشکسالی در اکثر ایستگاه‌های فوق از اواخر ماه می (اردیبهشت) شروع شده و شامل ماههای ژون، ژولای، سپتامبر، اکتبر است و بعضا تا اواخر نوامبر ادامه یافته و در همین دوره بیشترین مقادیر ساعات آفتابی و تابش خورشیدی نیز ثبت شده است. شیب خط رگرسیون معادلات مربوط به تخمین خشکسالی اقلیمی بر مبنای متغیرهای خورشیدی با

توجه نمودارهای DGM، در ایستگاه‌های مختلف یکسان نبوده و می‌تواند خود پایه ای جهت تصمیم‌گیری برای استفاده از روش ترسیمی سه‌گانه در بررسی روابط بین خشکسالی اقلیمی و متغیرهای مذکور و اعتبارسنجی مدل-های ارائه شده بکار گرفته شود. زیرا هرچه این شیب بیشتر باشد نقاط مربوط به دوره های چند ماهه و مداوم خشکسالی و ترسالی بطور واضح‌تر در امتداد خط رگرسیون پراکنده شده و هر مجموعه از این ماه‌ها به‌گونه‌ای منفک و مشخص در دو ربع I و III قرار می گیرند. مثلاً مقایسه نمودارهای ایستگاه مشهد (نمودار شماره ۶) با نمودارهای مشابه آن مربوط به ایستگاه تبریز (نمودار شماره ۱۴) مبین آنست که میزان شیب این خط بنوعی تمایز فصلی دوره خشک و بارشی را نشان می دهد. یعنی هرچه شیب این خط بیشتر باشد، سال از دو فصل متمایز و متباین خشک و بارشی تشکیل شده و روش های تحلیلی DGM و TGM از کارایی بیشتری برخوردارند.

بررسی تطبیقی ضرایب تعیین مدل آنگستروم نشان می‌دهد که در ایستگاه‌هایی که بطور مشخص دارای اقالیم خشک و نیمه‌خشک هستند، تعداد ساعات آفتابی می‌تواند با اطمینان و با اعتبار آماری بالاتری تغییرات تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین را توجیه نماید ولی در غیر این صورت بویژه در ایستگاه‌های ساحلی و شمالی چنین وضعی مشاهده نمی‌شود و عوامل هواشناختی دیگری چون غبارآلودگی هوا، رطوبت نسبی و ابرناکی تغییرات تابشی را تبیین می‌کنند. مقایسه نمودارهای مربوط به ایستگاه های کرمان مشهد، تهران و بجنورد با نمودارهای تبریز، بندر عباس و رامسر این نتیجه را بخوبی بیان می‌کند. بررسی‌های انجام شده بیانگر آنست‌که در ایران تا کنون پژوهش‌های مشابه با تحقیق حاضر صورت نگرفته که بتوان نتایج آنها را با یافته‌های این مطالعه مقایسه نمود. اما نتایج پژوهش‌هایی که در کشور های دیگر انجام شده (سیرداس، ۲۰۰۲، سیرداس و ساهین، ۲۰۰۸)، بخوبی یافته-های مورد اشاره در این تحقیق را تأیید می‌کنند.

منابع

داوودی، محمود، محمدی، حسینمراد، بای، ناصر، (۱۳۸۹)، تجزیه و تحلیل و پیش بینی برخی عناصر اقلیمی مشهد، مجله علمی و فنی نیوار، ۳۴ (۷۱-۷۰)، صص.۴۶-۳۵.

کمالی، غلامعلی، مرادی، اسحاق، (۱۳۸۴)، تابش خورشیدی- اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، چاپ اول، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی، ۲۹۹ ص.

تبوزاده، شهین، زارعی، حیدر، بذرافشان، ام البنین، (۱۳۹۳)، تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان، علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸ (۴)، صص. ۱۲۳-۱۱۰.

حسنی‌پاک، علی اصغر، (۱۳۸۶)، زمین آمار، دانشگاه تهران، ۳۸۰ صفحه.

علوی‌پناه، سیدکاظم، متین‌فر، حمیدرضا، رفیعی امام، عمار، (۱۳۸۸)، کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک شناسی رقومی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۷ صفحه.

فاتحی مرج، احمد، حیدریان، احمد، (۱۳۹۲)، بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی با استفاده از GIS در استان خوزستان، نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷ (۲۳)، صص. ۳۲-۱۹.

کلانتری، حمیده، (۱۳۹۱)، بررسی روابط شاخص خشکی دومارتن و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک و بیابانی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

منتصری، مجید، امیرعطایی، بابک، (۱۳۹۴)، پیش‌بینی استوکستیکی احتمالات وقوع خشکسالی (مطالعه موردی: شمال غرب ایران)، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۵ (۱)، صص. ۶۶-۵۱.

Allen, R.G., (1998), “Evaluation of Procedures for Estimating Mean Monthly Sola”.

Altunkaynak A, Ozger M, Sen Z., (2003), “Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey”, Hydrology and Earth System Sciences, 7 (2): 235–244.

Angstrom A., (1924), “Solar and terrestrial radiation”, Quarterly Journal of the Royal "Meteorological Society, 50: 121–125.

Banglapedia, E., (2003), “National Encyclopedia of Bangladesh”, Islam, S. edited, Asiatic Society of Bangladesh

Cressie, NAC., (1993), “Statistics for Spatial Data”, revised edition Wiley: New York; 900 pp.

Duffie, J.A. and Beckman, W.A., (1991), “Solar engineering of thermal processing”, 2nd ed. Madison: John Wiley & Sons, Inc.

Isaaks EH, Srivastava RM., (1989), “An Introduction to Applied Geostatistics”. Oxford: Oxford University Press: 561 pp.

Kitanidis PK., (1997), “A variance-ratio test for supporting a variable mean in Kriging”. Mathematical Geology, 29 (3): 335–348.

Lu, G.Y. and Wong D.W., (2008), “An Adaptive Inverse-Distance Weighting spatial Interpolation Technique”. Comp. Geosci, 34: 1044-1055.

McKee T.B, Doeskin N.J, and Kleist, J., (1993), “The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA”. American Meteorological Society, Boston, MA, 179-184.

Sen, Z, O Ztopal A, Sahin AD., (2001), “Application of genetic algorithm for determination of Angstrom equation coefficients”, Energy Conversion & Management, 42: 217–231.

Sen, Z., (2008), “Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques”, Istanbul Technical University.

Sirdas, S., (2002), “Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve T¨urkiye Uygulaması (Meteorological drought modelling and application to Turkey)”, PhD Thesis, Institute of Science and Art, Istanbul Technical University.

Sirdas, S., Sahin, A. D., (2008), “Relationship between drought and solar irradiation variables”. Hydrol Process, 22: 1460–1472.

Wilhite, D., A. and M., H., Glantz, (1985), “Understanding the Drought Phenomenon, The Role of Definition”, Water International, 10: 111-20.

Wu, H., Hayes, MJ, Weiss, A, and Hu, Q., (2001), “An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China- Z Index and the statistical Z- Score”, International Journal of Climatology, 21: 745–758.

Zadeh LA., (1968), “Fuzzy algorithms”, Information and Control, 12: 94–102.

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۱/۲۶

صفحات: ۱۰۴-۸۹

مدلسازی هیدرولوژیکی اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز

عطاالله کاویان*[۱]، مریم نامدار[۲]، محمد گلشن[۳]، معصومه بحری[۴]

چکیده

تغییر اقلیم بر روی کمبود دبی جریان رودخانه، سیلاب‌ها و زوال سیستم آبی تأثیر دارد که با پیش‌بینی آن می‌توان مدیریت بهتری بر روی منابع آبی داشت. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های AOGCM و عدم‌قطعیت مربوط به آن‌ها روند تغییر اقلیم حوضه آبخیز هراز برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با سناریو انتشار A2 بررسی شد که در این راستا از شش مدل اقلیمی در ایستگاه‌های بلده و رینه استفاده شد. حوضه آبخیز هراز با مساحت ۴۰۱۲ کیلومتر مربع در استان مازندران واقع شده است. برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان خروجی حوضه از مدل توزیعی SWAT استفاده شد، این مدل به تغییرات زمین و آب و هوا حساس می‌باشد. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از دبی جریان در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ استفاده شد. بعد از اطمینان از کارایی مدل، میزان تغییرات اقلیمی ریزمقیاس شده توسط مدل‌های مطالعاتی برای هر یک از فاکتورهای اقلیمی ورودی به مدل SWAT اعمال و تغییرات رواناب در دوره‌های آتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دوره آتی به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج مقایسه دبی جریان‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که میزان دبی اوج برای دوره آتی افزایش خواهد یافت، درحالی‌که متوسط دبی جریان رودخانه به‌مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی طولانی مدت به تغییرات اقلیمی نیز توجه شود.

واژگان کلیدی: رواناب، تغییر اقلیم، رودخانه هراز، HadCM3، SWAT.

۱- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری(نویسنده مسئول) a.kavian@sanru.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری m.namdar11@yahoo.com

۳- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری m.golshan@sanru.ac.ir

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه یزد masomeh.bahri@yahoo.com

مقدمه

سیستم اقلیم در طول زمان تحت تأثیر محرک‌ها و بازخوردهای زیادی بین مؤلفه‌های سامانه اقلیم و عوامل خارجی شامل فوران‌های آتشفشانی، تغییرات ناشی از دخالت بشر و همچنین تغییرات حاصل از تابش خورشید می‌باشد (محمدیان، ۱۳۹۴). تغییر اقلیم باعث تغییر در میزان، زمان و نوع بارش، افزایش خشکسالی، افزایش تقاضا برای آب، تغییر در نوع مدیریت منابع آب و همچنین افزایش سطح آب دریاها و مشکلات ناشی از آن می‌شود. پژوهشگران و اقلیم شناسان در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کلی زمین و به‌دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین را مهمترین نگرانی موجود می‌شمارند (معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). پیش‌بینی تغییرات اقلیم یکی از راهکارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح جهت استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی می‌کند (بارو و یو، ۲۰۰۵؛ معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱).

برخی محققان اذعان داشته‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش همزمان تبخیر و تعرق و بارش به تسریع چشمگیر چرخه آب کمک نموده که خود منشاء بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (آندرایدز و لتنمایر، ۲۰۰۶). به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو برای بازسازی اقلیم گذشته یا پیش‌بینی اقلیم آینده، این قبیل مدل‌ها را به مدل‌های اقلیم جهانی (GCM[1]) معروف نموده است. هدف مدل‌های GCM محاسبه همه شاخص‌های سه بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. همه عوامل اقلیمی قابل توجه، در مدل‌های گردش عمومی جو منظور شده است و خود بر سه نوع، گردش عمومی جو (AGCM[2])، گردش عمومی اقیانوس (OGCM[3]) و مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس - جو (AOGCM[4]) تقسیم می‌شوند. در مدل‌های گردش عمومی جو معادلات توضیح دهنده تکامل زمانی دما، باد، بارش، بخار آب و فشار در ارتباط با لایه نازک اتمسفر (حدود ۵۰ متر) می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۳). مدل‌های HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4، NCCCSM و NCPCM از مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر می‌باشند که در سال‌های اخیر به‌طور وسیع به‌منظور برنامه‌ریزی برای منابع آب و مدیریت استفاده می‌شود (اشرف، ۱۳۹۰؛ پروانه و همکاران، ۱۳۹۴؛ بیوی، ۲۰۱۳).

اعتماد به نتایج مدل‌ها تا حد زیادی متفاوت است و به‌طور عمده به روش‌ها و ساختار سناریو اقلیمی و مدل هیدرولوژیک بستگی دارد. با استفاده از داده‌های جهانی اگر دمای کره زمین به میزان یک درجه افزایش یابد، رواناب در مقیاس جهانی ۴ درصد افزایش می‌یابد (کالکیک و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای سید قاسمی و همکاران (۱۳۸۵) اثرات تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای را بر مقدار بارندگی و دما با مدل GCM پیش‌بینی و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تأثیر این تغییرات را در جریان رودخانه زاینده رود بررسی کرداند، نتایج شبیه‌سازی برای دوره‌های مورد بررسی کاهش جریان در ماه‌های اردیبهشت و خرداد و انتقال پیک جریان به ماه‌های دی و فروردین را نشان می‌دهد. قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر

[1]- Global circulation model
[2]- Atmosphere General Circulation Model
[3]- Ocean General Circulation Model
[4]- Atmosphere Ocean General Circulation Model

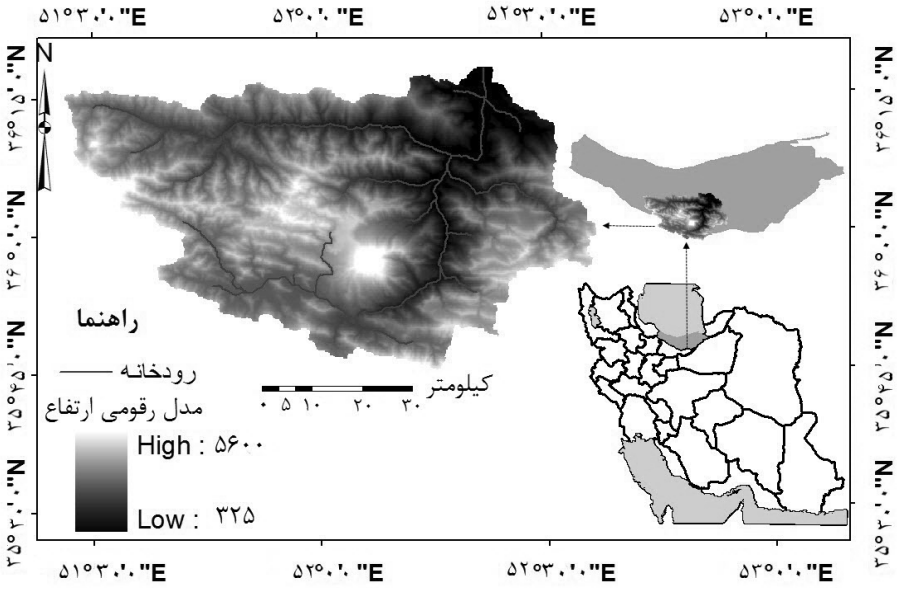
تحت سناریو A2 اقدام به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز پایاب شهرچای نمودند و با استفاده از مدل یکپارچه IHACRES تغییرات اقلیمی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که متوسط دبی برای دوره آتی ۱۰/۵ درصد کاهش خواهد یافت. همین‌طور در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر دبی جریان می‌توان مطالعات نیکبخت‌شهبازی و همکاران (۱۳۹۵)، دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) و آذری و همکاران (۱۳۹۲) را بیان کرد. در مطالعات خارج از کشور نیز مولینا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل SWAT به بررسی اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب ترکیه پرداختند، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تمام مولفه‌های رژیم آبی کاهش یافته در نتیجه تنش آبی و دما افزایش یافته است. پیراس و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری، تأثیر تغییر اقلیم بر بارندگی و دبی اوج مناطق مدیترانه‌ای را بررسی کرداند، نتایج نشان داد که استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی کارایی بالایی دارند. همچنین می‌توان به مطالعات تان و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه جوهار مالزیا و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه‌های کوهستانی چین در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه اشاره کرد. البته باید به این مهم توجه داشت که ارزیابی حساسیت مدل به تغییرات آب و هوایی لزوماً یک طرح از عواقب احتمالی تغییرات آب و هوایی را ارائه نمی‌دهد، با این حال، چنین مطالعاتی بینش ارزشمندی را در حساسیت سیستم‌های هیدرولوژیکی در آینده به تغییرات اقلیم فراهم می‌کنند (ژانگ و چانگ، ۲۰۱۱).

حوضه آبخیز هراز دارای وسعت زیادی بوده و با متوسط آبدهی ۳۱/۱۰ مترمکعب برثانیه (کاویان و همکاران، ۱۳۹۴) پرآب‌ترین رودخانه در استان مازندران به حساب می‌آید. از این رو تحقیق در درک و پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی حوضه بر روند تغییرات جریان رودخانه حائز اهمیت می‌باشد و نقش مهمی در مدیریت منابع آب حوضه دارا می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل تغییر اقلیم LARS-WG تغییرات بارندگی و دمای حوضه آبخیز هراز ارزیابی شد و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تأثیر این تغییرات بر روند دبی جریان مطالعه شد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین '۴۳ °۵۱ تا '۳۶ °۵۲ طول شرقی و بین '۴۵ °۳۵ تا '۲۲ °۳۶ عرض شمالی و در جنوب استان مازندران واقع شده است (شکل۱). وسعت حوضه آبخیز هراز بالغ بر ۴۰۱۲ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط دمای سالانه حدود ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط میزان بارندگی سالانه طولانی مدت از حداقل ۳۰۲ میلی‌متر در بخش تقریباً مرکزی حوضه تا حداکثر ۱۰۶۹ میلی‌متر در بخش شرقی حوضه در نوسان است.



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی

مدل هیدرولوژیکی SWAT

در این تحقیق مدل توزیعی SWAT (ver.2012) بر پایه روابط فیزیکی و تجربی برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه هراز مورد استفاده قرار گرفت. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی پیوسته و توزیعی است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی، سازمان کشاورزی آمریکا (USDA ARS) در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسعه یافته است، مؤلفه‌های اصلی مدل SWAT شامل هیدرولوژی، اقلیم و چرخه نیترات می‌باشد (نیتچ، ۲۰۰۵).

تشریح پایگاه داده‌ها و اجرای مدل

داده‌های مکانی مدل SWAT شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۳۰ متری، نقشه کاربری اراضی (نوع کاربری با کد مربوطه: مراتع علفی (RNGE)، مراتع بوته‌ای (RNGB)، مزارع آبی (AGRR)، مزارع دیم (AGRC)، جنگل (FRST)، بایر (EXPS))، نقشه خاک با ۵۷ نوع خاک (براساس گروه هیدرولوژیکی خاک، تعداد لایه‌های خاک، مواد آلی خاک و ..) وارد مدل شد. همچنین داده‌های آماری هواشناسی شامل بارندگی، درجه حرارت حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی و سرعت باد برای ۱۲ ایستگاه از سال آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بر پایه گام زمانی روزانه از اداره کل هواشناسی کشور تهیه شد. آمار رواناب مشاهداتی مربوط به ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ واقع در خروجی حوضه آبخیز هراز برای دوره زمانی مشابه (۲۰۱۴-۲۰۰۰) از شرکت آب منطقه‌ای مازندران تهیه شد.

آنالیز حساسیت، عدم قطعیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل

پارامترهای زیادی بر خروجی مدل تأثیر دارند که لازم است پارامترهایی که از حساسیت بیشتری برخوردارند مشخص و در دوره واسنجی مدل مورد توجه قرار گیرند. این مرحله از محاسبات توسط الگوریتم SUFI2 (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷) در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد. این الگوریتم مقدار حساسیت پارامترها را با استفاده از مقادیر p-value و t-state بعد از چندین بار اجرای مدل مشخص می‌کند که در این پژوهش برای تحلیل حساسیت پارامترها، تعداد ۴۰۰ تکرار انجام شد. هر مقدار که قدر مطلق t-state بیشتر و مقدار p-value نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. آمار آب-هواشناسی ورودی به مدل برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به فرمت مدل تهیه شد و با درنظر گرفتن ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی مدل و ۳۰ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل، دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ برای واسنجی مدل و دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. به‌منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل از نمایه‌های آماری R^2 (ضریب تبیین)، ضریب NS[1] (ضریب نش-ساتکلیف) و RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) استفاده شد.

تولید سناریو تغییر اقلیم

مدل LARS-WG خود همبستگی بین داده‌های مشاهداتی را برای مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش به کار می‌برد (سیمینو، ۲۰۰۲). شبیه‌سازی وقوع بارش نیز بر اساس سری‌های تر و خشک مدل می‌شود. در این مدل متغیرهای هواشناسی بزرگ مقیاس به‌صورت مستقیم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و متغیرهای اقلیمی ناحیه‌ای متناسب با منطقه مورد نظر جهت بررسی تغییرات اقلیمی تنظیم می‌گردند (خان‌محمدی، ۲۰۰۶). داده‌های بارش روزانه در ناحیه مورد نظر برای هر ماه با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول مورد بررسی قرار می‌گیرند و داده‌های تاریخی جهت تعیین مشخصات آماری نظیر تعداد روزهای خشک و تر، میانگین و توزیع بارش‌های روزانه در هر ماه از سال به‌کار گرفته می‌شوند (کینگ و همکاران، ۲۰۱۵).

استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جو (AOGCM) معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند (لانی و همکاران، ۱۹۹۹، ویلبی و هاریس، ۲۰۰۶). عوامل مختلفی بر عدم‌قطعیت مدل‌سازی اقلیمی تأثیر گذار می‌باشند که ساختار دینامیکی مدل اقلیمی (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (نوبرگ و همکاران، ۲۰۱۱) از مهمترین عوامل می‌باشند. برای این‌منظور در این تحقیق از نتایج ۶ مدل اقلیمی HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4، NCCCSM و NCPCM تحت سناریو A2 برای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ استفاده شد، سناریو A2 به دلیل در نظر گرفتن رشد زیاد جمعیت

[1]- Nash Sutcliffe

و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی با دیدگاه منطقه‌ای در جهت تعیین میزان گاز گلخانه (IPPC، ۲۰۰۱) انتخاب شد. مشخصات مربوط به مدل‌های ریزمقیاس نمایی در جدول ۱ آورده شده است (ازلی، ۲۰۱۰).

جدول ۱: مشخصات مدل‌های اقلیمی مورد استفاده برای ریزمقیاس نمایی تغییرات اقلیمی

نام مدل اقلیمی جهانی	نام مخفف مدل	موسسه	کشور	تفکیک مکانی
HADCM3	HADCM3	مرکز اداره هواشناسی هادلی[1]	انگلستان	۵.۲ × ۷۵.۳°
HADGEM	HADGEM	دفتر هواشناسی اتحادیه مدل TM [2]	انگلستان	۲.۱ × ۸.۱°
INM-CM3	INCM3	ریاضیات عددی[3]	روسیه	۱ × ۵°
IPSL-CM4	IPCM4	پیر سیمون لاپلاس[4]	فرانسه	۵.۲ × ۷۵.۳°
CCSM3	NCCCSM	مرکز ملی جو[5]	آمریکا	۴.۱ × ۴.۱°
NCAR	NCPCM	مرکز ملی تحقیقات جوی[6]	آمریکا	۸.۲ × ۸.۲ °

فرآیند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث در قلمرو علوم محیطی می‌باشد (ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹). در این تحقیق مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه هواشناسی بلده و رینه از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ شد.

با توجه به‌اینکه در حوضه مورد مطالعه بین بالادست و پایین دست حوضه ۵۲۷۵ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد، یک ایستگاه در پایین دست و یک ایستگاه در بالادست حوضه به‌منظور بررسی و ریزمقیاس کردن روند تغییرات آب و هوا انتخاب شد سپس تأثیر تغییرات مشاهده شده بر ایستگاه‌های مجاور اعمال شد (جدول ۲). پس از مرتب‌سازی داده‌ها و ایجاد فایل‌های مورد نیاز، مدل‌ها برای دوره پایه اجرا شدند. مرحله صحت‌سنجی مدل متناسب با داده‌های ۲۰ ساله مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه شدند. در بخش واسنجی مدل، بعد از جمع‌آوری داده‌ها و آماده کردن آن‌ها برای دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۰)، مدل برای این دوره اجرا شد. در این تحقیق مدل اقلیمی به تعداد ۵ بار تکرار شد و نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله ارزیابی مدل، با استفاده از آماره‌های R^2، NS و RMSE داده‌های اقلیمی تولید شده توسط مدل‌های مطالعاتی و داده‌های مشاهده شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

[1]- Met Office Hadley Centre
[2]- Met Office Unified Model TM
[3]- Institute for Numerical Mathematics
[4]- Institute Pierre Simon Laplace
[5]- National Center for atmospheric
[6]- National Center for Atmospheric Research

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه مرجع	ایستگاه‌های تحت تأثیر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
بلده (پایین دست حوضه)	بلده	۵۷۱۷۳۵	۴۰۰۵۵۷۶	۷۸۳۱
	چمستان	۶۰۰۳۸۷	۴۰۳۷۳۰۵	۱۵۰
	گت کلا	۶۳۴۷۰۸	۴۰۰۶۴۶۳	۱۶۴۰
	کدیر	۵۷۰۶۳۸	۴۰۳۴۱۰۱	۱۲۵۰
	کره سنگ	۶۲۲۶۹۲	۴۰۱۸۰۸۷	۲۲۰
	پنجاب	۶۱۴۳۶۲	۳۹۹۵۴۸۲	۸۶۰
	رزن	۶۰۶۱۱۶	۴۰۰۶۴۶۹	۱۲۴۰
	شیخ موسی	۶۴۰۴۹۹	۳۹۹۷۲۷۷	۱۵۰۰
رینه (بالادست حوضه)	رینه	۵۹۶۲۵۹	۳۹۴۳۳۸۳	۲۲۴۰
	ناندل	۶۰۶۶۰۸	۳۹۸۸۲۹۴	۲۴۰۰
	لاسم	۶۰۸۴۰۵	۳۹۶۴۲۷۹	۲۴۰۰
	اندوار	۶۳۲۰۸۰	۳۹۹۲۳۳۹	۲۰۰۰

شبیه‌سازی تغییرات روند هیدرولوژیکی با مدل SWAT

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی رژیم جریان هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در مدل SWAT با تغییر در ورودی‌های مدل قابل شبیه‌سازی است. مدل توزیعی این کارایی را دارد تا در هر زیرحوضه متناسب با خروجی‌های مدل‌های GCM میزان تغییرات بارندگی، دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش خورشید، رطوبت و سطح دی‌اکسید کربن را اعمال کند (آرنولد و همکاران، ۲۰۰۹). روابط مورد استفاده برای اعمال کردن مقدار تغییرات بارش، دمای حداقل و حداکثر، مطابق روابط زیر می‌باشد (رضایی‌زمان و همکاران، ۱۳۹۲):

معادله (۱) $$T_{mx} = T_{mx} + adj_{tmp}$$

معادله (۲) $$T_{mn} = T_{mn} + adj_{tmp}$$

معادله (۳) $$R_{day} = R_{day}.\left(1 + \frac{adj_{pcp}}{100}\right)$$

که R_{day} مقدار بارندگی در زیرحوضه بر حسب میلی‌متر، adj_{pcp} درصد تغییرات در بارندگی، T_{mx} دمای حداکثر روزانه بر حسب درجه سلسیوس، adj_{tmp} تغییر در دما و T_{mn} دمای حداقل روزانه بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد. این تغییرات به‌طور ماهیانه در مدل SWAT اعمال شد.

نتایج و بحث

مدل SWAT با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کره سنگ و پارامترهای حساس واسنجی و صحت‌سنجی شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی در جدول ۳ آورده شده است. به منظور واسنجی مدل توسط الگوریتم SUFI2 از پارامترهای حساس در منطقه مطالعاتی استفاده شد در جدول ۴ بازه مقادیر

پارامترها و مقادیر بهینه مشخص شده، نشان داده شده است. شکل ۲ نتایج حاصل از اجرای مدل برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه، در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ را برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. متوسط دبی شبیه‌سازی شده برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ برابر با ۲۸/۹۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که به متوسط دبی اندازه‌گیری شده (۲۷/۴۳ مترمکعب بر ثانیه) نزدیک می‌باشد و مقدار دبی شبیه‌سازی شده برای اکثر دوره زمانی در محدوده عدم‌قطعیت ۹۵ درصد قرار دارد.

همچنین مدل زمان وقوع دبی اوج و مقادیر دبی اوج را به‌طور مناسبی شبیه‌سازی کرده است به‌طوری‌که با زمان رخداد بارندگی شدید مطابقت دارد. طبق نتایج حاصله بیشترین مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده برابر با ۸۷/۹۴ متر مکعب در ماه ژوئن سال ۲۰۰۵ می‌باشد که بیشترین مقدار دبی اوج اندازه‌گیری شده در این تاریخ برابر با ۸۰ متر مکعب بر ثانیه و مقدار بارندگی برابر با ۱۰۲ میلی‌متر می‌باشد. کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی اوج در مطالعات ین و همکاران (ویلبی و هاریز، ۲۰۰۶: ۸۶)، کالکیک و همکاران (۲۰۱۵) و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان شده است. در شکل ۳ پراکنش مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل بر روی خط ۱:۱ نشان داده شده است. نمایه‌های آماری نشان داد که مدل از دقت بالایی برای شبیه‌سازی رواناب منطقه برخوردار می‌باشد (جدول ۵).

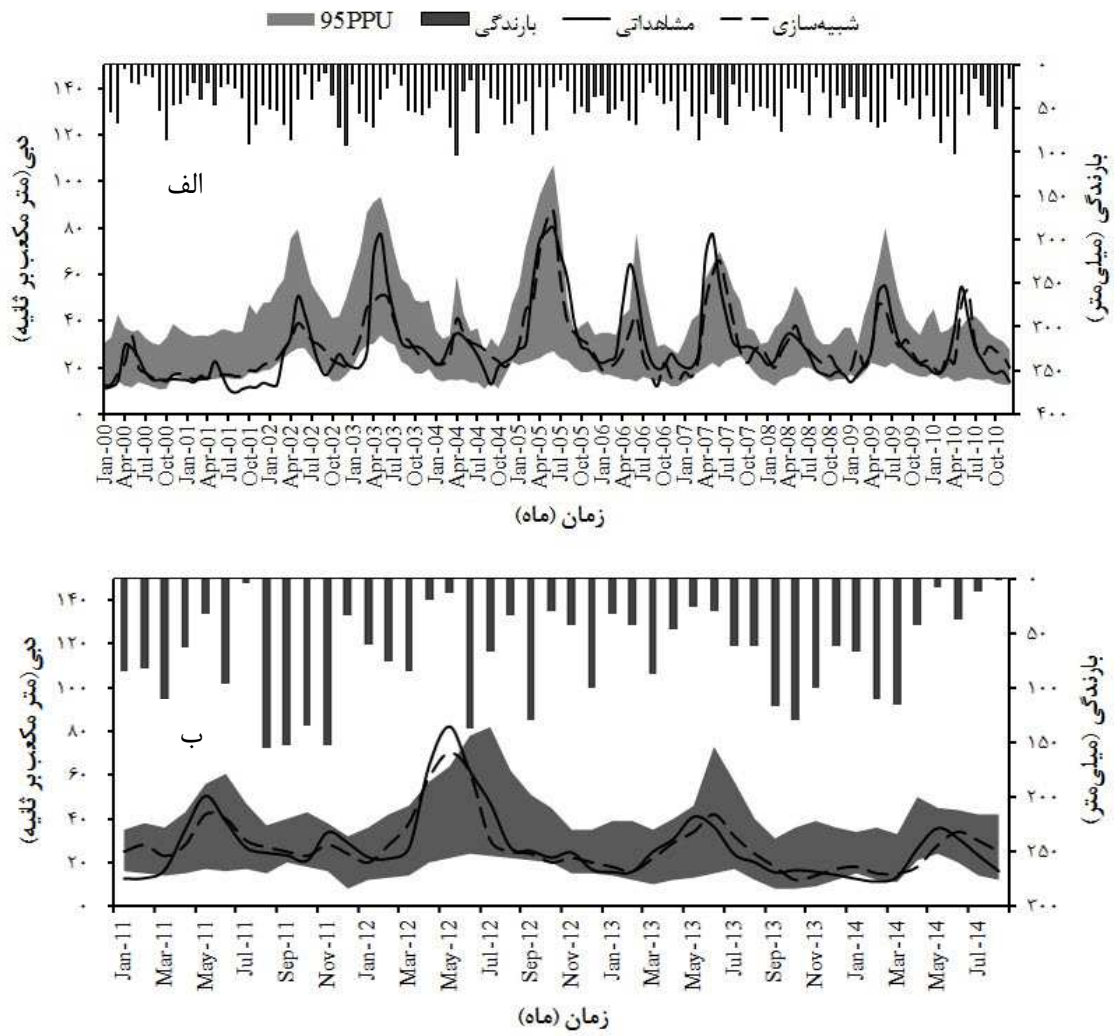
جدول ۳: پارامترهای مورد مطالعه برای تحلیل حساسیت با استفاده از الگوریتم SUFI2

پارامتر	توضیحات	t-Stat	P-Value
r__LAT_TTIME.hru	زمان تأخیر جریان زیرسطحی (day)	۰/۵۱	۰/۷۳
v__SMFMX.bsn	نرخ ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mm/day)	۰/۶۸	۰/۷۲
r__SOL_AWC().sol	نرخ ظرفیت رطوبت خاک (mmH2O/mm Soil)	۰/۸۳	۰/۶۸
r__SLOPE	شیب متوسط زمین در هر HRU	۰/۹۵	۰/۵۳
v__GW_REVAP	ضریب صعود موییننگی از سفره کم عمق	۱/۰۸	۰/۲۶
r__EPCO.hru	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	۱/۲۸	۰/۲۳
v__Rchrg_Dp	درصد تغذیه سفر عمیق از سفره سطحی	۱/۳۹	۰/۲
v__REVAPMN	حداقل مقدار آب برای تبخیر آب زیرزمینی (mm)	۱/۴۲	۰/۱۶
r__Sol_Alb	ضریب بازتاب لایه خاک	۱/۴۶	۰/۱۴
v__CH_N2	ضریب مانینگ رودخانه	۱/۵۴	۰/۱
v__SURLAG	ضریب تأخیر رواناب سطحی (روز)	۱/۶۷	۰/۱
v__SFTMP	متوسط دمای هوا برای بارش برف (c۰)	۱/۸۹	۰/۰۱
v__ALPHA_BF	پارامتر آلفا در جریان پایه (روز)	۲/۶۵	۰/۰۲۲
v__TIMP	فاکتور تأخیر دمای فشرده سازی برف	۲/۳۷	۰/۰۲۶
v__SMTMP	دمای پایه ذوب توده برف (c۰)	۳/۵۳	۰/۰۰۱
r__ESCO	فاکتور جبران تبخیر خاک	۴/۲۳	۰/۰۰۲
v__CH_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر (mm/hr)	۴/۴۸	۰/۰۰۰۳
v__ALPHA_BNK	ضریب تخلیه کانال (day)	۴/۷۸	۰
r__SOL_BD	چگالی توده خاک (gr/cm3)	۵/۳۴	۰
r__CN2	شماره منحنی	۶/۱۲	۰

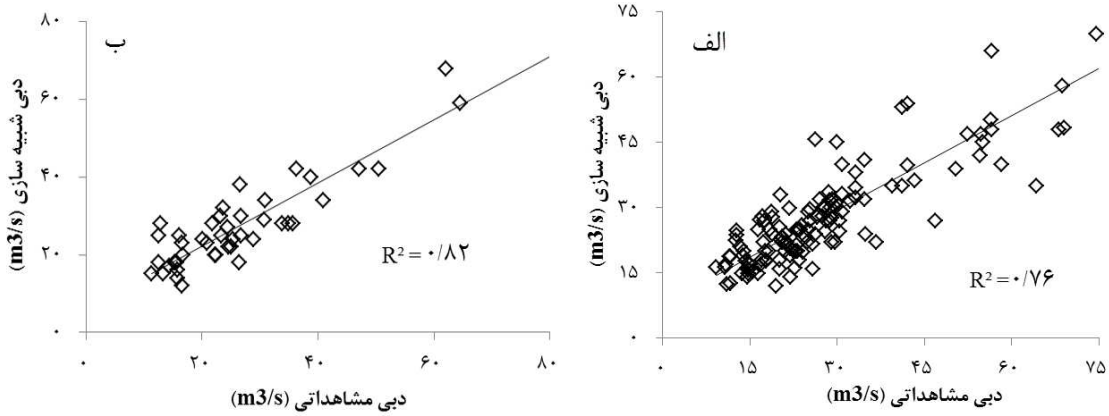
v- به‌معنای جایگزین کردن مقادیر موجود با مقدار داده شده و r به‌معنای ضرب کردن مقادیر موجود پارامتر در (۱+) مقدار داده شده است.

جدول ۴: پارمترهای واسنجی و مقدار بهینه آن‌ها برای حوضه آبخیز هراز با استفاده از الگوریتم **SUFI2**

پارامتر	مقدار	حداقل	حداکثر
SMTMP	۰/۴۵	۰	۲
ESCO	۰/۶۸	۰	۱
CH_K2	۴۸/۴۲	۰/۰۱	۳۰۰
ALPHA_BNK	۰/۰۱	۰	۱
SOL_BD	۱/۵	۰/۹	۲/۵
CN2	۳/۹۲	۰/۴	۸



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب در دوره: الف) واسنجی ب) صحت‌سنجی



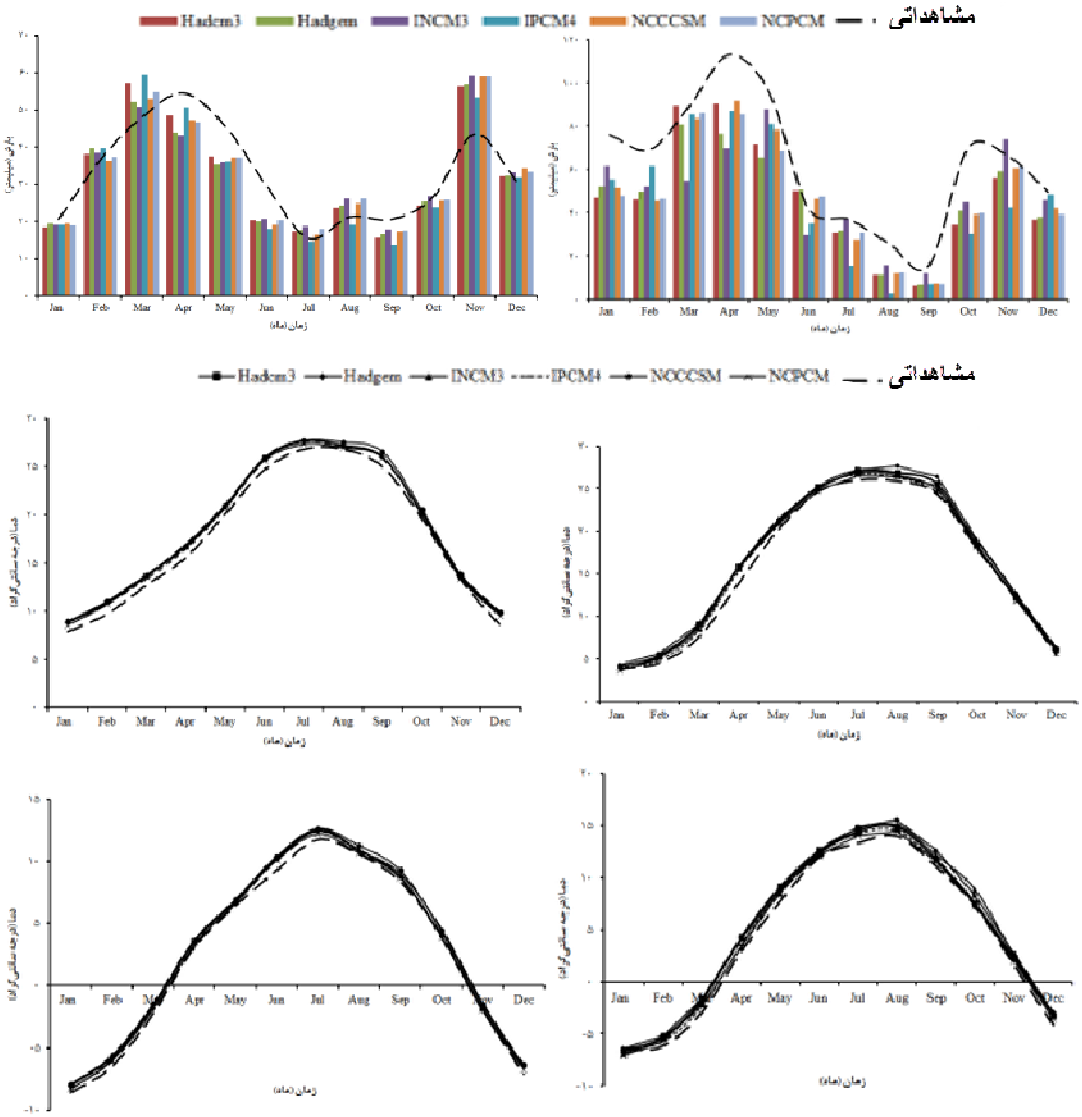
شکل ۳: ضریب تبیین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره: الف) واسنجی ب) صحت‌سنجی

جدول ۵: ارزیابی کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه هراز

دوره	نمایه‌های آماری		
	NS	R^2	RMSE
واسنجی	۰/۷۳	۰/۷۶	۶/۵۲
صحت‌سنجی	۰/۷۸	۰/۸۲	۱۶/۵

تأثیر تغییر اقلیم بر متغییرهای اقلیمی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر میانگین بارش سالانه برای ایستگاه‌های هواشناسی بلده و رینه برای دوره پایه (۱۹۹۰–۲۰۱۰) به‌ترتیب ۳۹۴ و ۵۴۷ میلی‌متر می‌باشد. همچنین کمینه بارش سالانه برای منطقه ۳۴۲ میلی‌متر در سال ۲۰۱۰ و بیشینه بارش سالانه ۶۹۵ میلی‌متر در سال ۱۹۹۶ می‌باشد. شکل ۴ نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی داده‌های دما و بارش با استفاده از مدل‌های مطالعاتی را برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نشان می‌دهد. با توجه به مطالعات انجام شده (جاهد و همکاران، ۱۳۹۰؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲) آماره‌های خطاسنجی مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی در هریک از ایستگاه‌های مطالعاتی تعیین شد که نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ نشان داده شده است. نمایه‌های آماری نشان می‌دهند که مدل‌های مورد مطالعه در هر دو ایستگاه از قابلیت خوبی برای ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی حوضه آبخیز هراز برخوردار می‌باشد.



شکل ۴: نتایج ریز مقیاس کردن داده‌های هواشناسی با مدل‌های مطالعاتی (سمت راست ایستگاه رینه؛ چپ ایستگاه بلده)

جدول ۶: آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (۲۰۳۰-۲۰۱۱)

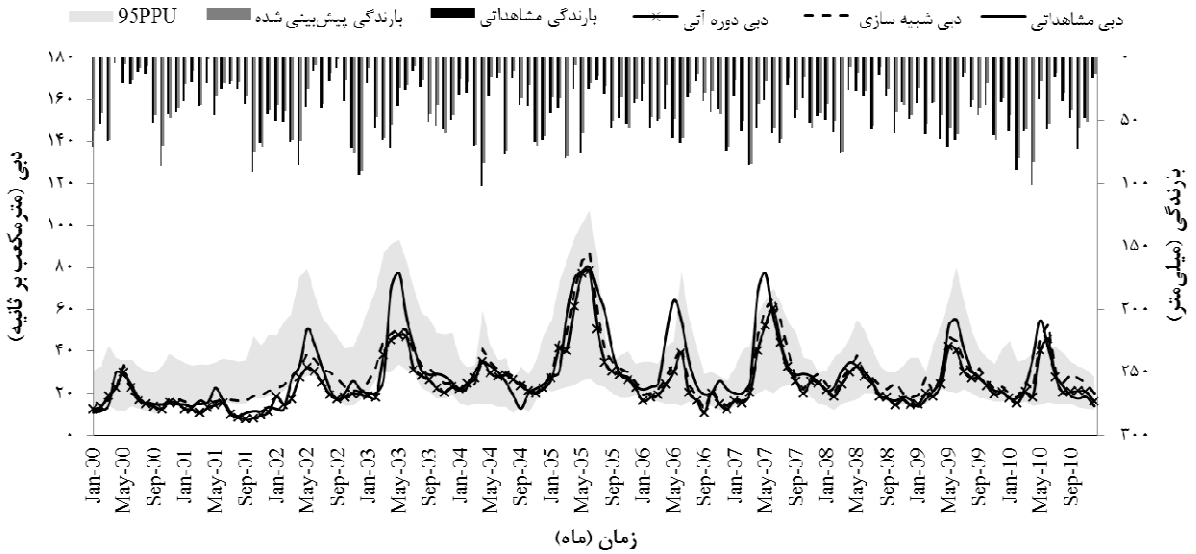
ایستگاه	مدل اقلیمی	میانگین بارش ماهانه			میانگین دمای حداقل ماهانه			میانگین دمای حداکثر ماهانه		
		R^2	RMSE	NS	R^2	RMSE	NS	R^2	RMSE	NS
بلده	HADCM3	۰/۹۱	۳/۱	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۳	۰/۸۸
	HADGEM	۰/۸۹	۲/۶	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۲۹	۰/۹۲
	INCM3	۰/۹۲	۳/۹	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۳۴	۰/۷۵
	IPCM4	۰/۸۵	۳/۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۲۵	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۲۵	۰/۸۶
	NCCCSM	۰/۸۸	۲/۶	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۴	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۳	۰/۹۶
	NCPCM	۰/۷۸	۴/۸	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۳۶	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۳۷	۰/۸۴
رینه	HADCM3	۰/۸۴	۶/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۳۳	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۳۲	۰/۸۹
	HADGEM	۰/۸۶	۳/۸	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۳۷	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۴	۰/۹۲
	INCM3	۰/۹۴	۴/۵	۰/۷۹	۰/۹۴	۰/۲	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۳	۰/۸۸
	IPCM4	۰/۸۸	۲/۸	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۳۲	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۲۴	۰/۹۴
	NCCCSM	۰/۷۸	۵/۶	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۴	۰/۸۵	۰/۷۵	۵/۶	۰/۸۲
	NCPCM	۰/۸۲	۳/۳	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۳۱	۰/۸۶	۰/۹۲	۵/۳	۰/۷۷

بررسی تغییرات دما، بارش و رواناب

با توجه به تأثیر بارزتر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی بر سیستم‌های منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و غیره، مطالعات اولیه در زمینه تأثیر پدیده تغییر اقلیم، عمدتاً بر روی این دو متغیر می‌باشد (نامدار، ۱۳۹۴). با توجه به شکل ۴ متوسط دراز مدت ماهانه دمای حداکثر و حداقل منطقه در دوره شبیه‌سازی شده برای ایستگاه هواشناسی بالادست (رینه) و پایین‌دست (بلده) افزایش دمای قابل توجهی را در فصل‌های بهار و تابستان نشان می‌دهد. در بین مدل‌های مطالعاتی مدل NCCCSM بیشترین افزایش دما برای متوسط سالانه دمای حداقل و حداکثر سالانه را نشان می‌دهد. در حوضه آبخیز هراز در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر افزایش دمای حداکثر به‌ترتیب ۰/۸۵، ۰/۶۵ و ۱/۰۴ درجه سانتی‌گراد و افزایش دمای حداقل ۰/۹، ۰/۶۰ و ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. افزایش دما در ماه‌های گرم سال در اثر تغییر اقلیم در مطالعات دونگ و همکاران (۲۰۱۴)، تان و همکاران (۲۰۱۵) و رضایی زمان و همکاران (۱۳۹۲) نیز عنوان شده است. مدل IPCM4 در هر دو ایستگاه مطالعاتی نسبت به مدل‌های دیگر کمترین پیش‌بینی بارندگی را دارد و مدل INCM3 نیز بیشترین پیش‌بینی بارندگی را دارد. متوسط بارندگی ماهانه منطقه در دوره شبیه‌سازی شده برای ایستگاه بلده، در ماه‌های نوامبر و مارس با استفاده از همه مدل‌های مطالعاتی افزایش بارندگی را نشان می‌دهد و در سایر ماه‌ها اکثراً کاهش بارندگی رخ داده است و برای ایستگاه رینه با استفاده از مدل INCM3 در ماه نوامبر و با مدل HadCM3 در ماه

مارس افزایش بارندگی رخ داده است، به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که متوسط بارندگی حوضه هراز در ماه‌های پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت که با نتایج مطالعات نامدار (۱۳۹۴) در حوضه آبخیز هراز مطابقت دارد.

جهت بررسی تغییرات رواناب، سری‌های زمانی ریزمقیاس شده دمای حداکثر، حداقل و بارش ماهانه در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ به مدل هیدرولوژیکی SWAT اعمال و سری زمانی رواناب حوضه هراز در دوره ۲۰۳۰ – ۲۰۱۱ تولید شد. شکل ۵ مقدار تغییرات طولانی مدت ماهانه دبی جریان رودخانه را در دوره‌ی آتی (۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰) نسبت به دوره‌ی مشاهداتی نشان می‌دهد. مقدار متوسط دبی و دبی اوج پیش‌بینی شده رودخانه هراز برای دوره زمانی آتی به‌ترتیب ۲۵ و ۷۸/۱۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. دبی تجمعی برای فصل زمستان ۳ درصد و برای فصل پاییز ۶ درصد افزایش یافته است درحالی که برای فصل بهار و تابستان مقدار کاهش دبی به‌ترتیب ۱۲ و ۷ درصد می‌باشد که با توجه به قرار گرفته حوضه آبخیز هراز در سلسله کوه‌های البرز و وجود قله دماوند با ارتفاع ۵۶۰۰ متر در منطقه مطالعاتی، نتایج حاصله با مطالعات قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) منوط به کاهش دبی در مناطق کوهستانی مطابقت دارد. شروع دبی‌های اوج برای دوره‌ی آتی از اوایل بهار می‌باشد که زودتر از دوره پایه می‌باشد و به‌طور مستقیم تحت تأثیر افزایش دمای مناطق بالادست می‌باشد که با مطالعات سید قاسمی و همکاران (۱۳۸۵) و بیوی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.



شکل ۵: شبیه‌سازی رواناب ماهانه برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در حوضه آبخیز هراز

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان هیدرولوژیکی رودخانه هراز که از شریان‌های حیاتی شمال کشور می‌باشد انجام شده است. بدین منظور از ۶ مدل اقلیمی HadCM3، HadGEM، INCM3، IPCM4،

NCCCSM و NCPCM که از مدل‌های AOGCM می‌باشند استفاده شد و مقدار تغییرات برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی انتشار A2 استخراج شد. ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی نشان داد که مدل‌های مورد استفاده برای ارزیابی تغییرات اقلیمی از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. مدل NCCCSM برای دمای حداقل و دمای حداکثر بیشترین افزایش و مدل IPCM4 کمترین افزایش دما را برای این پارامترها نشان می‌دهد. همچنین برای بارندگی منطقه مدل INCM3 بیشترین و مدل IPCM4 کمترین پیش‌بینی را داشته‌اند. بنابراین با وجود اختلاف بین نتایج مدل‌ها جهت کاهش عدم‌قعیت پیش‌بینی‌های اقلیمی صورت گرفته، از نتایج همه مدل‌های اقلیمی برای تعیین مقدار تغییرات در پارامترهای اقلیمی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی استفاده شد. مدل هیدرولوژیکی SWAT با توجه به کاربرد وسیع و موفقیت‌آمیز آن در ایران و جهان، به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه انتخاب شد. جهت ارزیابی تبعات تغییر اقلیم بر دبی جریان رودخانه هراز، مدل هیدرولوژیکی SWAT با استفاده از دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری کره سنگ واسنجی شد. آنالیز حساسیت پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2 نشان داد که با توجه به خصوصیات منطقه پارامتر شماره منحنی (CN) نسبت به سایر پارامترها از بیشترین حساسیت برخوردار می‌باشد. با اعمال تغییرات اندک در مقدار این پارامتر نتایج شبیه‌سازی مدل به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. بنابراین جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در منطقه این پارامتر حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به ضرایب آماری به‌دست آمده، مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی منطقه از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. مقدار و زمان وقوع دبی اوج شبیه‌سازی شده متناسب با دبی اوج مشاهداتی می‌باشد همچنین روند صعودی و نزولی هیدروگراف سیل شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با یکدیگر مطابقت دارند. بنابراین تغییرات اقلیمی ریزمقیاس شده بر ورودی‌های مدل اعمال شد و تغییرات حاصله در خروجی منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که میزان دبی جریان رودخانه هراز برای دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ در فصل پاییز بیشترین افزایش دبی را خواهد داشت، اما به‌طورکلی مقدار دبی متوسط رودخانه هراز به مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج به‌دست آمده صرف نظر از جهت تغییرات هر یک از مؤلفه‌ها، دلالت بر اهمیت الگوی زمانی تغییرات در طول سال دارد که نقش مؤثری در مدیریت منابع آب حوضه دارا می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر ضمن بیان اهمیت اثرات بالقوه تغییر اقلیم در وضعیت هیدرولوژی حوضه لزوم توجه به بحث تغییر اقلیم و پیامدهای آن را در مدیریت منابع آب حوضه آبخیز رودخانه هراز متذکر می‌گردد.

منابع

آذری محمود، مرادی حمیدرضا، ثقفیان بهرام، فرامرزی منیره (۱۳۹۲)، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود، مجله علوم آب و خاک، دوره بیست و هفتم، شماره سوم، صص ۵۳۷-۵۴۷.

اشرف بتول، موسوی بایگی محمد، کمالی غلامعلی، داوری کامران (۱۳۹۰)، پیش‌بینی نیاز آبی چغندر در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریز مقیاس کننده LARS-WG، مجله آب و خاک، دوره ۲۵، شماره پنجم، صص۱۱۹۶-۱۱۸۴.

پروانه بهروز، شیراوند هنگامه، درگاهیان فاطمه (۱۳۹۴)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان لرستان طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی ۴ مدل گردش عمومی جو، مجله جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۲، شماره چهل و پنجم، ۱۳-۱.

ثانی‌خانی هادی، دین‌پژوه یعقوب، پوریوسف سعید، زمانزاده قویدل سروین، صولتی بهاره (۱۳۹۲)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی)، مجله آب و خاک، دوره بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۲۳۴-۱۲۲۵.

جاهد رضا، کمال نویدجلال، بابازاده حسین (۱۳۹۰)، صحت‌سنجی عملکرد شبیه‌های گردش عمومی جو (AOGCM) در شبیه‌سازی داده‌های دما در منطقه‌ی کرمان، مجله مهندسی منابع آب، شماره چهارم، صص ۶۴-۵۱.

حمیدیان‌پور محسن، باعقیده محمد، عباس‌نیا محسن (۱۳۹۵)، ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره چهل و هشت، شماره اول، صص ۱۲۳-۱۰۷.

دستورانی محمدتقی، بحری معصومه، پناهی مهسا (۱۳۹۱)، بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تاثیر آن بر دبی رودخانه جاجرود، مجموعه مقالات هشتمین همایش مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان.

ذهبیون باقر، گودرزی محمدرضا، مساح‌بوانی علیرضا (۱۳۸۹)، کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، پژوهش‌های اقلیم شناسی، دوره اول، شماره سوم، صص ۱۶-۱.

رضایی زمان، مصطفی، مرید، سعید، دلاور، مجید (۱۳۹۲)، «ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود»، مجله آب و خاک، ۲۷(۶): ۱۲۵۹-۱۲۴۷.

رضائی علی (۱۳۸۵)، بررسی اثر گسترش اراضی دیم بر شدت حوزه آبخیز قزل اوزن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قزل اوزن)، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.

سید قاسمی سمانه، ابریشم چی احمد، تجریشی مسعود (۱۳۸۵)، اثرات تغییرات جریان رودخانه زاینده رود بر اثر تغییر اقلیم، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

عساکره حسین (۱۳۸۳)، تغییر اقلیم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان.

کاویان عطاالله، گلشن محمد، روحانی حامد، اسمعلی عوری اباذر (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوضه آبخیز هراز با مدل SWAT، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی تهران، شماره چهل و هفتم، صص۲۱۱-۱۹۷.

قاسمی الهه، فتاحی ابراهیم، بابائی ام‌السمله (۱۳۹۲)، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب با رویکرد عدم‌قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو»، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره چهارم، شماره سیزدهم، ۵۳-۳۷.

محمدیان عباس (۱۳۹۴)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی و رسوب حوزه آبخیز سد طرق مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد.

معافی‌مدنی سیده فاطمه، موسوی بایگی محمد، انصایر حسین (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریز مقیاس نمایی آمار خروجی مدل LARS-WG، مجله جغرافیا ومخاطرات طبیعی، دوره سوم، صص ۳۷-۲۱.

نامدار مریم (۱۳۹۳)، پیش‌بینی رواناب سطحی بر پایه تغییرات اقلیمی حوزه آبخیز هراز، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

نیکبخت‌شهبازی علیرضا، ظهرابی نرگس، تابان حجت (۱۳۹۵)، ارزیابی عدم‌قطعیت مدل‌های گردش کلی جو در تخمین بارش و رواناب حوضه دز علیا تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله فیزیک زمین و فضا، مقالات آماده انتشار.

Abbaspour K.C. (2007), "SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Programs", Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag: Duebendorf, Switzerland; 95.

Andreadis K.M., Lettenmaier D.P. (2006), "Trends in 20th century drought over the continental United States", Geophysical Research Letters, 33: L10403.

Arnold JG., Srinivasan P., Muttiah R.S., Williams J.R. (2009), "Swat User Manual, Large area hydrologic modeling and assessment", Water Resources Association, volume 34, number 1, pp 73–89.

Azli Wan. (2010), "Modeling climate change in Malaysia", Malaysian Meteorological Department, Ministry of Science, Technology and Innovation, Climate Change and Biodiversity Workshop.

Barrow E., Yu G. (2005), "Climate Scenario for Alberta", A report prepared for the priarie Adaptation Research.

Bavay M., Grünewald T., Lehning M. (2013), "Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland", Advances in Water Resources, volume 55, pp 4-16.

Bieger K., Hormann G., Fohrer N. (2015), "Detailed spatial analysis of SWAT-simulated surface runoff and sediment yield in a mountainous watershed in China", Hydrological Sciences, volume 60, number 5, pp 784-800.

Dong W., Cui B., Liu Z., Zhang K. (2014), "Relative effects of human activities and climate change on the river runoff in an arid basin in northwest China", Hydrological processes, volume 28, pp 4854-4864.

IPPC. (2001), "Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", editors: J. T. Hhoughton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson. Cambrige. U. K, Cambridge University Press.

Jung I.W., Chang H. (2011), "Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA", Hydrological Processes, volume 25, pp 258-277.

Kalcic M., Chaubey I., Frankenberger J. (2015), "Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries", Agricultural and Biological Engineering, volume 8, pp 1 -12.

Khanmohammadi S., Coulibaly P., Dibike Y. (2006), "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods", Hydrology, volume 319, pp 357–382.

King L.M., McLeod A. I., Simonovic S. P. (2015), "Improved weather generator algorithm for multisite simulation of precipitation and temperature", The American Water Resources Association, volume 51, number 5, pp 1305-1320.

Lane M., Kirshen P., and Vagel R. (1999), "Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE", Water resource planning management, volume 125, pp 194-204.

Molina E., Trolle D., Martinez S., Sastre A, (2014), "Hydrological and Water quality impact assessment of a Mediterranean Limon-reservoir under climate change and land use management Scenarios", Hydrology, 509: 354-366.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R, (2005), Soil and water assessment tool theoretical documentation, Version 2005. 647 pages.

Nobrega, M. T., Collischonn, W., Tucci, C. E. M., Paz, A. R, (2011), "Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil", Hydrology and Earth System Sciences, volume 15, number 2, pp 585-595.

Piras M., Mascaro G., Deidda R., Vivonia E. (2016), "Impacts of climate change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin", Total Environment, volume 543, pp 965–980.

Semenov M.A., Barrow E.M. (2002), "LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User's Manual.

Tan M., Ibrahim A., Yusop Z., Duan Z., Ling L. (2015), "Impacts of landuse and climate variability on hydrological components in the Johor River basin", Malaysia. Hydrological Sciences, volume 60, pp 1-17.

Wilby R., Haris I. (2006), "A frame work for assessing uncertainties in Climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames", U.K.water resources research.

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۰
صفحات: ۱۲۴-۱۰۵

تحلیل محدودیت های ژئومورفولوژیکی در گسترش کالبدی شهر با تاکید بر فرسایش خندقی (مطالعه موردی: شهر مُهر در جنوب استان فارس)

محمد غلامی*[۱]، مهدی احمدی[۲]، مهران محمودی[۳]

چکیده

یکی از مسائل اساسی شهرهای کشورهای در حال توسعه، مسئله رشد سریع جمعیت و گسترش کالبدی است. برای تعیین جهات بهینه گسترش کالبدی- فیزیکی شهرها، لازم است تا شناخت و تحلیل دقیقی از خصوصیات زمین و تناسب آن در دسترس برنامه ریزان و مدیران شهری باشد. مسئله اصلی این پژوهش، پدیده فرسایش خندقی و اثر گذاری آن بر روند گسترش کالبدی شهر مُهر در جنوب استان فارس می باشد. بر همین مبنا هدف از انجام پژوهش حاضر، شناخت پدیده‌ها و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی موثر بر گسترش کالبدی شهر با تاکید بر فرسایش خندقی و محدودیت‌هایی است که این عوامل برای توسعه شهری فراهم می‌کنند، می باشد. مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، زمین شناسی، داده های کاربری زمین و عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۳۳۵ ، ۱۳۷۳ و ۱۳۹۲ می‌باشد. پس از تهیه کلیه داده¬ها، از روش AHP جهت پهنه بندی خطر فرسایش خندقی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نتیجه بررسی‌ها نشان داد که شهر مُهر برای گسترش فیزیکی- کالبدی در تمامی جهات با محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی مواجه است. اما فرآیندهای مربوط به فرسایش خندقی و شیب مهمترین فرآیند محدود کننده توسعه شهری می باشند. بیشترین این محدودیت‌ها در شمال، شمال غرب، شمال شرق و جنوب شهر مورد مطالعه وجود دارد. همچنین نتایج پهنه بندی فرسایش خندقی نشان داد سنگ شناسی، کاربری زمین، فاصله از آبراهه، شیب و فاصله از جاده به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین ارزش از نظر خطر فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه بوده و محدوده شهر مُهر، در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. با توجه به اینکه این نوع از فرسایش دارای پیچیدگی‌های خاص خود است، به نظر می رسد مهم ترین راهکار برای جلوگیری از رشد و گسترش فرسایش خندقی در محدوده شهر مورد مطالعه،انجام روش های مهندسی برای کنترل آبراهه ها در کوتاه مدت و اقدامات آبخیز داری به منظور کنترل رواناب در بلند مدت، همراه با اجرای برنامه‌های مدیریتی در زمینه اصلاح خاک می باشد.

واژگان کلیدی: گسترش کالبدی شهر، محدودیت های ژئومورفولوژیکی، فرسایش خندقی، روش AHP، شهر مُهر

۱- استادیار جغرافیای انسانی(شهری)، دانشگاه پیام نور، ایران(نویسنده مسئول) gholami55@pnu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، ایران m.ahmadi@alumni.ut.ac.ir
۳- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس، ایران mehranmahmoodi1390@gmail.com

مقدمه

ویژگی های ژئومورفولوژیک یک مکان جغرافیایی،نه تنها بر پراکندگی و یا تجمیع فعالیت های انسانی موثر است، بلکه عاملی موثر بر شکل و سیمای فیزیکی ساخت های فضایی نیز به شمار می آید. این عناصر گاهی به عنوان عوامل منفی و خطر ساز، مکان جغرافیایی را برای توسعه، مخاطره آمیز و پرهزینه کرده و گاهی ظرفیت های مثبتی جهت توسعه و گسترش شهرها ارائه می دهند(شایان و همکاران، ۱۳۸۸). پدیده‌های ژئومورفولوژیکی صرفنظر از این که از چه منبعی باشند به عنوان عارضه‌های سطح زمین، بر شکل‌گیری مراکز جمعیتی و انواع کاربری ها و استفاده از سرزمین تاثیر می گذارد. برای مثال دامنه‌های یک کوهستان و شیب آن می‌تواند با ایجاد محدودیت برای برخی از کاربری ها، زمینه های توسعه را در بخشی از فعالیت‌های اقتصادی محدود نموده و شرایطی را ایجاد نماید که توسعه در این منطقه با هزینه‌های زیادی همراه شود و یا یک رودخانه در مسیر خود از کنار روستاها و شهرهای متعددی عبور می‌کند و مراکز جمعیتی بسیاری از آن سیراب می شوند، در عین حال این رودخانه در مواقع سیلابی خسارات زیادی را متوجه بنیانهای اقتصادی و اجتماعی منطقه می‌نماید. در میان انواع اشکال و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی، فرسایش از نوع خندقی آن نیز در برخی مناطق به خصوص در مناطق خشک به عنوان یک عامل می‌تواند مانع توسعه فیزیکی شهرها شود.

فرسایش خندقی[1] یکی از خطرناکترین نوع فرسایش آبی است که موجب تخریب اراضی و بر هم خوردن تعادل منابع زیستی و محیط زیست می‌شود. پیچیده بودن فرآیندها و مکانیسم‌های شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و ناشناخته بودن چگونگی کنش‌ها و اندرکنش‌های عوامل محیطی مؤثر در رخداد این نوع فرسایش از مهمترین چالش‌های موجود در دستیابی به راهکارهای مناسب و کاربردی برای پیشگیری، مهار و مبارزه با آن است. این نوع فرسایش باعث کاهش امکان تردد وسایل نقلیه و ماشین آلات کشاورزی می‌شود و همچنین هدر رفت خاک در این نوع فرسایش چندین برابر بیشتر از فرسایش سطحی و شیاری است (Morgan, 1995)، که پیامد آن پر شدن مخازن سدها، کاهش ظرفیت انتقال آبراهه‌ها، رودخانه‌ها، تخریب اراضی کشاورزی پایین دست و ایجاد محدودیت در گسترش فیزیکی شهرها می‌باشد. علاوه بر این، هزینه بسیار زیادی جهت کاهش گسترش خندق‌ها صرف می‌شود.

در این مقاله تلاش شده است با بهره گیری از مبانی نظری پژوهش،داده های کمّی، روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، پدیده فرسایش خندقی و امکان ایجاد محدودیت‌های ناشی از این پدیده در ارتباط با گسترش فیزیکی - کالبدی شهر مُهر در جنوب استان فارس مورد بررسی قرار گرفته و توان محیط طبیعی از نظر ظرفیت های موجود جهت گسترش کالبدی این شهر تعیین گردد. بنابراین هدف اصلی از انجام این پژوهش، شناسایی عوامل و مکانیزم های موثر بر شکل گیری پدیده فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه و اثر گذاری آن بر گسترش کالبدی شهر مورد مطالعه و ارائه راهکارهای علمی و عملی جهت کنترل این پدیده و تعیین

[1]- Gully Erosion

جهات بهینه برای گسترش کالبدی آینده این شهر بر پایه محدودیت های ژئومورفولوژیکی ناشی از وجود پدیده فرسایش خندقی می باشد.

پیشینه پژوهش

- یمانی و همکاران(۱۳۹۰)، در مقاله ای به تعیین پهنه های قابل توسعه سکونتگاهی با توجه به محدودیت های ناشی از فرسایش خندقی در بخش علامرودشت در جنوب استان فارس پرداخته اند. نتایج نشان می دهد که در میان ۶ پهنه تقسیم بندی شده، دشت های دامنه ای و قاعده مخروط افکنه ها به دلیل فاصله مکانی و نیز بافت خاک و شیب، مناسب ترین اراضی با قابلیت توسعه و نواحی پست دشت علامرودشت به ویژه اراضی پیرامون آبراهه به دلیل توسعه گالی ها دارای محدودیت توسعه می باشند. در این خصوص شاید بهترین راه کنترل توسعه خندق ها، کاهش و کنترل شیب آبراهه از طریق روش های مهندسی باشد.

- شادفر(۱۳۹۰)، در مقاله ای با استفاده از عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای و عملیات میدانی و بهره گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی، نقشه پراکنش فرسایش خندقی در شهرستان رودبار را تهیه کرده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که واحدهای مارن سیلتی و مخروط افکنه‌های قدیمی ۱۰۰ درصد و تیپ اراضی تپه ماهور، ۵۷ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده‌اند. ضمنا طبقه شیب۲۰-۵ درصد (حدود ۹۲ درصد)، جهت شیب جنوبی (۸۲ درصد) و کاربری مرتع فقیر (۱۰۰ درصد)، دارای بیشترین گسترش مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حوزه مورد مطالعه می‌باشند.

- انتظاری و همکاران(۱۳۹۲)، در مقاله ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، به پهنه بندی فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره پرداخته اند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۳۶ درصد از حوضه دیره در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد که باعث جابجایی حجم زیادی از خاک می شود.

- رستمی زاد و همکاران(۱۳۹۴)، در پژوهشی به تعیین عوامل موثر بر رشد طولی خندق ها و پیش بینی گسترش آنها در شهرستان دره شهر در استان ایلام اقدام کرده اند. نتایج نشان می‌دهد که گسترش طولی خندق تابعی از طول خندق، نسبت جذب سدیم، درصد شن و میزان انحنای دامنه بوده و گسترش حجمی خندق تابعی از سطح مقطع خندق، درصد آهک و ضریب کشیدگی حوضه آبخیز بالادست خندق می‌باشد.

- صفاری و همکاران(۱۳۹۴)، در مقاله ای با استفاده از مدل هایANP و AHP به پهنه بندی فرسایش خندقی در دشت کهور استان فارس پرداخته اند. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که از بین عوامل بررسی شده، عامل سنگ‌شناسی و عامل شیب به عنوان مهم‌ترین، و کاربری زمین به عنوان دومین فاکتور از لحاظ اهمیت شناخته شده است.

داده‌ها و روش‌ها

روش شناسی

داده‌های این پژوهش مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های کتابخانه‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه های توپوگرافی و زمین‌شناسی گردآوری شده است. ابزارهای اصلی پژوهش را نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های (۱۳۳۵ و ۱۳۷۲) جهت بررسی روند تغییرات گسترش کالبدی شهر و نقشه زمین‌شناسی تشکیل داده‌اند. جهت تهیه نقشه‌های متعدد از نرم افزار GIS استفاده شده است. پس از تهیه داده‌ها، نقشه‌های توپوگرافی با ساختن مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1]) به منظور تهیه لایه اطلاعاتی شیب ، رقومی شدند. روش تجزیه و تحلیل در این پژوهش، به دو صورت توصیفی- تحلیلی (کیفی) با استفاده از نقشه‌های تهیه شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد که ارتباط هر یک از متغیرهای (شیب، زمین شناسی، کاربری زمین، راههای ارتباطی و فاصله از آبراهه) را درگسترش گالی‌ها و اثرگذاری آنها برروی گسترش فیزیکی-کالبدی شهر مورد مطالعه بررسی می‌شود. در روش پهنه بندی خطر فرسایش خندقی، پس از بدست آوردن لایه‌های اطلاعاتی، از مدل AHP برای وزن‌دهی استفاده شده است. AHP مدلی است که در دهه ۱۹۸۰ میلادی، محققی به نام توماس ال ساعتی آن را به عنوان یکی از شاخه های تصمیم گیری چند شاخصه ابداع نمود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یک سیستم و تکنیک تجزیه و تحلیلی است که چندین معیار را برای حل مسائل تصمیم گیری استفاده می کند(نی و همکاران،۲۰۰۸). در واقعAHP یک ماتریس مقایسه ای دودویی است که هر دو جفت داده های ورودی را با هم مقایسه کرده و ارزش هر فاکتور را در برابر فاکتورهای دیگر به‌دست می آورد. انجام مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP در این پژوهش دارای مراحل ذیل می باشد. ابتدا ساختار سلسله مراتبی و ماتریس مقایسه‌ای ایجاد گردید، سپس برای بدست آوردن وزن و اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها بر اساس مقیاس ۹ کمّیتی توماس ال ساعتی، ابتدا از طریق پرسشنامه، دیدگاه‌های کارشناسان جغرافیای طبیعی برای اعمال وزن ها استفاده و پس از آن برای اخذ وزن های نهایی از نرم افزار Expert Choice 2000 استفاده گردید و آنگاه در نرم افزارArcGIS10 ،وزن-های نهایی وارد جداول اطلاعات توصیفی هر یک از لایه‌های مربوطه گردید. در نهایت پس از ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به میزان اهمیت، از الحاقیه Spatial Analyst برای همپوشانی لایه‌ها استفاده شده و بدین ترتیب نقشه خطر فرسایش خندقی بدست آمده است. در نهایت با طبقه بندی دوباره لایه بدست آمده، لایه پهنه بندی خطر در پنج طبقه (با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم) تهیه گردیده است.

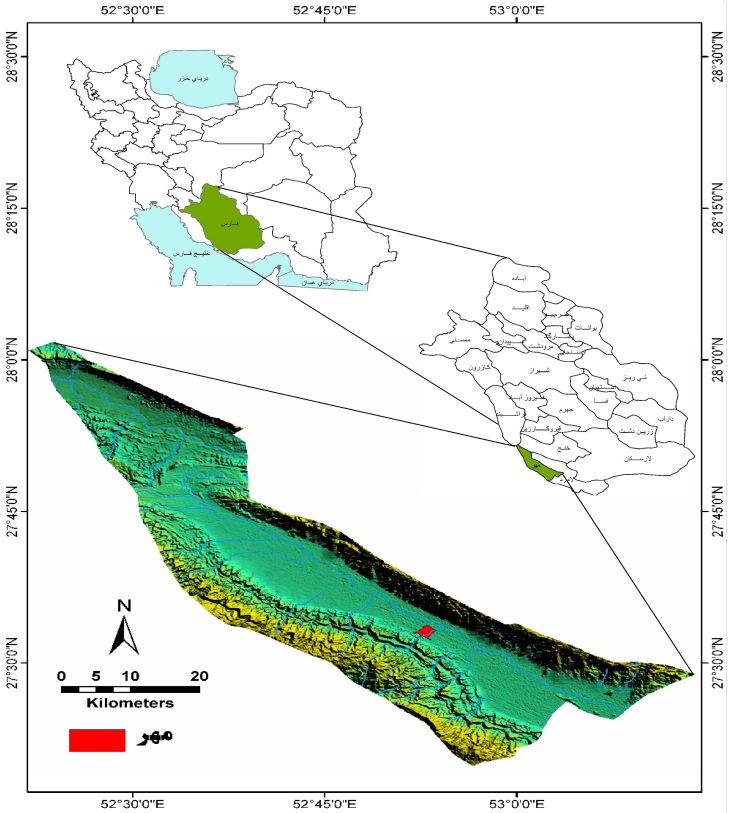
موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، در جنوب استان فارس (شکل ۲)، در ۳۵ کیلومتری کرانه شمالی خلیج فارس، در محدوده طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا

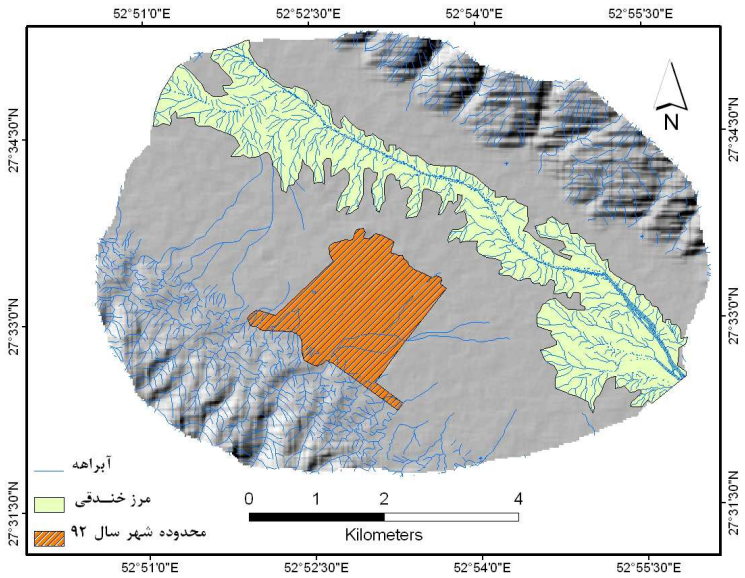
[1]- Digital Elevation Model

۲۷ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی می‌باشد (شکل ۳). شهر مُهر برروی یک دشت دامنه‌ای حاصل از رسوبات آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی است که در بین دو رشته طاقدیس با جهت شمال غرب – جنوب شرق واقع شده است.

مساحت شهر مُهر حدود ۳۴۰ هکتار و میزان مساحت مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی در حدود ۸۵۰ هکتار با استفاده از عکس‌های هوایی برآورد گردیده است. ارتفاع متوسط منطقه ۷۵۰ متر از سطح دریا، حداقل ارتفاع در منطقه برابر ۴۱۳ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع معادل ۱۱۲۷ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان بارندگی متوسط سالانه معادل ۲۱۱/۵ میلی‌متر (درگاه اینترنتی اداره کل هواشناسی استان فارس، ۱۳۹۵)، دمای متوسط سالانه برابر ۲۴/۲ درجه سانتی گراد برآورد گردیده است (با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های لار و قنطره). اقلیم این منطقه با استفاده از روش دومارتن به صورت خشک بیابانی معرفی شده است. از لحاظ پوشش گیاهی، این منطقه در وضعیت ضعیفی قرار دارد. تیپ غالب پوشش گیاهی منطقه کهور بومی بوده، گونه‌های همراه اغلب شامل کنار، تاغ و علف شور می‌باشد. با توجه به (شکل ۳) خندق‌های ایجاد شده در منطقه از جهت شمال، شمال غرب و شمال شرق محدودیت‌هایی در جهت گسترش کالبدی شهر مورد مطالعه ایجاد کرده‌اند.



شکل ۲: موقعیت شهرستان مُهر در جنوب استان فارس



شکل ۳: محدوده مورد مطالعه

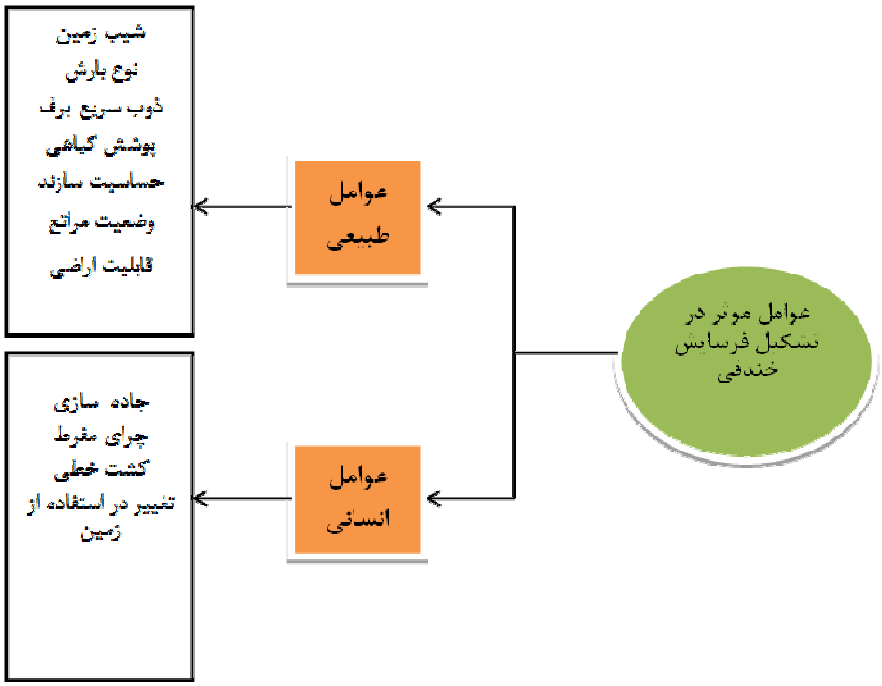
مبانی نظری تحقیق

از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از مهمترین رخدادهای موثر در نابودی خاک، تغییر منظر زمین و منابع آب و پسرفت اراضی است(Poison et al., 2003 و احمدی، ۱۳۸۷)، که تحت شرایط خاص محیطی به وقوع می پیوندد(نظری سامانی و همکاران، ۱۳۸۸). این نوع فرسایش حالت تکامل یافته فرسایش شیاری روان آبهاست (علیزاده، ۱۳۶۸)، که در ابتدای کناره دره ها و یا روی دامنه ها و دشت ها بعلاوه در بخش های برش یافته،تحت تاثیر عواملی متنوع شکل می گیرند(Sadhiro, 2001 و Tucker, 2005). این نوع فرسایش که تحت عنوان فرسایش آبکندی نیز شناخته می شود، از پدیده های معمول در آب و هوای نیمه خشک می باشد که مناطق وسیعی با شرایط مورفولوژیکی ،خاک شناسی و آب و هوایی متفاوت را تحت تاثیر قرار داده(ثقفی و اسماعیلی، ۱۳۸۸) و به وسیله آن تخریب زمین اتفاق می افتد(Frankl, 2012).

در مورد فرسایش خندقی تعاریف گوناگون وجود دارد که بعضی محققین صرفا با در نظر گرفتن ابعاد هندسی به بیان و معرفی خندق می‌پردازند و بعضی نحوه تشکیل و مکانیسم ایجاد آن را و بعضی نیز با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از ویژگی ها، به تشریح و تعریف این پدیده اکتفا می‌کنند. برخی عامل اصلی ایجاد خندق را وجود مقدار زیادی آب دانسته‌اند که در اثر تغییر شرایط اقلیمی یا در اثر تغییر کاربری زمین به وجود می‌آید. در حالت اول بارندگی‌های شدید باعث ایجاد مقدار زیادی رواناب می‌گردد. در حالت دوم از بین بردن جنگل، سوزاندن پوشش گیاهی یا چرای بیش از حد دام باعث از بین رفتن پوشش و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود. چنانچه سرعت یا نیروی برشی جریان رواناب از آستانه بحرانی تجاوز کند خندق بوجود می‌آید (علیزاده، ۱۳۶۸). افزایش رواناب در یک کانال معمولاً در نتیجه تغییر نحوه استفاده در اراضی بالا دست می‌باشد. برای نمونه می‌توان تبدیل جنگل به اراضی کشاورزی را نام برد. در این حالت آبراهه واقع در پایین دست جنگل کشش رواناب را ندارد و فرسایش خندقی بوجود خواهد آمد.

همچنین ممکن است افزایش رواناب در یک کانال در اثر تغییرات در سطح آبخیز آن بوجود آید. برای مثال در ساختن جاده‌ها برای کاهش هزینه‌های مربوط به احداث مجاری و پل‌ها، آب چند آبراهه را به طرف یک پل هدایت می‌کنند. احمدی معتقد است که گالی وقتی ایجاد می‌شود که یک آبراهه طبیعی از وضعیت تعادل کم ثبات خود خارج می‌شود، اگر این تعادل بر اثر نیروی خارجی به مقدار جزئی تغییر کند پس از مدتی تعادل جدید برقرار می‌گردد. مثلاً اگر دبی افزایش یابد، یا آبراهه عریض‌تر گردد و یا شیب آن بیشتر شود و با این کار تعادل جدیدی بوجود می‌آید، بنابراین وقتی که تغییرات جزئی است وضعیت خندق به حالت تعادل قبل باز می‌گردد و اگر تغییر عمده باشد، جریان آب شروع به ایجاد خندق نموده و وقتی که این عمل اتفاق افتاد و تشکیل خندق آغاز گردید بازگشت به حالت قبل از آن مشکل می‌باشد(احمدی، ۱۳۷۸).

سهم فرسایش خندقی در کشورهای مختلف متفاوت می باشد. به طور مثال سهم این نوع فرسایش در استرالیا معادل ۳۷ درصد(Wasson et al., 1996)، چین ۸۷ درصد، بلژیک معادل ۳۰-۴۰ درصد (Vanduele et al., 1996) و به طور میانگین سهمی معادل ۲۵ درصد از تلفات جهانی خاک سطحی در اراضی را به خود اختصاص می دهد و پس از توسعه شهری، بیشترین خسارت را به اراضی دنیا وارد می سازد(صوفی، ۱۳۸۳). فرسایش خندقی یکی از عوامل مهم و تهدید کننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن محسوب می شود، به طوری که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات نابهنجار در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیت های کشاورزی و بهره برداری اقتصادی از عرصه های منابع طبیعی نمی شود، بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تند آبها و سیل، جابجائی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و بلاخره غیر قابل استفاده شدن اراضی،تشدید می شوند(قدوسی، ۱۳۸۲). در فرآیند ایجاد و گسترش خندق، عوامل متعدد طبیعی و انسانی نقش موثر دارند. در بین عوامل مختلف، شرایط اقلیمی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم نقش تعیین کننده ای در خندق زدایی دارد(عابدینی، ۱۳۸۴)، همچنین عوامل انسانی به ویژه راه سازی و بهره برداری های نادرست کشاورزی(رفاهی، ۱۳۸۵)، کشت خطی، چرای مفرط، فشرده شدن خاک در اثر عبور وسایل نقلیه کشاورزی، عبور مداوم از یک مسیر و... نقش عمده ای در تشکیل و گسترش خندق ها دارند(بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵). در مناطق شهری بسیاری از گالی ها، به دلایلی از قبیل کاربری نامناسب زمین، شبکه های ضعیف و امکانات ناکافی زهکشی جریان های آب گسترش پیدا می کنند(Ehiorobo & Audu, 2012). شکل۱ برخی از عوامل موثر در فرسایش خندقی را نشان می‌دهد.

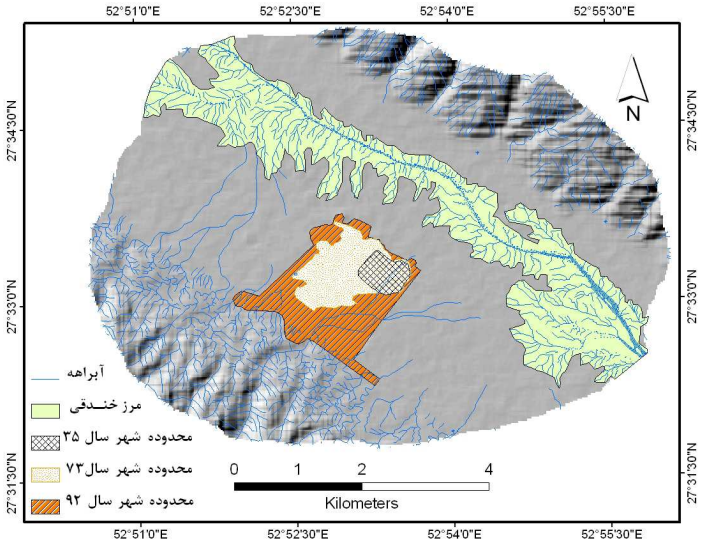


شکل۱: عوامل موثر در تشکیل فرسایش خندقی *(منبع: یافته های پژوهش بر اساس مبانی نظری)*

یافته‌ها و بحث

۱- روند تغیرات گسترش کالبدی شهر

گسترش کالبدی شهر مُهر طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۲ بسیار چشم‌گیر است. عوامل مختلفی باعث گسترش کالبدی شهر مُهر در این دوره زمانی شده‌اند که به نظر می‌رسد یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار، شهرستان شدن این منطقه به مرکزیت شهر مُهر باشد. روند تغیرات در گسترش کالبدی شهر از سال ۱۳۳۵ با توجه به (شکل ۴) به سمت جنوب و جنوب غربی می‌باشد و از جهت شمال رشد محدودی داشته است. (شکل ۵) وسعت شهر مُهر را در سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۹۲ برروی عکس هوایی نشان می‌دهد. با توجه به بررسی‌های میدانی و عکس‌های هوایی، عامل فرسایش خندقی از سمت شمال و همچنین زمین‌های با کاربری کشاورزی مانع از گسترش شهر در جهت شمال و شرق شهر شده است. از طرفی عامل راه ارتباطی به ویژه دسترسی به راه اصلی از طرف جنوب، می‌تواند عامل موثری در گسترش کالبدی- فیزیکی شهر از این جهت باشد.



شکل۴: روند تغییرات وگسترش کالبدی شهر مُهر

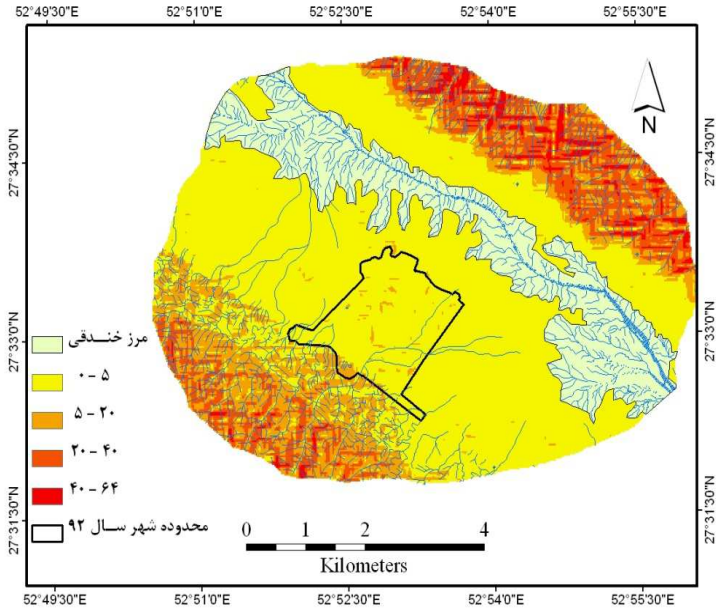


شکل۵: وسعت شهر مُهر در سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۳۵ بر روی عکس هوایی

۲- شیب

همواره برنامه ریزان شهری عامل شیب را به عنوان یکی از عوامل مهم و محدود کننده در گسترش کالبدی شهرها مورد مطالعه قرار داده‌اند. با توجه به (شکل ۶)، شیب بخش زیادی از محدوده مورد مطالعه بین ۰ تا ۵ درصد است که منطبق با بخش زیادی از مساحت شهر می‌باشد. با افزایش میزان شیب از جهت جنوب به عنوان یک مانع در گسترش کالبدی، شهر به صورت خطی در امتداد ناهمواری‌ها در حال گسترش می باشد. از طرفی مطالعات نشان داده یکی از عوامل مهمی که در رشد و گسترش خندق‌ها بسیار تاثیرگذارند، عامل شیب می‌باشد. با افزایش شیب، سرعت رواناب نیز افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش تنش برشی جریان و در نتیجه قدرت فرسایندگی بالا می شود. با توجه به روند رو به رشد و گسترش شهر مُهر در جهت جنوبی که با افزایش شیب نیز روبروست و همچنین افزایش حجم رواناب در اثر پوشش سطح زمین به وسیله آسفالت، قدرت فرسایندگی رواناب در پایین دست که در

گستره خندق‌ها وجود دارد، بیشتر می‌شود. این امر باعث می‌شود خندق‌ها در مدت زمان کوتاهی به سرعت رشد و گسترش پیدا کنند، محدوده بیشتری را تحت تاثیر قرار داده و مانعی برای گسترش کالبدی شهر باشند. همچنین این پدیده برای سازه‌های انسانی و حوزه شهری مخاطره آفرین می باشد.



شکل۶: طبقات شیب در محدوده مورد مطالعه

نقشه شیب در ۵ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۶۵ مجددا طبقه بندی شده (جدول ۱)، به طوری که کلاس با شیب ۰-۵ درصد دارای بیشترین امتیاز است، به دلیل اینکه در شیب های کم، خطر فرسایش خندقی زیاد است.

جدول ۱: مقایسه زوجی طبقات شیب موثر در وقوع فرسایش خندقی

طبقات شیب	۰-۵	۵-۱۵	۱۵-۲۵	۳۵	۳۵-۶۴
۰-۵	۱	۴	۵	۷	۹
۵-۱۵	۱/۴	۱	۳	۵	۷
۱۵-۲۵	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۴
۲۵-۳۵	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۳
۳۵-۶۵	۱/۹	۱/۷	۱/۴	۱/۳	۱

۳- شبکه آبراهه ها

شبکه آبراهه ها نقش بسیار مهمی در فرسایش خندقی دارند به طوری که در منطقه مورد مطالعه، محدوده خندقی و درصد زیادی از شبکه آبراهه ها در انطباق با هم می باشند. برای بررسی و تحلیل این متغیر بر شکل گیری و

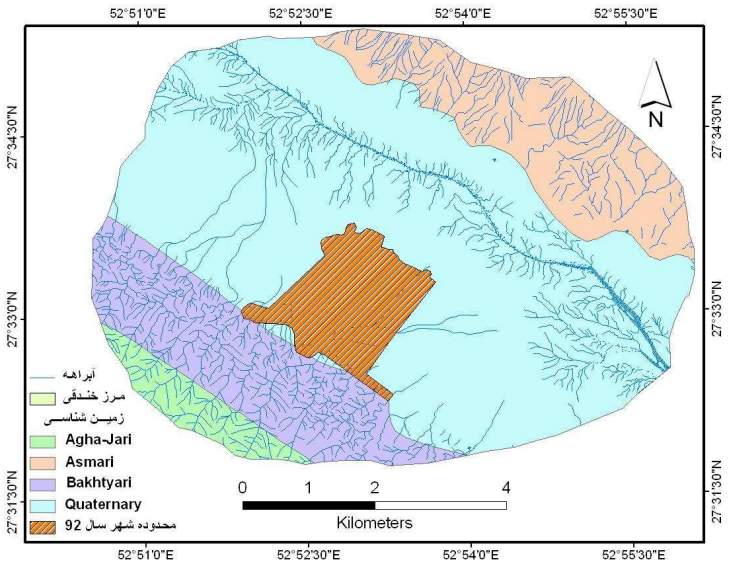
گسترش پدیده فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه، نقشه فاصله از شبکه آبراهه ها ترسیم و در ۵ طبقه وزن دهی شد. نتایج نشان می دهد که هر چه فاصله از شبکه آبراهه کمتر باشد، دارای بالاترین ارزش از نظر وقوع فرسایش خندقی است (جدول ۲). در منطقه مورد مطالعه اکثر آبراهه‌ها، به ویژه آبراهه‌هایی که رواناب بیشتری در بستر خود عبور می‌دهند، تحت تاثیر گسترش کالبدی شهری قرار گرفته‌اند و این امر خود باعث اختلال در شبکه زهکشی شده که نتیجه این دستکاری‌ها از طرفی باعث پایداری برخی از خندق‌ها و از طرفی باعث رشد سریع خندق‌هایی که رواناب بیشتری به سمت آنها هدایت شده گردیده است. در واقع چنین می‌توان گفت که عامل گسترش کالبدی شهر موجب اختلال در شبکه آبراهه‌ها شده، این اختلال باعث رشد سریع خندق‌ها شده و از طرفی گسترش خندق‌ها نیز خود باعث محدود کردن روند گسترش کالبدی شهری شده است.

جدول ۲: مقایسه زوجی طبقات فاصله از آبراهه در وقوع فرسایش خندقی

فاصله از آبراهه	۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰-۴۰۰	بالاتر از ۴۰۰ متر
۰-۵۰	۱	۳	۴	۵	۷
۵۰-۱۰۰	۱/۳	۱	۳	۴	۵
۱۰۰-۲۰۰	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۴
۲۰۰-۴۰۰	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳
بالاتر از ۴۰۰	۱/۷	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱

۴- زمین شناسی

با توجه به (شکل ۷)، تمام خندق‌های ایجاد شده و محدوده شهری بر روی سازند کواترنری واقع شده است. سازند کواترنری در مقایسه با دیگر سازندها، دارای کمترین مقاومت و چسپندگی می‌باشد. وجود لایه‌های مارنی و گچی در سازندهای میشان و آغاجاری، رسوب‌های ریزدانه کواترنر متشکل از ذرات ریز دانه ماسه، سیلت و رس، پایداری کم خاک، ساختمان ضعیف خاکدانه‌ها، کمبود مواد آلی، وجود املاح گچ و آهک از عوامل طبیعی تأثیرگذار در بروز پدیده فرسایش خندقی می باشد(طباطبائی، ۱۳۷۹). در بررسی انجام شده در خندق‌های دشت کهور واقع در حوضه لامرد، یکی از عوامل موثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها، وجود املاح زیاد در خاک، بویژه سدیم که علاوه بر پراکندگی خاکدانه‌ها و تشکیل سله در سطح خاک که موجب تشدید فرآیند لوله‌ای شدن و گسترش خندق‌ها می‌شود، تشخیص داده شده است(احمدی، ۱۳۹۰). با توجه با این که منطقه مورد مطالعه نیز بخشی از حوضه طبیعی رودخانه مهران می‌باشد، رخنمون سازندهای گروه فارس که دارای رسوبات با نسبت املاح بالا می‌باشند، می‌تواند یکی از عوامل مهم در تشکیل و گسترش خندق‌ها و در نتیجه تهدیدی برای گسترش کالبدی شهر در منطقه مورد مطالعه باشد.



شکل ۷: زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

همچنین منطقه مورد بررسی از واحدهای سنگ شناسی متنوعی برخوردار می‌باشد. بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول ۳، رسوبات آبرفتی کواترنر، سازند آقاجاری، سازند آسماری و سازند بختیاری به ترتیب دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشند.

جدول ۳: مقایسه زوجی نوع سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه نسبت به وقوع فرسایش خندقی

نوع سازند	رسوبات آبرفتی	سیلتستو، لیمستون و مارل	آهک آسماری	کنگلومرای بختیاری
رسوبات آبرفتی کواترنر	۱	۳	۵	۷
سیلتستو، لیمستون و مارل	۱/۳	۱	۴	۵
آهک آسماری	۱/۵	۱/۴	۱	۳
کنگلومرای بختیاری	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱

۵- راه‌های ارتباطی

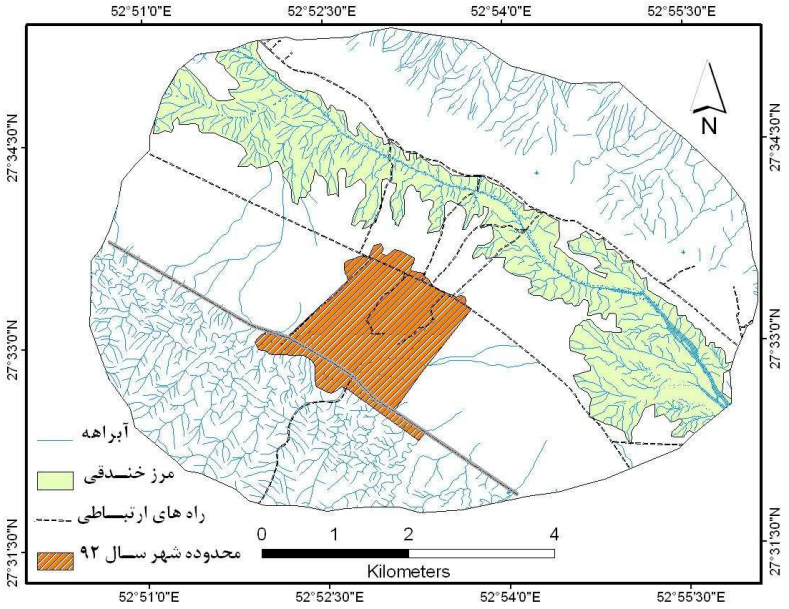
در بسیاری از مواقع احداث جاده و خاکریزی، مسیر طبیعی سیلاب را قطع می کند. قطع مسیر سیلاب در مواردی سبب تفاوت عمده پوشش گیاهی در دو سوی جاده می شود و در بسیاری از مناطق، این نوع راه سازی قادر است مناطق پائین دست خود را از جریان سیلاب محروم کرده و سبب تشدید پدیده فرسایش سطحی و شیاری و آبکندی شود(صوفی، ۱۳۸۳). با توجه به شیب منطقه مورد مطالعه، شبکه آبراهه‌ها با راههای ارتباطی تقریبا زاویه ای ۹۰ درجه دارند، که در چنین مواردی برای عبور آبراهه‌ها از بالادست جاده، با احداث پل به پایین دست جاده انتقال می‌دهند. اغلب عملیات جاده سازی، موجب تمرکز هرزآب‌های بالادست در آبراهه‌های پایین‌دست جاده‌ها و ایجاد خندق می‌شود (شکل ۸). مثلاً وقتی که جاده‌های بزرگ ساخته می‌شود، غالباً نظم زهکش‌ها و آبخیزهای طبیعی به

هم می‌خورد. قبل از ساخته شدن جاده چندین آبخیز کوچک با آبراهه‌های مخصوص به خود که جریان سیلابی، آن‌ها را از خود عبور می‌دهند وجود دارد، ولی وقتی که جاده ساخته می‌شود عبور دادن جریان کوچک از زیر جاده‌ها از طریق پل یا لوله دارای هزینه بالا خواهد بود. کاری که اغلب انجام می‌دهند این است که بعضی مسیل‌ها را در محل تقاطع آن‌ها با جاده مسدود کرده و آب آن را در امتداد جاده به مسیل بعدی متصل می‌کنند و این دومی به وسیله لوله یا پل از زیر جاده عبور داده می‌شود. ولی این مسیل طبیعی پس از عبور آب از جاده فقط قادر به تحمل آب حاصله از آبخیز دومی بوده و نمی‌تواند آب اضافی حاصله از آبخیز اولی را نیز در خود جای دهد و در همین مکان است که فرسایش خندقی آغاز می‌گردد (Hudson, 1985).



شکل ۸: نمونه یک خندق که در اثر ایجاد پل و تمرکز رواناب در پایین دست جاده ایجاد شده

با توجه به نظریه هادسون و (شکل ۹)، به نظر می‌رسد در محدوده مورد مطالعه نیز چنین شرایطی رخ داده که این امر باعث تمرکز آب در پایین دست جاده شده و درپی آن خندق‌هایی با عمق و عرض زیاد شکل گرفته‌اند. با بررسی‌های انجام گرفته میدانی مشخص شد که راه‌های ارتباطی در محدوده مورد مطالعه از دو جهت برروی گسترش خندق‌ها نقش دارند. یکی پل‌هایی که جهت عبور رواناب در مسیر راه‌های اصلی که در نیمه جنوبی شهر واقع شده موجب تمرکز رواناب در پایین دست جاده و در نتیجه گسترش خندق‌ها شده. دیگری راه‌های فرعی که در حد فاصل خندق‌ها و محدوده شهر قرار دارند غالبا خاکی بوده، با تردد وسایل نقلیه در این مسیرها، خاک چسپندگی خود را از دست داده که بر اثر بارش به راحتی شسته می‌شود. در بخش‌های وسیعی از محدوده مورد مطالعه مشاهده شد که خندق‌ها دقیقا در راستای همین جاده‌های خاکی و به صورت خطی رشد کرده‌اند (شکل ۱۰). بنابراین جهت بررسی نقش شبکه ارتباطی در میزان فرسایش خندقی، نقشه فاصله از جاده در ۵ طبقه ترسیم گردید، به طوری که طبق نتایج نشان داده شده در جدول شماره ۴، فاصله ۰-۱۰۰ متر دارای بیشترین ارزش از نظر فرسایش خندقی است.



شکل ۹: موقعیت راه‌های ارتباطی و آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل۱۰: گسترش خندق‌ها در مسیر جاده‌های خاکی

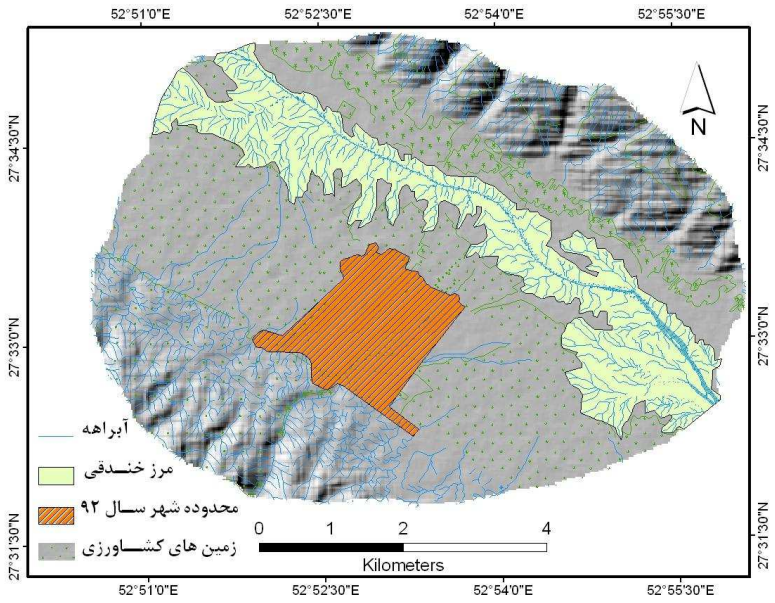
جدول ۴: مقایسه زوجی طبقات فاصله از جاده در وقوع فرسایش خندقی

فاصله از جاده(متر)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	بالاتر از ۴۰۰
۰-۱۰۰	۱	۴	۵	۶	۷
۱۰۰-۲۰۰	۱/۳	۱	۳	۴	۵
۲۰۰-۳۰۰	۱/۴	۱/۳	۱	۳	۴
۳۰۰-۴۰۰	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۳
بالاتر از ۴۰۰	۱/۷	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱

۶- کاربری زمین

کاربری زمین به عنوان یک متغیر در گسترش فرسایش خندقی بسیار تاثیرگذار می‌باشد. ریجسدیک و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه رواناب و رسوبات حاصل از خندق‌ها در دو ناحیه در جاوه شرقی در کشور اندونزی، به نقش این نوع فرسایش در زمین های آتشفشانی پرداخته اند. نتایج نشان می‌دهد رخ دادن این فرسایش‌ها بیشتر ناشی از کاربری زمین و شخم ناصحیح بوده است. اشمیت و همکاران در سال (۲۰۰۶) مقاله‌ای منتشر کردند که در آن به مطالعه‌ی مقیاس زمان در فرسایش خندقی در جنوب شرقی لهستان پرداختند. با انجام مطالعات چینه شناسی و رادیوکربن مشخص شد که بیشترین تأثیر بر اندازه خندق‌ها ناشی از تغییر کاربری زمین است. وندکرچف و همکاران (۲۰۰۳) در نتایج مطالعات خود بر روی خندق‌های منطقه‌ای در جنوب شرق اسپانیا، بیان داشتند که حجم فرسایش خندقی در مقیاس‌های زمانی متوسط (۱۰-۳۰ سال)، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در زمان‌های کوتاه (۵-۱۰سال)، می‌باشد و علت آن نیز تأثیر تغیرات کاربری زمین و اقدامات ناموفق مدیریت زمین در مقیاس زمانی متوسط است. عیسایی و صوفی (۱۳۸۴)، کاربری نامناسب را نیز از علل اصلی ایجاد خندق‌ها در استان گلستان می‌دانند. با توجه به پیشینه تحقیقاتی که در این زمینه بر روی انواع کاربری زمین شده، نشان می‌دهد که این متغیر نیز می‌تواند تاثیر زیادی در فرسایش خندقی داشته باشد. با توجه به (شکل ۱۱) در محدوده مورد مطالعه حد وسط بین خندق‌ها و محدوده شهری، ز مین های کشاورزی قرار دارند. معمولا شخم در جهت شیب منطقه، نحوه آبیاری این زمین ها، جاده سازی خاکی برای تردد وسائط نقلیه کشاورزی -که این مسئله باعث بهم خوردگی سطح خاک توسط ماشین آلات می‌شود- و همچنین تبدیل زمین های مرتعی به زمین های کشاورزی و در نهایت رها کردن این زمین ها، از عواملی هستند که در شکل‌گیری و پیشروی خندق‌ها تأثیر بیشتری دارند. در محدوده مورد مطالعه با توجه به خشکسالی‌های اخیر، برخی از کشاورزان زمین‌های خود را رها کرده و برخی نیز با توجه به رشد و توسعه شهر، زمین‌های کشاورزی خود را به زمین‌های مسکونی تغییر کاربری داده اند، که این مسئله می‌تواند در روند رشد خندق‌ها بسیار تاثیر مثبت بگذارد. با توجه به این که مرز بین محدوده شهری و خندق ها را زمین های کشاورزی در بر گرفته‌اند و حساسیت زمین کشاورزی به فرسایش خندقی به خصوص زمین هایی که رها شده‌اند، بالا است بنابراین باید بیش از پیش به این زمین ها توجه کرد و با مدیریت صحیح از رشد و گسترش خندق‌ها که نهایتا محدوده شهری را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند جلوگیری نموده و این پدیده را کنترل کرد.

بر طبق شکل ۱۱ و تصاویر گوگل ارث، منطقه مورد مطالعه از کاربری های بایر، زمین های کشاورزی، مراتع فقیر و زمین های مسکونی تشکیل شده است. بررسی محدوده خندقی و نقشه کاربری زمین نشان داد که زمین های بایر دارای بیشترین ارزش از نظر خطر فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه می باشد (جدول ۵).



شکل ۱۱: زمین‌های کشاورزی که حد واسط خندق‌ها و محدوده شهری قرار دارند

جدول ۵: مقایسه زوجی نوع کاربری ها در وقوع فرسایش خندقی

نوع کاربری	زمین های بایر	زمین های کشاورزی	مراتع فقیر	زمین های مسکونی
زمین های بایر	۱	۳	۵	۷
زمین های کشاورزی	۱/۳	۱	۳	۵
مراتع فقیر	۱/۵	۱/۳	۱	۳
زمین های مسکونی	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱

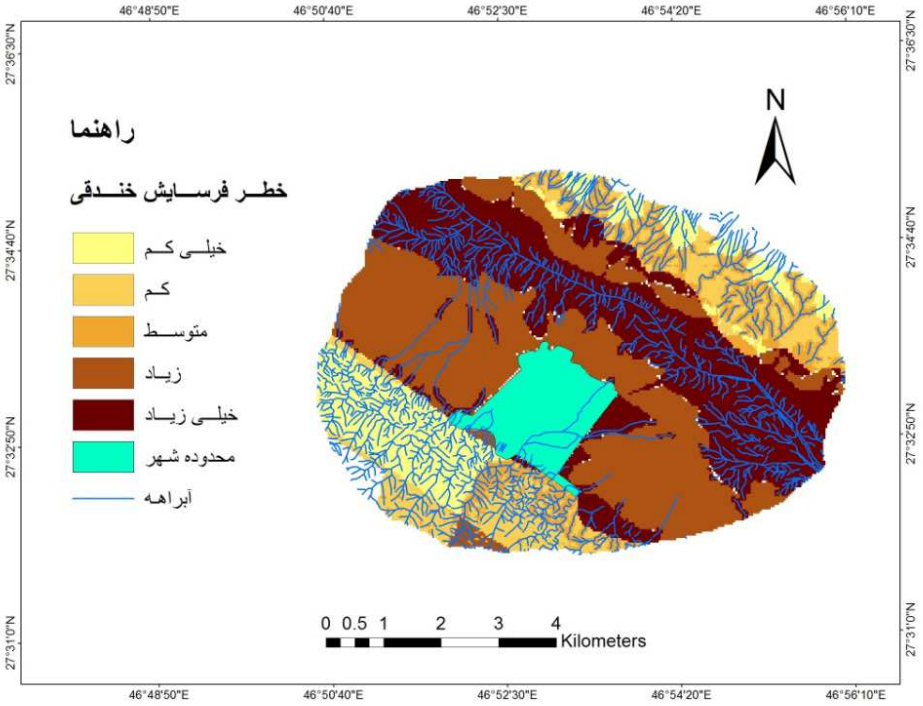
۷- پهنه بندی خطر فرسایش خندقی

پس از تلفیق کلیه لایه ها (جدول ۶)، نقشه پهنه بندی خطر فرسایش خندقی (شکل ۱۲) بدست آمد. نتایج نشان داد سنگ شناسی، کاربری زمین، فاصله از آبراهه، شیب و فاصله از جاده به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین ارزش از نظر خطر فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه است. بنابراین در تعیین اولویت بین عوامل مذکور که در ایجاد خندق‌های منطقه جزء مهم‌ترین عوامل محسوب شده‌اند، فاکتور سنگ‌شناسی به عنوان مهم‌ترین و کاربری زمین به عنوان دومین فاکتور از لحاظ اهمیت شناخته شده است.

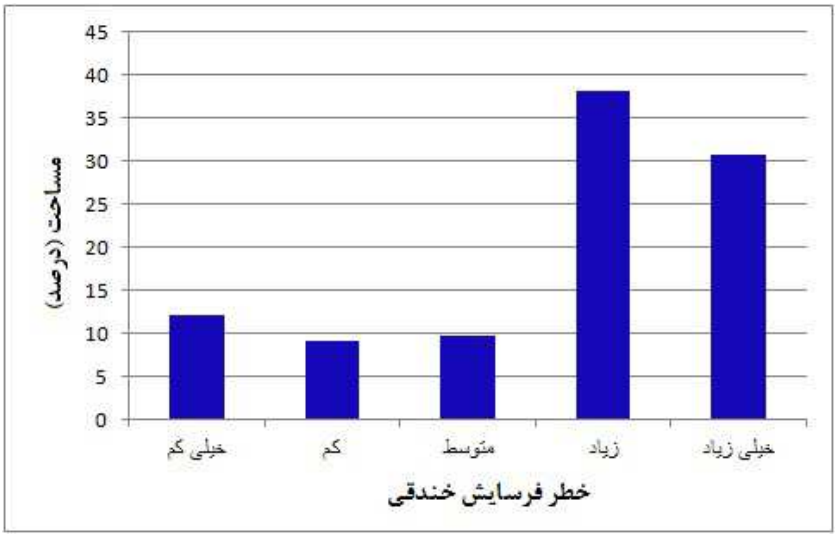
جدول ۶: مقایسه زوجی عوامل موثر در وقوع فرسایش خندقی

عوامل موثر بر وقوع خندق	سنگ	کاربری	فاصله از آبراهه	شیب	فاصله از جاده
سنگ شناسی	۱	۳	۵	۷	۹
کاربری زمین	۱/۲	۱	۳	۵	۷
فاصله از آبراهه	۱/۴	۱/۲	۱	۳	۵
شیب	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۴
فاصله از جاده	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۴	۱

طبق شکل ۱۲ و ۱۳ بیشترین مساحت محدوده مورد مطالعه، دارای ظرفیت فرسایش خندقی با خطر زیاد و خیلی زیاد می باشد که محدوده شهر مُهر، در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.



شکل۱۲: نقشه پهنه بندی خطر فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۳: درصد مساحت هر یک از پهنه های خطر فرسایش خندقی

نتیجه گیری

شناسائی عوامل موثر در گسترش فرسایش خندقی و پهنه بندی آن یکی از ابزارهای اساسی و مهم جهت کنترل این پدیده و انتخاب مناسب ترین و کاربردی ترین گزینه موثر در مقابله با این پدیده می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که شهر مُهر در جنوب استان فارس در یک دوره زمانی نسبتا کوتاه، رشد و گسترش کالبدی قابل توجه‌ای داشته و این روند گسترش کالبدی شهر به سمت جنوب و جنوب غرب بوده است. بر پایه نتایج حاصل از انجام این پژوهش، عوامل مختلفی از جمله فرسایش از نوع خندقی، شیب، زمین شناسی، کاربری زمین (کشاورزی) و راه‌های ارتباطی، محدودیت‌هایی را به صورت مستقیم و غیر مستقیم برای گسترش کالبدی این شهر ایجاد کرده‌اند. مهمترین این عوامل، عامل فرسایش از نوع خندقی است که خود تحت تاثیر دیگر عوامل قرار می‌گیرد. مهم‌ترین عواملی که در شکل گیری و گسترش خندق‌های منطقه مورد مطالعه دخیل بوده اند را می‌توان به دو بخش طبیعی و انسانی تقسیم نمود. در بخش عوامل طبیعی می‌توان به عامل سنگ‌شناسی یا حساسیت بالای رسوبات نسبت به فرسایش و شیب اشاره نمود و در بخش عوامل انسانی تغییر کاربری، استفاده غیر اصولی از زمین ، جاده سازی و احداث پل که سبب تمرکز جریان آب در پایین دست می‌شودرا نام برد. فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه، از جهت شمال، شمال غرب و شمال شرق در گسترش فیزیکی-کالبدی شهر مُهر نقش منفی دارد. به طوری که پهنه بندی خطر فرسایش خندقی نشان داد که محدوده شهر مُهر، در پهنه با خطر زیاد و خیلی زیاد قراردارد و در این بین، سنگ شناسی و کاربری زمین بیشترین تاثیر را در وقوع فرسایش خندقی دارد.

بنابراین با توجه به محدودیت های ژئومورفولوژیکی در مسیر گسترش فیزیکی- کالبدی شهر مُهر،در صورتی که راه حلی برای کنترل رشد خندق ها اندیشه نشود،در آینده در قسمت های شمال، شمال غرب و شمال شرق شاهد پیشروی و گسترش خندق ها خواهیم بود و تاسیسات شهری از جمله ساختمان های عمومی و مسکونی در معرض خطر جدی خواهند بود. با توجه به بررسی‌هایی که در این پژوهش انجام گرفته است، پیش‌بینی می‌شود گسترش کالبدی شهر مورد مطالعه در درجه اول از جهت جنوب شهر، فقط در حاشیه اتوبان مُهر-لامِرد و به صورت خطی یا نواری رشد داشته باشد و در درجه دوم از جهت غرب گسترش داشته باشد. از جهت شمال و شرق به علت وجود خندق‌ها و آبراهه‌ها، گسترش کالبدی- فیزیکی شهر مورد مطالعه محدود می‌باشد.

پیشنهاد و راهکار

با توجه به اینکه فرسایش خندقی دارای مکانیزم و پیچیدگی‌های خاص خود می باشد، به نظر می رسد مهم ترین راهکار برای جلوگیری از رشد و گسترش فرسایش خندقی در محدوده شهر مُهر، انجام روش های مهندسی برای کنترل آبراهه ها در کوتاه مدت و اقدامات آبخیز داری به منظور کنترل روان آب در بلند مدت همراه با اجرای برنامه‌های مدیریتی در زمینه اصلاح خاک می باشد. بر این اساس، جلوگیری از تمرکز رواناب‌های سطحی به وسیله انحراف سیلاب‌های بلند مدت و یا احداث بندهای تاخیری در بالادست منطقه مورد مطالعه، اصلاح کاربری زمین مطابق با ظرفیت های منطقه، اجرای برنامه‌های مدیریتی، شامل تعادل دام در مرتع به همراه مدیریت پوشش گیاهی،

مدیریت کنترل آبراهه‌ها و سرشاخه‌های اصلی به منظور کاهش شیب و سرعت رواناب را می‌توان به عنوان مناسب ترین راهبردهای کلان پیشگیری از شکل‌گیری فرسایش خندقی و مهار خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه معرفی نمود.

منابع

احمدی، حسن (۱۳۷۸)، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم، ۶۸۸ ص

احمدی، مهدی (۱۳۹۰)، تحلیل عوامل موثر بر شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی حوضه دشت کهور لامرد، استان فارس)، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، به راهنمایی دکتر سید محمد زمان زاده

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵)، ویژگی های خندق و عوامل کنترل کننده ی فرآیندهای خندق زایی، دو فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۷، بهار و تابستان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۱۵-۱۳۶

ثقفی، مهدی و اسماعیلی، رضا (۱۳۸۸)، تحلیل های مورفومتری عوامل تشکیل و تحول آبکندها در حوضه آبریز شاخن(استان خراسان جنوبی)، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۵، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۳۳-۱۵۰

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۵)، فرسایش آبی و کنترل آن، تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۶۷۲ ص

شایان، سیاوش و همکاران (۱۳۸۸)، تحلیل امکانات و محدودیت های ژئومورفولوژیک در انتخاب محورهای توسعه شهری(مورد: شهر داراب)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۲، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۳۱-۵۳

صوفی، مجید (۱۳۸۳)، فرآیند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و علا مرودشت، تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

طباطبائی، سید محمدرضا (۱۳۷۹)، بررسی تغییرات فرسایش خندقی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص۷۷-۶۳

قدوسی، جمال (۱۳۸۲)، مدل سازی مورفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی امکان وقوع آن(مطالعه موردی:آبخیز زنجان رود)، رساله دوره دکتری، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی

عابدینی، موسی (۱۳۸۴)، پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی شهر(شمال غرب آذربایجان شرقی) از طریق روش ها و تکنیک های جدید، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۶، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱۱۳-۱۳۴

علیزاده، امین (۱۳۶۸)، فرسایش و حفاظت خاک، انتشارات آستان قدس رضوی. ۲۵۸ ص.

عیسایی، حسین و صوفی، مجید (۱۳۸۴)، پراکنش آبکندها در اقلیم مختلف استان گلستان، مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب، ۹ و ۱۰ شهریور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری کشور، ۵ ص

نظری سامانی، علی اکبر و همکاران (۱۳۸۸)، بررسی عوامل موثر در تولید رسوب حاصل از فرسایش خندقی در حوضه های آبخیز کوچک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دره کره- بوشهر)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، دانشگاه تهران، صص ۱۹-۳۴

درگاه اینترنتی اداره کل هواشناسی استان فارس www.farsmet.ir

Ehiorobo, J.O. & Audu, H. A. P., (2012), Monitoring of Gully Erosion in an urban Area using Geoin for mation Technology, Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences(JETEAS)3(2), pp. 270-275

Frankl, A., (2012), Gully development and its spatio-temporal variability since the late 19th century in the northern Ethiopian Highlands,AFRIKA FOCUS, volume 25, No 2,pp 121-131

Hudson, n. w., (1985), Soil conservation, 152 p.

Morgan, R. P. C., (1995), Soil erosion and conservation, second edition, Longman, 198 pp.

Ni, Jin-Ren, (2008),"Soil erosion assessment based on minimum polygons in the Yellow River basin", China. Geomorphology, Volume 93, Issues 3–4, 15 January 2008, Pages 233–252

Poeson, J. et al., (2003), Gully Erosion and Environment Change, Importance and Research Needs,Catena,50,pp 91-133

Rijsdijk, A, Bruijnzeel, L. A. S and Prins, TH. M., (2006), Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the upper konto catchment, east java, Indonesia, geomorphology, no: 87, pp. 38-52.

Sadhiro,Y., (2001), Analysis of surface changes using primitive events, Geographical information scince.vol 15.issue 6, pp 523-538

Schmitt, A and et al., (2006), Time and scale of gully erosion in the jediczny dol gully system, south-east Poland, geomorphology, No: 101, pp. 192-208.

Tucker.G.E., (2005), Implications of bank failures and fluvial erosion for gully development :Field Study and modeling. Journal of Geophysical Research, TOC ,Volume 110, Issue F1 March 2005,pages 1-23

Vandaele, K. et al., (1996), Geomorphic Threshold conditions for Ephemeral Gully Erosion, Geomorphology,Vol 16, pp.161-173

Vandekrckrckove , L., J. Poesen., G, Govers, (2003), Medium term gully headcutrates in southeast Spain determined from aerial photographs and groud measurements, catena, 50, 329-357.

Wasson, R. J. et al., (1996), Rates of Erosion and sediment Transport in Australia, IAHS Publications 236,pp 139-148.

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره دوازدهم،تابستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۱/۱۸
صفحات: ۱۴۰-۱۲۵

بررسی وضعیت آلودگی محیط از نظرترکیبات نفتی و فلزات سنگین در باقرشهر تهران*

حبیب اله فصیحی*[۱]، محسن حمیدی[۲]، سعید استاد فرج[۳]

چکیده

شهر ۶۰ هزار نفری فعلی باقرشهر و حریم آن که در فاصله ۴ کیلومتری از جنوب شهر تهران قرار گرفته به واسطه نزدیکی به این کلانشهر، سیاست های دولت و شرایط مساعد جغرافیایی، از حدود نیم قرن قبل پذیرای صنعت عظیم پالایش نفت و خوشه‌های صنعتی و بسیاری از صنایع کارگاهی و کارخانه ای شده که آلایندگی خصلت ذاتی همهٔ آنهاست. فاصله نزدیک با تهران سبب تاثیرپذیری آن از آلودگی هوای شهر تهران و فاضلاب های شهری گسیل شده به منطقه نیز گردیده است. این مقاله به روش تحلیلی و توصیفی به بررسی میزان آلاینده های نفتی و فلزات سنگین در هوا، خاک و گیاهان در محدوده این شهر پرداخته است. تحلیل ها با توجه به اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در متغیرهای مربوط به ۱۲ نمونه هوا ، ۲۴ نمونه خاک و ۲۴ نمونه گیاه چندساله صورت پذیرفته‌اند. نتایج حاصل نشانگر وضعیت نامناسب منطقه از نظر آلودگی هوا، خاک و گیاهان به هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین است. بالا بودن غلظت این ترکیبات در هوا، علاوه بر تاثیر بر خاک و گیاهان می تواند برای سلامت انسان نیز بسیار زیان‌آور باشد. بالا بودن میانگین و میانه برای ترکیبات نفتی و روی در نمونه های خاک نشان داد که خاک منطقه به شدت آلوده است. نیکل و وانادیم در خاک از حد استاندارد فراتر نبوده اما اندازه‌های نسبتاً بالای آن می تواند یک ریسک به شمار آید. اندازه‌گیری بر روی گیاهان نیز نشان داد که ترکیبات نفتی و فلز روی غلظت بیشتری را در گیاهان منطقه دارند و بیشترین غلظت پارامترهای مورد بررسی در گیاهان منطقه در محدوده شهری بوده است. میزان فلزات سنگین در گیاهان هنوز به حالت بحرانی نرسیده ولی با توجه به غلظت فلزات در هوا و خاک منطقه، می توان انتظار داشت که در آینده غلظت این فلزات در نمونه‌های گیاهی افزایش یابد. همچنین نتایج تحقیق، تاثیرپذیری آلودگی از فعالیت های پالایش، انبار و پخش فرآورده‌های نفتی و ترافیک منطقه را که حمل فرآورده‌های نفتی در آن بسیار نقش دارند، آشکار نمود.

واژگان کلیدی: آلودگی، ترکیبات نفتی، فلزات سنگین، باقرشهر

* اندازه‌گیری متغیرها در نمونه¬های مورد آزمایش به کارفرمایی شهرداری باقرشهر صورت گرفته است.

۱- استادیار گروه جغرافیای انسانی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران (نویسنده مسئول) fasihi@khu.ac.ir
۲- دانشجوی دکترای زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین hamidimohsen20@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام، شهر ری baladieh17@gmail.com

مقدمه

آلودگی یکی از ره‌آوردهای توسعه صنعت و شهرنشینی است. آلاینده‌های محیط زیست متعددند. یک گروه از این آلاینده‌ها عناصر سنگین هستند که به علت خواص سمی و تجمع‌پذیری و همچنین ماندگاری زیاد در بدن موجودات زنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این فلزات توسط خاک جذب شده، سبب آلودگی زمین‌های کشاورزی می‌شوند و در نهایت وارد چرخه خاک - گیاه - حیوان و انسان گردیده و ممکن است به حد آستانه سمی برای گیاه، حیوان یا انسان برسند. آلودگی خاک به عناصر سنگین باعث ورود آنها به زنجیره غذایی از طریق جذب به وسیله گیاه می‌شود. اگرچه برخی از این عناصر در مقادیری ناچیز برای رشد گیاه لازم‌اند، ولی غلظت کمی بیشتر از حد آستانه آن‌ها می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری خطرساز باشد و با ورود به بدن انسان عوارض جسمی و عصبی فراوان ببار آورد (Street et al., 2007). گروه دیگری از آلاینده‌های محیط زیست را ترکیبات نفتی تشکیل می‌دهند. هیدروکربن‌های نفتی به دلیل سمی‌بودن، سرطان‌زایی و جهش‌های ژنی، وجود آنها در طبیعت نگرانی‌های زیادی را سبب شده است (Cupers et al., 2002). این آلاینده‌ها می‌توانند در سطح خاک و یا ذرات آلی موجود در خاک جذب شده و به‌تدریج بر غلظت آنها افزوده شود و از این طریق به آب‌های سطحی وارد شده و یا به سفره‌های زیرزمینی سرایت نمایند. این آلاینده‌ها دوام بالایی در خاک دارند و وجود آنها در خاک خطر انتقال به منابع آب، مسمومیت و بیماری را برای انسان و سایر موجودات زنده به‌دنبال دارد (Rababah & Matsuzawa, 2002). تحقیقات فراوانی کاهش در رشد و تولید زسیت توده گیاه را درخاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی به اثبات رسانیده‌اند. علاوه بر اثرات مستقیم منفی بر گیاهان، این مواد می‌توانند بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها را تغییر داده و سبب کاهش آب، عناصر مغذی و اکسیژن در دسترس گردند (Bellout el al., 2006).

محیط‌های پیرامونی شهرهای بزرگ و مناطق صنعتی آنها در زمره مناطقی هستند که انواع آلودگی‌های محیط‌زیستی آنها را تهدید می‌نماید. توسعه و گسترش فضایی تهران علاوه بر پیدایش کوی‌ها، محلات و شهرک‌های جدید، هسته-های جمعیتی کوچکی را که از نیم قرن قبل به‌صورت سکونتگاه‌های کوچک و بزرگ روستایی وجود داشتند، به صورت قطب‌های جاذب صنعت و جمعیت درآورده و در ساماندهی فضای پیرامونی و مناطق اطراف خود نیز مؤثر افتاده است (نظریان، ۱۳۷۰). مجموعه تحولات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی که از آغاز قرن جاری خورشیدی در کشور حاصل گردید، سیل مهاجران را را به سمت تهران روانه ساخته و تنگناهای فضایی این کلان‌شهر، اعمال مقررات و محدودیت‌ها و ناتوانی اقتصادی طبقات مهاجر برای سکونت در تهران معمولاً اقشاری از جمعیت‌های مهاجر از طبقات کم‌درآمد را به سمت سکونتگاه‌های پیرامونی تهران گسیل داشته است. علاوه برسکونتگاه‌هایی که به‌صورت اقمار شهرهای پیرامونی کلان‌شهر تهران تنها نقش خوابگاهی یافته و با ساخت و سازهای بی‌سرو سامان و ظهور محلات سکونتگاهی خودرو و بی‌طرح وبرنامه، اغلب به صورت محلات حاشیه‌نشین ظاهر گردیده‌اند(مؤمنی و دیگران، ۱۳۸۷)، پاره‌ای از مراکز سکونتگاهی قدیم به واسطه امتیازاتی، خود پذیرای صنعت و فعالیت‌های متعدد کارگاهی و کارخانه‌ای شده و در کنار نقش خوابگاهی برای اقشار کم‌درآمدی که در تهران در بخش رسمی یا غیررسمی اقتصاد به کار اشتغال دارند، از مراکز تولید و اشتغال صنعتی محسوب می‌گردند. این شهرها در آغاز با جذب صنایع کارگاهی

و مخصوصاً دسته‌ای از صنایع که به دلیل آلایندگی، امکان استقرار در تهران را نداشته‌اند و استقرار صنایع عظیم ملی بنا به سیاست‌های دولت، خود به خود صنایع دیگری را نیز به منطقه کشانده‌اند و موجبات پیدایش برخی خوشه‌ها و قطب‌های صنعتی را فراهم آورده‌اند. فعالیت‌های صنعتی سببی بر تراکم حمل‌ونقل و رفت‌وآمد انبوه وسایل نقلیه باری و سنگین نیز شده و تمامی این عوامل از یک طرف و همجواری با کلانشهر تهران و تاثیرپذیری از منابع آلاینده هوا در این شهر و فاضلاب‌های گسیل شده از سوی دیگر همه دست به دست هم داده‌اند تا محیط زیست و شرایط اکولوژیکی در این شهرها و پیرامون آنها دستخوش تغییرات نامطلوب قرار گیرد.

باقر شهر در ۴ کیلومتری جنوب شهرری از جمله این شهرهاست که تشکیل هسته اولیه سکونتگاهی آن چندان قدمتی نداشته اما تحت تاثیر همجواری با تهران و بنا به برخی سیاست‌ها و شرایط ناخواسته و وجود ظرفیت‌ها و قابلیت‌هایی که شکوفایی آنها مرهون تهران بوده اکنون شهری با بیش از ۶۰ هزار نفر جمعیت (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) است. این شهر به‌صورت یک قطب صنعتی متشکل از خوشه‌های صنعت پالایش و پخش فرآورده‌های سوختی و از آن جمله شرکت پالایش نفت تهران، شرکت ذخیره و توزیع فرآوردهای سوختی پالایشگاه (موسوم به انبار نفت)، شرکت‌های بهران، ایرانول (در تولید انواع روغن موتور و ضدیخ) و پاسارگاد (در تولید و پخش قیر)، شرکت‌های گاز مایع پرسی ایران‌گاز تهران، ایران سیلندر و ارسا گاز، شرکت سولفور، نیروگاه گازی ری، شرکت صنعتی سایپا پرس و مجتمع‌هایی از بیش از ۱۶۰ واحد از انواع صنایع آلاینده بازیافت پلاستیک و صنایع سنگ و ساختمانی خودنمایی می‌کند. یکی از مسائل مهمی که اکنون در منطقه عیان است شرایط نامناسبی است که با توجه به موارد یاد شده در وضعیت سلامت هوا، خاک و گیاهان وجود دارد و در این مقاله به به تحلیل این وضعیت پرداخته می‌شود.

داده‌ها و روش‌ها

الف- روش‌شناسی و محدوده مطالعه

روش تحقیق تحلیلی و توصیفی بوده و داده‌های مورد استفاده در تحلیل مبتنی بر اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در نمونه‌های برداشت شده بوده است. برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری ابتدا منطقه در محیط GIS شبکه‌بندی شده و سپس با توجه به آلودگی احتمالی در منطقه، نقاط به صورت سیستماتیک در مرکز شبکه‌ها انتخاب شده‌ند. انتخاب نقاط مورد نظر به گونه‌ای بوده که در نواحی مسکونی (محدوده شهری باقرشهر) تعداد نقاط بیشتری انتخاب گردیده و انتخاب بیشتر این نقاط در اطراف مناطق مسکونی به دلیل اهمیت تاثیر میزان آلودگی بر سلامت ساکنان منطقه بوده است. ۲۴ نقطه جهت برداشت نمونه‌های خاک و گیاه و ۱۲نقطه جهت برداشت نمونه‌های هوا انتخاب شده‌اند. نمونه‌های مربوط به هوا در دو وضعیت بار آلودگی کم و زیاد برداشت گردیده‌اند. تحلیل نتایج با استفاده از روش‌های آمار توصیفی با کمک نرم‌افزار Microsoft Excel صورت گرفته است.

محدوده و بخشی از حریم شهر ۶۰ هزارنفری باقرشهر در ۴ کیلومتری جنوب منطقه ۲۰ شهرداری تهران قلمرو این مطالعه است.



شکل۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

ب- مبانی نظری تحقیق

آلودگی به عنوان تغییر نامطلوب و زیانبار فیزیکی و شیمیایی در هوا، آب و خاک به‌طور عمده حاصل میزان و نحوۀ بهره‌برداری بشر از منابع طبیعی و تمرکز جغرافیایی مصرف سوخت‌های فسیلی است. به دلیل عملکرد سیستم‌گونه اجزاء محیط زیست، تزریق مواد آلاینده به محیط گرچه در مقیاس محلی و در کانون‌های نشر آلودگی که معمولاً شهرهای پرجمعیت و مراکز صنعتی هستند آثار و پیامدهای حادتری دارد اما عواقب مسئله تنها متوجه این مراکز نبوده و نواحی پیرامونی و حتی در مقیاس وسیع‌تر، کل کره زمین را دربرمی‌گیرد. از این رو آثار و عوارض آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و از آن جمله تهران فقط به خود شهر منحصر نمی‌گردد و این آثار در فاصله‌های دورتر نیز مشهود است (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). براساس مطالعات به عمل آمده، درحال حاضر سالانه ۷۰ تن ذرات معلق، گوگرد، ۲ تن سرب، ۳ هزار و ۵۶۰ تن منواکسیدکربن، یک هزار و ۲۶۰ تن ترکیبات آلی فرار غیرمتان، ۲۸۵ تن اکسیدهای گوگرد و۴۵۲ تن اکسیدهای ازت در هوای تهران منتشر می شود که با توجه به وضعیت اقلیمی و جغرافیایی تهران و پدیده وارونگی، آلودگی های یاد شده مدت زیادی در سطح زمین و فضای تنفسی انسان‌ها باقی و فضایی فراتر از قلمرو شهری تهران را تا شعاع چند کیلومتری پیرامون تحت تاثیر قرار می‌دهند. در میان منابع گوناگون انتشار، خودروها عامل انتشار ۷۵ درصد از ذرات معلق، ۹۵ درصد منواکسید کربن و۶۰ درصد اکسیدهای ازت هستند. درحالی که صنایع ۷۵ درصد از ترکیبات آلی، ۵۵ درصد از دی اکسید گوگرد و ۴۶ درصد از گازهای گلخانه ای را منتشر می سازند (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۹۵). آلاینده‌های جوی در هوای کلانشهرها گذشته از اینکه وضعیت هوا را نامطلوب می‌سازند، با نشست بر سطح زمین، در مقیاسی فراتر از محدوده شهری در آلودگی خاک‌ها و گیاهان تاثیر می‌گذارند.

نواحی پیرامون شهرهای بزرگ نه تنها از عواقب آلودگی هوا در این شهرها در امان نیستند بلکه به واسطه موقعیت خود گاه پذیرای بسیاری از صنایع و فعالیت‌های آلاینده نیز می‌گردند که مکانیابی آنها متاثر از کلانشهر است. استقرار صنایع آلاینده دراطراف شهرهای بزرگ یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن گذشته و قرن جاری بوده است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). ۵۴ درصد صنایع در جنوب شهر تهران قرار دارند که با عنایت به وزش بادهای غالب غربی و جنوب‌غربی، بیشتر آلاینده‌ها به سمت داخل شهر هدایت می‌گردند (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). صنایعی چون پالایشگاه‌ها و مجموعه‌های مکمل آنها که شامل تاسیسات و تجهیزات انبار و ذخیره مواد سوختی و فرآیند توزیع و پخش این فرآورده‌هاست به‌واسطه پتانسیل بالای آلایندگی و سمیت و خطرآفرینی مواد انتشار دهنده به محیط، شاید در راس صنایع آلاینده امروز قرار داشته باشند(Environment and Climate Change Canada, 2016). معمولاً پالایشگاه‌های نفت مجتمع‌های صنعتی بسیار آلاینده‌ای محسوب می‌شوند که جریانی از نفت خام در بین واحدهای مختلف آن برقرار و فرآوری شده و ضمن پالایش، مواد و عناصر شیمیایی متعددی در فضا پراکنده و یا با فاضلاب خروجی از واحدها خارج می‌گردد. نشت مواد نفتی به آب و خاک، آلودگی حرارتی و شیمیایی ناشی از پساب‌ها به بسترهای آبی، انتشار گازهای آلاینده از دودکش‌ها، حوادثی که فرآیندها را از کنترل خارج می‌سازد (مثل آتش‌سوزی، شکستن و سوراخ‌شدن لوله‌های انتقال، مخازن و حوضچه‌ها، تبخیر مواد فرّار، انفجار، آتش‌سوزی و ...) و آلودگی صوتی از جمله رویه‌های معمول آلایندگی فعالیت‌های صنعتی مربوط به نفت و گاز هستند (Mariano,2009).

هدایت فاضلاب‌ها و هرزآب‌های شهری به مناطق پیرامونی نیز می‌تواند عاملی بر انتقال آلودگی به اطراف شهر باشد و شهرها و سکونتگاه‌های پیرامون را تحت تاثیر منفی خود قرار دهد. آب‌هایی که برای مصارف گوناگون شرب در شهرها مورد مصرف قرار می‌گیرند و یا در صنایع برای خنک کردن دستگاه‌ها و دیگر کاربردها مصرف می‌شوند، ناگزیر به شکل فاضلاب درآمده و پس از جمع‌آوری در شبکه‌های فاضلاب به پیرامون شهرها هدایت می‌گردند. علاوه بر این سطح غیرقابل نفوذ و سنگ‌فرش شده شهرها سبب می‌گردد تا در جریان بارش، هرزآب‌های جاری شده، سطوح شهری را که آغشته به انواع موارد آلاینده چون روغن و چربی، سرب، آزبست و انواع اشیاء آلوده است شست‌و شو دهند و با جریان در جوی‌ها و کانال‌ها به خارج از شهرها سرازیر گردند. انتقال آب‌های آلوده و به‌ویژه استفاده از این آب‌ها در آبیاری زمین‌های کشاورزی که در بسیاری از شهرهای کشورهای توسعه نیافته عمومیت دارد، آلودگی را به همه‌جا سرایت می‌دهد و بدین‌گونه تمام اجزاء محیط زیست از جمله آب، هوا و خاک تحت تاثیر منفی فعالیت‌های انسانی و توسعه شهری-صنعتی قرار می‌گیرند. (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[1]، ۲۰۰۱). برای مثال ازطریق کانال های درجه یک سرخه حصار، فیروز آباد، ماندگاری، خروجی سوم تهران، صالح آباد (بهشتی) و یاخچی آباد به‌طور میانگین در فصول مختلف سال بین ۱۰ تا ۵۰ متر مکعب در ثانیه فاضلاب و هرزآب مناطق فرادست وارد محدوده منطقه ۲۰ شهرداری تهران شده (سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۸۷) و سپس به حریم جنوبی شهر سرازیر می‌گردد.

[1]- Organization for Economic Co-operation and Development: OECD

در خصوص آلودگی محیط زیست در شهرها و نواحی پیرامونی آنها مطالعات زیادی انجام شده که به پاره‌ای اشاره می‌گردد.

بر اساس تحقیقی که توسط بیات (۱۳۸۳) صورت گرفته بیش از سه‌چهارم وزن آلاینده‌های جوی در تهران گاز مونواکسید کربن، ۱۱/۴ درصد هیدروکربن‌ها، ۸/۴ درصد اکسیدهای نیتروژن، ۲/۹ درصد اکسیدهای گوگرد و ۲/۴ درصد ذرات معلق بوده است.

از جمله مطالعاتی که در خصوص آلودگی در خاک‌های منطقه باقر شهر صورت گرفته مطالعه اسدی و حیدری (۱۳۹۴) در موضوع تشکیل و طبقه‌بندی حاک‌های تکنوسول آلوده به نفت در منطقه جنوب تهران است که دریافته-اند آلاینده‌های نفتی بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک‌ها اثرات شگرفی برجا گذاشته و مسیر تحول و تکامل خاک‌ها را تغییر داده‌اند. همچنین مردانی و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه ۱۸ نمونه از خاک‌های منطقه به این نتیجه رسیده‌اند که میانگین غلظت سرب، کادمیوم، روی، مس و نیکل به ترتیب ۷۶/۴، ۲/۶۲، ۱۷۵/۰۵، ۶۹/۸۵ و ۳۷/۴ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بوده که وضعیت نامناسبی را نشان می‌دهد و غلظت پارامترهای مورد مطالعه از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش دارد.

در سال ۱۳۸۷شرکت پالایش نفت تهران پروژه‌ای را تحت عنوان بررسی و اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌هاین فتی و فلزات سنگین در خاک و گیاهان اطراف پالایشگاه تهران انجام داده و ۵۰ نمونه از خاک، آب، گیاهان و شیر حیوانات گرفته شد. نتایج به‌دست آمده از فاز اول پروژه نشان داد که انتشار آلودگی نفتی و فلزات سنگین از پالایشگاه نفت تهران به منابع خاک و آب منطقه وجود دارد (جهاد دانشگاهی دانشگاه الزهرا، ۱۳۸۷).

حیدری و اسدی (Heidari et al., 2015) در پژوهشی که در حوزه خاک‌شناسی انجام داده‌اند اشکال میکرومورفولوژیکی آلاینده‌های خاک را در محدوده پالایشگاه تهران مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که با توجه به قرارگیری طولانی مدت خاک‌ها در معرض مواد نفتی، این اشکال در اعماق مختلف خاک و در نقاط مختلف، تفاوت قابل توجه دارد.

بیات و همکاران (Bayat et al., 2016) میزان مواد هیدروکربوری، مواد ارگانیک و PH خاک را در اعماق مختلف۸۳ نمونه خاک در زمین‌های کشاورزی پیرامون پالایشگاه تهران، اندازه‌گیری نموده و نتایج کار آنان نشان داد که میزان مواد هیدروکربوری از شمال به جنوب افزایش نشان می‌دهد و منشاء آن می‌تواند هم از فعالیت‌های پالایش، ذخیره و پخش فراورده‌های نفتی و هم از منابع غیر آن باشد.

از میان مطالعات صورت گرفته در خصوص آلودگی منابع آب منطقه می‌توان به مطالعات ناصری و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد که که ۲۳ پارامتر را در نمونه‌هایی از ۲۳ چاه و ۷ قنات بررسی نموده و به این نتیجه رسیداند که آب‌های زیرزمینی منطقه به دلیل تاثیرپذیری از پساب شرکت‌های صنعتی و نفتی و فاضلاب کانال فیروزآباد برای مصارف شرب و آبیاری نامناسب‌اند.همچنین در مطالعه دیگری بر روی منابع آب منطقه مشخص شد که نشت از مخازن سوخت و پساب‌های پالایشگاه عامل آلودگی نفتی و فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی است (فلسفی، ۱۳۸۷).

یافته‌های تحقیق

متغیرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های هوا به شرح جدول۱ آمده است.

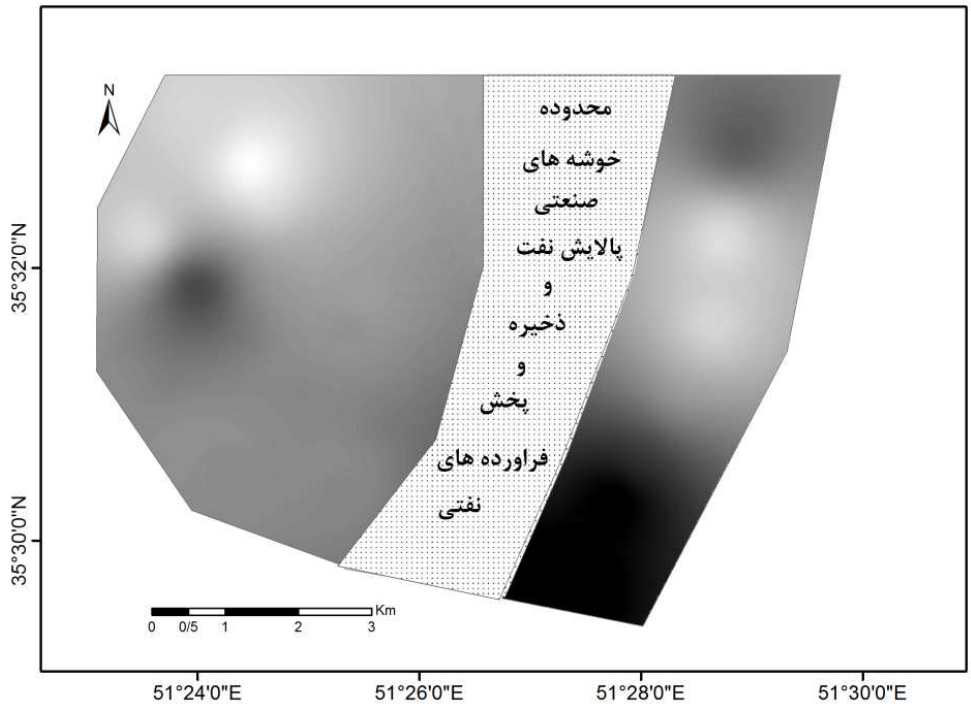
جدول۱: متغیرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های هوا (میلی‌گرم درمترمکعب هوا)

نمونه‌ها	حالت کم‌بار				حالت پربار			
	هیدروکربن‌های نفتی	نیکل	واندیوم	روی	هیدروکربن‌های نفتی	نیکل	واندیوم	روی
۱	۱/۹۵	غ ن	۰/۰۶۱	۰/۲۸	۱۴/۴۹	غ ن	۰/۰۷۷	۰/۵۱
۲	۵/۶	غ ن	۰/۰۷۷	۰/۶۷	۴۴/۶۱	غ ن	۰/۰۹	۰/۵۵
۳	۱۱/۷۷	غ ن	۰/۰۸۲	۰/۲۸	۶/۱۱	غ ن	۰/۹۹۲	۰/۵۳
۴	۱۰/۳۴	غ ن	۰/۰۸۲	۰/۱۶	۶/۳۸	غ ن	۰/۰۹۳	غ ن
۵	۲/۵	غ ن	۰/۰۹۲	۰/۱۲	۲/۸۹	غ ن	۰/۱۱۷	۰/۴۷
۶	۲/۹۲	غ ن	۰/۱۱	۰/۵۱	۸/۶۵	۰/۰۶	۰/۱۱۲	۰/۰۹۱
۷	۱۰/۷۹	غ ن	۰/۰۹۴	۰/۰۵	۳۵/۸۷	غ ن	۰/۰۹۸	۰/۳۶
۸	۱۳/۰۲	غ ن	۴	۰/۳۱	۹/۱۴	غ ن	غ ن	۰/۵۴
۹	۵/۷۷	۰/۰۶۷	غ ن	۰/۲۹	۵۱/۷۵	۰/۰۵۴	غ ن	۰/۳۸
۱۰	۵/۸۱	غ ن	۰/۰۵	غ ن	۱۳/۳۱	۰/۰۳۱	غ ن	۰/۱۰
۱۱	۴/۵	غ ن	غ ن	غ ن	۱۵	۰/۰۳۳	غ ن	۰/۱۸
۱۲	۱۲/۰۷	۰/۵۵	غ ن	۰/۲	۵۲/۹۷	۰/۰۵۳	۰/۰۱۳	۰/۴
میانگین	۷/۲۵	۰/۳۰	۰/۵۷	۰/۲۵	۲۱/۷۶	۰/۰۲۵	۰/۰۶۱	۰/۳۴۷
میانه	۵/۷۹	۰/۳۰	۰/۰۶۹	۰/۲۴	۱۳/۹	۰/۰۳۱	۰/۰۸۳	۰/۳۹
بیشترین	۱۳/۰۲	۰/۵۵	۰/۱۱	۰/۶۷	۵۲/۹۷	۰/۰۶	۰/۱۱۷	۰/۵۵
کمترین	۱/۹۵	غ ن	غ ن	غ ن	۲/۸۹	غ ن	غ ن	غ ن

غ ن : غیرقابل اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌های انجام گرفته نمونه‌های ۱۲ گانه هوا نشان دادند که غلظت نیکل در حالت کم بار تنها در دو نقطه و در حالت بار زیاد تنها در پنج نقطه قابل اندازه‌گیری بوده است. غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای این فلز بالاتر از حد استاندارد بوده که می‌تواند برای ساکنین منطقه خطر ساز باشد. ترکیبات نفتی در کل ۱۲ نقطه برداشت شده در هر دو حالت وجود داشته است. غلظت ترکیبات نفتی در حالت کم بار در غرب و شرق پالایشگاه بالاتر از سایر قسمت‌ها بوده است. میزان وانادیم در حالت کم بار در چهار نقطه و در حالت بار زیاد نیز در چهار نقطه قابل اندازه‌گیری نبوده است و در سایر نقاط اندازه‌گیری شده است. غلظت وانادیم در منطقه در هر دو حالت تقریباً روند مشابهی را نشان داده به‌طوری‌که بیشترین غلظت در نواحی شمالی و کمترین غلظت در نواحی جنوبی منطقه مشاهده شده است. تقریباً نیمی از محدوده شهری باقر شهر غلظت بالایی از این فلز را نشان داده‌اند. همچنین میزان روی در حالت کم بار در دو نقطه و در حالت بار آلودگی زیاد در یک نقطه قابل اندازه‌گیری نبوده و در سایر نقاط اندازه‌گیری شده است.

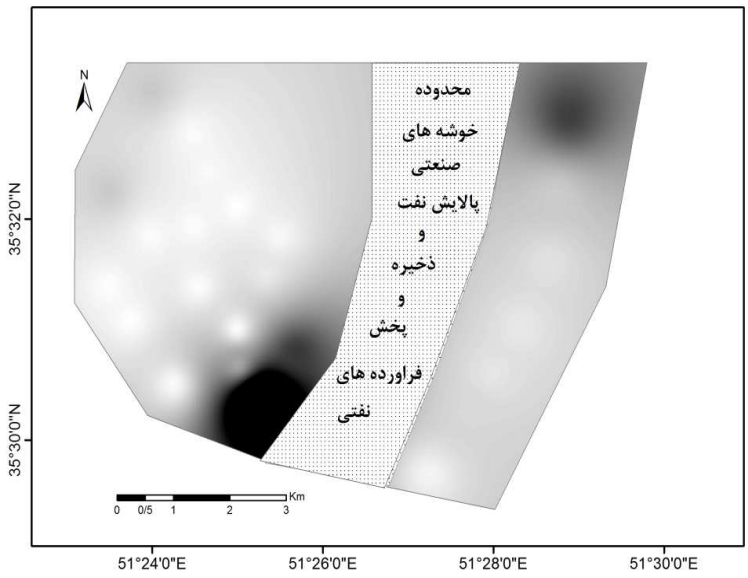
غلظت این فلز در حالت بار زیاد افزایش داشته و در شرق و غرب پالایشگاه به شدت بالا بوده است. غلظت روی در بیشتر نواحی شهری باقر شهر بالا بوده است. میانگین و میانه ترکیبات نفتی در حالت بار زیاد بسیار بیشتر از حالت کم بار بوده که نشان‌دهندهٔ تاثیر افزایش تردد و فعالیت وسایل نقلیه موتوری در منطقه است. بیشترین میزان ترکیبات نفتی در حالت بار زیاد ۵۲ میکروگرم گزارش شده است که با توجه به اینکه ترکیبات آروماتیک عامل سرطان می‌توانند از سوختن سوخت‌های نفتی وارد هوا شوند، این میزان ترکیبات نفتی در هوای منطقه می‌تواند اثرات زیان باری را بر سلامت عموم مردم و سایر جانداران منطقه داشته باشد. میانگین غلظت نیکل در حالت بار زیاد کاهش یافته و دامنه تغییرات بیشترین میزان این فلز در حالت کم بار بسیار بیشتر از حالت بار زیاد بوده است. داده-های مربوط به میزان وانادیم و روی نیز بیانگر غلظت بیشتراین دو پارامتر در حالت بار زیاد بوده است. نقشه پهنه-بندی (شکل ۲) نیز آلودگی را در شرق زیادتر از غرب نشان می‌دهد که علتی جز جهت باد نمی‌تواند در آن دخیل باشد. تمرکز آلودگی منطبق بر جنوب‌شرق منطقه است که علت آن قرارگیری دودکش‌های پالایشگاه در این قسمت با توجه به جهت باد است.



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی آلودگی‌ها در هوا

جدول۲: نتایج اندازه‌گیری متغیرها روی نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

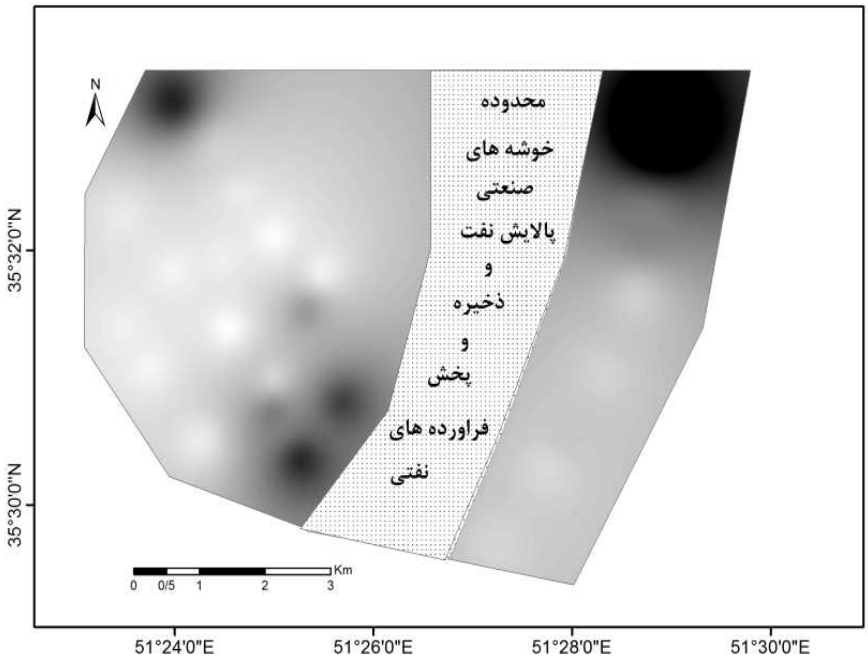
نمونه‌ها	هیدروکربن‌های نفتی	نیکل	وانادیوم	روی	گوگرد
۱	۱۰۲۶	۴۴/۳۶	۰/۹۱	۸۰/۲۳	۳۹/۲۷
۲	۴۱۱۶	۵۱/۳۳	۰/۶۱	۱۳۳/۱۵	۱۱۲
۳	۶۱۹	۲۱/۲۴	۰/۷۵	۵۸/۵۳	۱۶/۶۶
۴	۱۱۲۴	۱۴/۱۸	۳/۳	۳۹/۷	۴۶/۹۴
۵	۸۶	۱۰/۱۶	۳/۳۲	۴۴/۰۳	۵/۳۴
۶	۱۱۶	۲۵/۰۹	۲/۱۱	۱۷/۴	۱۴/۰۶
۷	۴۹۴	۱۸/۸	۲/۶۸	۹/۵۱	۲۵/۲۵
۸	۱۱/۲۹	۹/۵۴	۱/۵۱	۲۱/۱۹	۴۱/۳
۹	۴۲	۱۱/۶۳	۰/۳۷	۴۱/۳۳	۶/۱۹
۱۰	۹	۱۹/۳۶	۰/۵۵	۲۱/۰۹	۰/۵۴
۱۱	۷۴	۶/۹۴	۱/۰۲	۱۸/۶۴	۴/۱۲
۱۲	۱۱۲	۱۲/۰۳	۲/۲۲	۳۹/۷	۱۵/۴۶
۱۳	۵۱۶	۸/۱۴	۲/۳۵	۳۹/۶۶	۲۶/۷۴
۱۴	۱۸	۱۱/۳۳	۱/۰۷	۲۱/۷۳	۹/۳۶
۱۵	۴۸	۱۲/۵۶	۰/۵۸	۱۶/۳۵	۲/۱۲
۱۶	۱۲	۱۹/۹۹	۰/۲۱	۱۸/۵۷	۲/۴۸
۱۷	۴۲۲	۲۶/۲۶	۰/۰۹	۴۸/۳۹	۱۰/۱۱
۱۸	۲۶	۱۴/۶۶	۰/۸۸	۷۵/۱۳	۱/۷۴
۱۹	۱۹۲۰	۱۵/۲۶	۰/۴۱	۵۴/۲۹	۳۱/۵۲
۲۰	۴۳۶۲	۱۸/۷	۱/۴۴	۷۸/۲۲	۴۵/۷۷
۲۱	۸۳۲	۲۷/۳۶	۲/۰۳	۲۰/۳	۱۹/۵۲
۲۲	۱۰۸	۱۰/۰۹	۲/۲	۱۸/۱۶	۶/۵۶
۲۳	۱۵۳۶۲	۲۱/۸۳	۱۰/۱۹	۹۲/۵۴	۵۵/۲۸
۲۴	۲۲۲	۱۲/۳۷	۲/۰۲	۲۰/۵	۱۴/۲۸
میانگین	۱۳۶۶/۴۶	۱۸/۴۷	۱/۷۸	۴۵/۸۵	۲۳/۰۲
میانه	۳۲۲	۱۴/۹۶	۱/۲۵۵	۳۹/۶۹	۱۴/۸۷
بیشترین	۱۵۳۶۲	۵۱/۳۳	۱۰/۱۹	۳۳/۱۵	۱۱۲
کمترین	۹	۶/۹۴	۰/۰۹	۹/۵۱	۰/۵۴



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی آلودگی‌ها در خاک

با توجه به نقشه پهنه‌بندی آلودگی‌ها در خاک (شکل ۳) تمرکز بیشتر آلودگی در جنوب‌غرب منطقه بوده که احتمالاً به دلیل قرار گیری حوضچه‌های نفتی در سال‌های گذشته و تاسیسات تصفیه فاضلاب پالایشگاه در این قسمت می-باشد. تمرکز دیگری در شمال‌شرق منطقه دیده می‌شود که علتی جز زراعی بودن زمین‌ها و استفاده از فاضلاب برای آبیاری نمی‌تواند داشته باشد. اطلاعات جدول ۲ نیز گویای آن است که میانگین و میانه آلودگی ترکیبات نفتی در خاک (به ترتیب ۱۳۶۶/۴۶ و۳۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نشان می‌دهد که خاک منطقه به شدت آلوده است. این آلودگی می‌تواند از طریق جریانات جوی (رسوب ترکیبات هیدروکربنی موجود در هوا) و یا به علت ریزش‌های نفتی و همچنین از طریق نشت از مخازن ذخیره سوخت پالایشگاه نفت تهران ایجاد شده باشد (بیات و همکاران،۲۰۱۶؛ جمالی و همکاران، ۱۳۹۲؛ پژوهشگران دانشگاه الزهرا، ۱۳۸۷ و فلسفی، ۱۳۸۶). میزان این ترکیبات در نواحی شمال-شرقی و جنوب‌غربی منطقه بیشتر از سایر نواحی بوده است. تقریبا حدود نیمی از نقاط نمونه‌برداری شده بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم ترکیبات نفتی دارند که میزان بالایی است و می‌تواند تاثیرات منفی زیادی بر سلامت ساکنین منطقه داشته باشد. میزان ترکیبات نفتی همبستگی مثبت و معنی‌داری را با ترکیبات وانادیم و روی، میزان گوگرد در خاک داشته‌اند. داده‌های مربوط به میزان نیکل در خاک نشان می‌دهد که غلظت این فلز در خاک منطقه بالاست. ماهیت خطرناک این فلز می‌تواند به عنوان یک ریسک در منطقه به‌حساب آید. وجود این فلز در خاک منطقه می‌تواند ناشی از فعالیت‌های پالایشگاه تهران، وسایل نقلیه و استفاده از کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی باشد. میزان این فلز در منطقه شهری باقر شهر کمتر بوده و بیشترین میزان در زمین‌های کشاورزی شمال‌شرق پالایشگاه اندازه‌گیری شده است. این موضوع می‌تواند از نظر تجمع این فلز در گیاهان زراعی و ورود آن به زنجیره غذایی نگران کننده باشد. تقریباً در حدود ۲۰ درصد نمونه‌های برداشت شده بیش از ۲۵ میلی‌گرم بوده و سایر نقاط کمتر از این مقدار نیکل داشته‌اند. در بین ۲۴ نقطه نمونه‌برداری شده تنها یک نقطه بیش از ۵۰ میلی‌گرم نیکل داشته است. داده‌های اندازه-

گیری شده برای وانادیم در خاک بیانگر غلظت کمتر این فلز نسبت به فلز نیکل است. دامنه تغییرات این فلز نشان می‌دهد که هیچ یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده از حد استاندارد تخطی نداشته اند و محدوده شهری باقرشهر دارای کمتر از ۴ میلی‌گرم وانادیم در هر کیلوگرم خاک بوده است. وانادیم یکی از فلزاتی است که به علت سوخته شدن ترکیبات نفتی و پالایشگاه نفت به محیط زیست وارد می‌شود(Rühling et al., 1987) و می‌تواند از طریق رسوب ذرات معلق در هوا در خاک و گیاهان نفوذ کند. این فلز تقریباً برای همه موجودات سمی است. میزان این فلز همبستگی قوی و مثبتی را با میزان ترکیبات نفتی نشان داده است. غلظت فلز روی نیز در خاک منطقه بالا بوده اما محدوده تغییرات این پارامتر از حد استاندارد فراتر نرفته است. با این حال می‌تواند به عنوان یک ریسک در منطقه به‌حساب آید، زیرا در غلظت‌های بالا در خاک برای گیاهان، حیوانات و انسان سمی است. با مقایسه میانگین غلظت روی در محدوده شهری باقر شهر و برخی از شهرهای اروپایی مشاهده می‌شود که روی در خاک باقر شهر نسبت به غالب این شهرها غلظت کمتری دارد (پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۴). همچنین میزان روی همبستگی مثبت و معنی‌داری را با میزان ترکیبات نفتی، نیکل و محتوای گوگرد نشان داد. بررسی نتایج حاصل از نمونه‌های خاک در مورد گوگرد، بیشترین و کمترین میزان اندازه‌گیری شده را ۱۱۲ و ۰/۵۴ و میانگین غلظت را ۲۳/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نشان داد. بالاترین غلظت مربوط به نمونه زمین‌های کشاورزی شرق پالایشگاه و پایین‌ترین غلظت در فضای سبز کنار خیابان بوده است. بالاترین غلظت‌های گوگرد در بخش‌هایی از شمال شرق و شمال غرب منطقه مطالعاتی و بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی محدوده اراضی پالایشگاه نفت تهران مشاهده گردید.



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی آلودگی‌ها در گیاهان

جدول۳: نتایج اندازه‌گیری متغیرها روی نمونه‌های گیاهان در محدوده مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم)

نمونه‌ها	هیدروکربن‌های نفتی	نیکل	وانادیوم	روی
۱	۱۶/۶۵	۰/۲۲	۰/۰۱۶	۲/۴۲
۲	۴۸/۲۸	۰/۴۹۱	۰/۰۰۵	۸/۶۷
۳	۵/۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۰۲	۲/۱۹
۴	۲۸/۳۶	۰/۰۶	۰/۰۱۸	۵/۱۳
۵	۱/۲۹	غ ن	۰/۱۵۱	۵/۴۸
۶	۱/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۴۷	۱/۹۸
۷	۵/۳۹	۰/۳۴۹	۰/۰۵۸	۱/۱۶
۸	۱/۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۲/۲۴
۹	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۹	۲/۵۸
۱۰	غ ن	۰/۰۵۱	غ ن	۰/۵۹
۱۱	۰/۰۱	۰/۰۱۶	۰/۸۴	۱/۱۶
۱۲	۱/۰۳	۰/۱۴۲	۰/۵۵	۰/۵۵
۱۳	۲/۲۷	غ ن	۰/۰۴۶	۶/۳۶
۱۴	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۲/۵۸
۱۵	۰/۰۲	غ ن	غ ن	۰/۳۹
۱۶	۰/۹۴	۰/۵۷۵	۰/۰۱۴	۰/۲۵
۱۷	۶/۵۸	۱/۲۶۲	غ ن	۷/۴۴
۱۸	۰/۲۵	۰/۳۹	۰/۵۴۱	۵/۶۹
۱۹	۱۴/۳۴	۰/۱۱	۰/۰۰۲	۵/۵۴
۲۰	۲۰/۲	۰/۵۷۴	۰/۰۲۱	۸/۰۲
۲۱	۲/۱۶	۰/۸۸۲	غ ن	۳/۱۱
۲۲	۰/۳۲	۰/۰۵۷	۰/۰۶۴	۲/۸۱
۲۳	۲۳/۴۸	۰/۲۴۶	۰/۴۱۲	۸/۱۶
۲۴	۴/۵۶	۰/۰۵۸	۰/۲۳	۱/۷۷
میانگین	۷/۶۵	۰/۲۶	۰/۱۶	۳/۵۹
میانه	۲/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۵۵	۲/۵۸
بیشترین	۴۸/۲۸	۱/۲۶	۰/۸۴	۸/۵۷
کمترین	غ ن	غ ن	غ ن	۰/۲۵

غ ن : غیرقابل اندازه‌گیری

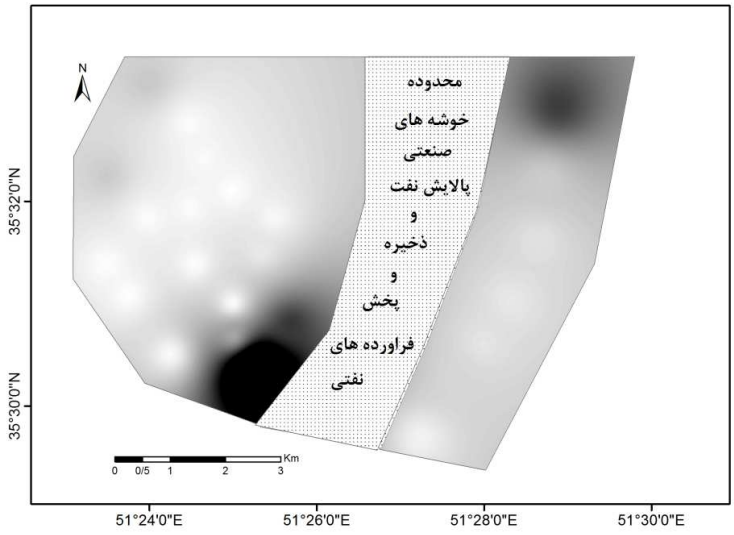
با توجه به شکل ۴، تمرکز آلودگی گیاهان نیز در شمال‌شرق منطقه زیادتر است که علت آن زراعی بودن زمین‌ها و استفاده زیادتر از فاضلاب در آبیاری می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری بر روی گیاهان حکایت از این دارد که ترکیبات نفتی و فلز روی غلظت بیشتری را در گیاهان منطقه دارند. بالا بودن میزان این دو پارامتر در نمونه‌های گیاهی نشان دهندهٔ فرآیند جذب توسط گیاهان از خاک و احتمالا از هوا است. پس از روی، نیکل و وانادیم بیشترین میزان را در

نمونه‌های گیاهی داشتند و بیشترین دامنه تغییرات مربوط به فلز روی و پس از آن وانادیم و ترکیبات نفتی بوده است. شرق پالایشگاه (با کاربری کشاورزی) بیشترین میزان ترکیبات نفتی را داشته و با توجه به اینکه این نقطه در زمین کشاورزی واقع شده می‌تواند تاثیرات منفی بر گیاهان زراعی داشته باشد. دراکثر گیاهان، میزان نیکل کمتر از یک میلی‌گرم بوده که با وجود سمی بودن این فلز، غلظت پایین آن در گیاهان نگران کننده نیست. بیشترین غلظت مربوط به نیکل، مربوط به فضای سبز در کنار خیابان بوده که به‌نظر می‌رسد تحت تاثیر انتشار از وسایل نقلیه باشد. این نمونه روبه‌روی فلرهای پالایشگاه نیز قرار داشته است.

حداکثر غلظت وانادیم در در فضای سبز کنار خیابان‌ها به‌دست آمده است. بیشترین میزان روی در کاربری کشاورزی بوده ولی سایر غلظت‌های بالای این فلز در گیاهان کنار خیابان گزارش شده است. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری میان میزان ترکیبات نفتی و غلظت روی در گیاهان وجود دارد و سایر پارامترها همبستگی خاصی را نشان نمی‌دهند. میزان بالای ترکیبات نفتی در گیاهان در نواحی شمال‌شرق پالایشگاه رخ داده است. همچنین گیاهان در قسمت‌هایی از جنوب منطقه نیز غلظت بیشتری از این ترکیبات را ذخیره کرده‌اند. در آن نواحی که میزان این ترکیبات در خاک بالا بوده، غلظت ترکیبات نفتی نیز در نمونه‌های گیاهی بالا بوده است. میزان روی در گیاهان نواحی شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی و همچنین در غرب پالایشگاه نفت بالاتر از سایر نواحی بوده است. میزان نیکل در خاک، گیاهان شمال‌شرق پالایشگاه را بیشتر تحت تاثیر قرار داده است. گیاهان نواحی غربی پالایشگاه و محدوده شهری باقر شهر بیشترین غلظت وانادیم را داشته‌اند. میزان وانادیم در خاک، غلظت وانادیم را در برخی از گیاهان نواحی غرب پالایشگاه را تحت تاثیر قرار داده است. غلظت روی در گیاهان نواحی شمال‌شرق و جنوب منطقه بالاتر از سایر نواحی بوده و بالا بودن میزان روی در خاک بیشتر گیاهان منطقه را تحت تاثیر قرار داده است، به‌طوریکه در بیشتر قسمت‌هایی که غلظت روی در خاک بالاست، غلظت این فلز در گیاهان نیز افزایش یافته است. بررسی فلزات سنگین موجود در گیاهان نشان می‌دهد که بیشترین میزان این فلزات در گیاهانی گزارش شده است که در فضای سبز کنار خیابان‌ها بوده‌اند. در جاهایی که غلظت فلز نیکل در هوا از حد استاندارد بالاتر بوده، غلظت این فلز در گیاهان نیز بالا بوده است. بیشترین غلظت پارامترهای مورد بررسی در گیاهان منطقه در محدوده شهری باقر شهر بوده است که می‌تواند بیانگر رسوب ذرات معلق حاصل از سوختن سوخت وسایل نقلیه در محدوده شهری باقر شهر باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشانگر وضعیت نامناسب منطقه از نظر آلودگی هوا، خاک و گیاهان به هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین است. بالا بودن غلظت این ترکیبات در هوا، با توجه به اینکه شامل ترکیبات خطرناک آروماتیکی نظیر بنزن نیز هستند، علاوه بر تاثیر بر خاک و گیاهان برای سلامت انسان نیز بسیار زیان‌آور است.



شکل ۵: پهنه‌بندی کلی آلودگی‌ها در محدوده مورد مطالعه

نقشه پهنه‌بندی، تمرکز آلودگی را در دو قسمت جنوب‌غرب و شمال‌شرق منطقه نشان می‌دهد که اولی احتمالاً به دلیل قرار گیری در نزدیکی فازهای یک و دو پالایشگاه نفت تهران و دودکش‌های پالایشگاه با توجه به جهت وزش باد است و دومی به دلیل استفاده از فاضلاب‌های شهری- صنعتی در آبیاری است. نتایج تحقیق، تاثیرپذیری آلودگی از فعالیت‌های پالایش، انبار و پخش فرآورده‌های نفتی را نشان می‌دهد. شرکت پالایش نفت تهران که در محدوده مطالعه شده قرار دارد روزانه ۲۵۰،۰۰۰ بشکه نفت را از منابع نفت خام سبک اهواز- آسماری ونفت خام مارون- شادگان از طریق خط لوله دریافت نموده و به فرآورده‌های مختلف مبدل می‌سازد. این فرآورده‌ها در مخازن عظیمی ذخیره شده و به‌وسیله نفتکش‌ها به بازار عرضه می‌گردند. این شرکت مادر، شرکت‌های دیگری چون ایرانول، پاسارگاد و بهران را نیز تغذیه نموده و بخشی از تغییر و تبدیل مواد نیز در این شرکت‌ها صورت می‌پذیرد. فعالیت چند شرکت گاز مایع نیز به تبع فعالیت پالایشگاه انجام می‌شود. این فعالیت‌ها خود مستلزم ورود میانگین روزانه حدود ۷۵۰ دستگاه نفتکش به باقرشهر است (انبار نفت پالایشگاه، ۱۳۹۵). همچنین روزانه بیش از ۸۵۰ کامیون و کامیونت از خوشه‌های صنعت نفت مبادرت به بارگیری قیر، روغن موتور و فرآوردهای دیگر می‌نمایند (اطلاعات مأخوذ از شرکت-های مربوط و محاسبات نگارندگان). تردد هزاران وسیله نقلیه دیگر در منطقه نیز متاثر از فعالیت پالایش نفت و توزیع انواع فرآورده‌های نفتی است که افزون بر تاثیر مستقیم فعالیت خوشه‌های صنعتی پالایش نفت و پخش فرآورده‌های سوختی می‌تواند در این آلودگی دخیل باشد. با وجود تمهیدات و تدابیر زیادی که در سال‌های اخیر اندیشیده شده، هنوز هم نشت نفت از خطوط لوله و مخازن و از طریق انتقال آب‌های آلوده صنعتی به محیط محتمل می‌باشد. با وجود نصب فیلتر بر روی دودکش‌های پالایشگاه و کنترل‌های سازمان محیط زیست، دودکش‌های این صنایع به‌طور اجتناب‌ناپذیری هر سال هزاران تن مواد آلاینده که تعداد آنها به بیش از ۱۰۰نوع می‌رسد را به جو وارد می‌سازند. مجموع ۴۳ دودکش این واحد هر روز به‌طور میانگین حدود ۶/۴ تن و سالانه بیش از ۲۳۰۰ تن گاز دی‌اکسید گوگرد به هوا وارد می‌کنند (چاوشی و همکاران، ۱۳۹۰) آزاد شدن مواد آلی فرار از تجهیزات موجود در

پالایشگاه نیز از عوامل ایجاد آلودگی است. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی ۲۴ دودکش پالایشگاه نفت تهران توسط پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۹۴) نشان داده که میزان گاز مونواکسیدکربن ppm ۱۱/۸، دی‌اکسید ازت برابرppm۰/۴۴ و دی‌اکسیدگوگرد برابرppm ۶۵/۵ بوده است. در گازهای خروجی از دودکش‌های پالایشگاه فلزات سنگین و ذرات معلق نیز موجود است. در نمونه‌های گاز خروجی از دودکش‌ها، غلظت هر سه عنصر مورد بررسی، از استانداردهای ملی و بین‌المللی بالاتر بوده است (همان). گازهای خطرناکی مانند مونو اکسید کربن، دی اکسید ازت و دی اکسید گوگرد از پالایشگاه به سمت نواحی اطراف از جمله باقرشهر جابه‌جا می‌شوند. غلظت ترکیبات نفتی در منطقه در حالت آلودگی زیاد به‌شدت بالا رفته و بیشترین آلودگی در قسمت‌های شرقی اندازه‌گیری شده است. در حالت بار کم غلظت این ترکیبات در محدوده باقر شهر به ۱۳ میکروگرم بر متر مکعب نیز رسیده است.

بالا بودن غلظت روی در نمونه‌های خاک، هوا و گیاه نشان دهنده از تأثیر رسوبات اتمسفری بر خاک و گیاهان منطقه است. با توجه به اینکه جهت باد غالب در شهر تهران غربی و سپس شمال‌شرقی است (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵) به نظر می‌رسد. ترکیبات نفتی و فلزات سنگین (به غیر از وانادیم) تحت تاثیر جریان باد در منطقه به سمت شرق حرکت کرده‌اند که نتیجهٔ آن برجاگذاری مواد آلاینده با غلظت بیشتر در شرق منطقه و محدوده باقر شهر بوده است.

غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای نیکل در همه نقاط از حد استاندارد بالاتر بوده‌اند و میزان وانادیم در محدوده شهر باقر شهر می‌تواند برای ساکنین مشکل ساز باشد. میزان روی در نواحی شمال‌شرقی و در شرق و مرکز منطقه بسیار بالا بوده است. غلظت نیکل در خاک منطقه در برخی از نقاط از میزان استاندارد تخطی داشته است. همچنین مقایسه غلظت این فلز با استاندارد EPA آمریکا نشان می‌دهد که غلظت این عنصر در بیشتر جاها از حد استاندارد فراتر رفته و بالا بودن غلظت این فلز در خاک نیز می‌تواند به عنوان یک ریسک در منطقه باشد زیرا که احتمال ورود آن به زنجیره غذایی بالاست. میزان فلزات سنگین در گیاهان هنوز به حالت بحرانی نرسیده ولی با توجه به غلظت فلزات در هوا و خاک منطقه، می‌توان انتظار داشت که در آینده غلظت این فلزات در نمونه‌های گیاهی افزایش یابد.

منابع

اسدی الاسوند، پری، حیدری، احمد (۱۳۹۴)، تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌های تکنوسول آلوده به نفت در منطقه جنوب تهران، نشریه علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره ۷۴، صص ۱۳۸-۱۲۴.

بیات، رضا (۱۳۸۳)، سهم منابع تولید آلودگی در هوای تهران، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد محیط زیست در دانشگاه صنعتی شریف به راهنمایی ایوب ترکیان.

پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۹۴)، گزارش نهایی تاثیر فعالیت پالایشگاه تهران (شهید تندگویان) بر کیفیت هوای باقرشهر، کارفرما: شهرداری باقرشهر، ۱۲۷ صفحه.

جهاد دانشگاهی دانشگاه الزهرا (۱۳۸۷)، بررسی و اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌های نفتی و عناصرسنگین (نیکل و وانادیوم) در محصولات و خاک‌های کشاورزی جنوب تهران (اراضی جنوب پالایشگاه)، شرکت پالایش نفت تهران.

جمالی، مریم (۱۳۸۸)، ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی توسط آلاینده‌های صنعتی پالایشگاه تهران، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم.

چاوشی، بهنام، مسعودی‌نژاد، محمد رضا، ادیب‌نژاد، امیر (۱۳۹۰)، ارزیابی میزان انتشار (فاکتور انتشار) گاز دی‌اکسیدگوگرد از خروجی‌های پالایشگاه نفت تهران، مجله سلامت و محیط، دوره چهارم، شماره ۲، صص ۲۴۴- ۲۳۳.

سازمان آب منطقه‌ای تهران (۱۳۸۷)، طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران (مطالعات کمی و کیفی).

صفوی، سید یحیی، علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، صص ۹۹-۱۱۲.

فلسفی، فرهنگ (۱۳۸۷)، آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از هیدروکربن‌های نفتی و آلاینده‌های صنعتی و فاضلاب شهری منطقه صنعتی ری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.

مردانی، گشتاسب، صادقی، مهربان، آهنکوب، مریم (۱۳۸۹)، بررسی آلودگی خاک‌های منطقه جنوب تهران در مسیر رواناب‌های سطحی به فلزات سنگین، نشریه آب و فاضلاب، دوره ۲۱، شماره ۳، صص ۱۱۳-۱۰۸.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۰)، نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، شهرستان ری.

مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران (۱۳۹۵)، مطالعه علمی آلودگی هوای تهران، باریابی شده در تاریخ ۱۳۹۵/۸/۱۲ از: http://vista.ir/article/216435

محمدی، زهره، بابایی، یاسمن (۱۳۸۹)، ضرورت کنترل آلودگی پساب های ورودی به رودخانه کشف رود مشهد و ارائه راهکارهای مناسب، همایش ملی آب پاک، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق.

مؤمنی، مصطفی، رضویان، محمد تقی، مهدوی وفا، حبیب‌اله (۱۳۸۷)، مطالعه تطبیقی تحولات سازمان فضایی شهرهای لواسان و شریف-آباد از سال ۱۳۵۰ تاکنون، فصلنامه علوم تکنولوژی و محیط زیست، دوره دهم، شماره ۴.

ناصری، حمیدرضا، مدبری، سروش، فلسفی، فائزه (۱۳۹۰)، آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از آلاینده‌های نفتی در منطقه صنعتی ری (جنوب تهران)، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۱، شماره ۸۱، صص ۲۲-۱۱.

نظریان، اصغر (۱۳۷۰)، گسترش فضایی تهران و پیدایش شهرک‌های اقماری، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ششم، شماره ۱، صص۱۳۹-۹۷.

Bayat, Javad; Hashemi, Seyyed Hossein; Khoshbakht, Korrosh; Deihimfard, Reza, (2016), Fingerprinting aliphatic hydrocarbon pollutants over agricultural lands surrounding Tehran oil refinery, Environmental Monitoring and Assessment, 188(11).

Bellout, Y., Guivarch, A.; Haouche, L.; Djebaar, R.; Carol, P.; Abrous, O. &; Belbachior, O., (2016), Impacts of edaphic hydrocarbon pollution on the morphology and physiology of the pea roots, Applied ecology and environment research, 14(2), pp 511-515.

Cupers, C.; Pancras, T.; Grotenhuis, T.; Rulkens, W., (2002), The estimation of PAH bioavailability in contaminated sediments using hydroxypropyl-B-cylodextrin and triton x-100 extraction techniques, Chemosphere 46, pp1235-1245.

Environment and Climate Change, (2016), National Pollutant Release Inventory, https://www.ec.gc.ca.

Heidari, A.; Asadi, P., (2015), Micromorphological characteristics of polluted soils in Tehran Petroleum Refinery. Agriculture, Science. Technology, Vol. 17, pp 1041-1055.

Mariano, F., (2009), Environment impacts of the oil refinery, prepared for OAO TANECO.by the ERM Eurasia Limited.

Rababah, A.; Matsuzawa, S., (2002), Treatment system for solid matrix contaminated with fluoranthene 11 recirculating photodegradation techniques, J. Chemosphere, 46 pp 49-57.

Rühling, A.; Rasmussen, L.; Pilegaard, K.; Mäkinen, A.; Steinnes, E., (1987), Survey of atmospheric heavy metal deposition, Report prepared for Steering Body for Environmental Monitoring, The Nordic Council of Ministers.

Street, J., J., Lindzay, W., L.; Sabey, B., R., (1977), Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge, J., Environ, Qual. 1, pp 72-77.

English

Abstracts

Spatial analysis and zoning of climate dry periods in Iran based on DDSLR index

Hasan Zolfaghari*[1], Mojtaba Mirzaei[2]

Received: 2016-07-17 **Accepted:** 2017-03-06

Abstract

In terms of climate, Iran is an arid and semi-arid country, where vital water resources in this country are highly dependent on atmospheric precipitation. Understanding the characteristics of climatic dry periods such as frequency, severity, and duration of periods is important in environmental planning. In this regard, characteristics of the country's dry climatic periods based on "dry days after the last day of the rainfall" (DDSLR) using statistical data of 48 synoptic stations in Iran over a 30-year period from 1979 to 2008 were studied. DDSLR index trend changes with a probability of 25, 50, 75 and 90 percent (optimistic, average, pessimistic and very pessimistic) as an indicator of the severity of the drought periods of low, medium, high and very high determined for each of the stations and dry period features including start, stop, frequency, and duration of driest days was determined for each station. Finally, based on the length of dry period and through interpolation method Kriging zoning maps for the entire country was drawn. The results showed that climatic dry periods in stations of southeast of the country, especially port stations such as the Oman Sea (Chabahar and Bandar Abbas), before other stations begin. Also dry period ends earlier in the Caspian Sea coast stations. The shortest period of drought on the northern coast of the country and the longest period of drought occurs in the southeast of the country. The driest days at most stations will happen in October. It also turned out that with an increased probability of 25% (probably optimistic) to 90 percent (likely very pessimistic) the area has a very long period of drought in parts of the south; southeast and northwest of the country will increase.

Keywords: DDSLR Index, dry periods, spatial analysis, zoning, Iran.

[1]*- Associate prof. of Climatology, Department of Geography, University of Razi, Kermanshah, Iran Email: h.zolfaghari@razi.ac.ir

[2]- M.A. in Climatology, University of Razi, Kermanshah, Iran

Study of Synoptic and Dynamic the Occurrence of Blocking on the Snow in February 2014 in Iran

Fatemeh Dargahian*[1], Bohlol Alijani[2]

Received: 2016-07-31 **Accepted:** 2017-04-07

Abstract

Blocking can be effective in Occurrence of damaging climatic hazards. In order to investigate the role of blocking in the event of heavy snowfall and persistent 31January 31 to5 February 2014, maps Average air pressure at sea level, 850, 500, 300, layer thickness map between 1000 and 500, the position of zero degree isotherm at ground level, U-Wind, V-Wind, Omega (Vertical Velocity, relative humidity, temperature and potential temperature are analyzed. The results showed that Iran is located influence strong and deep right, blocking trough of Omega has a very strong ridges width of 70 degrees north. With the falling of cold air from higher latitudes along with strong high pressure center located in the Caspian Sea with 1050 hpa pressure, With plentiful moisture and temperature conditions especially at the level of 500 and 850 hpa, Regarding the nature of blocking and quasi-stationary conditions continue for 6 days, most parts of Iran was accompanied with snow and some areas due to their position and other conditions were exposed heavy, sustained snow. Investigation the dynamic components showed that in adulthood blocking these components reached its peak and led to continuous heavy snow in most parts of the country. Identification blocking systems that led to heavy snowfall prediction using maps and issue timely early warnings can help planners and decision makers affected areas to prepare for and prevent further damage.

Keywords: Heavy snow, Blocking omega; Synoptic conditions; Component dynamics.

[1]*- Assistant Prof., Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran Email: fatemeh.dargahian@gmail.com

[2]- Professor of climatology and director of the Center of Excellence for the Spatial Analysis of Environmental Hazards, Kharrazi University, Tehran, Iran

Drought monitoring in Urmia Lake by fuzzy index

Batol zeynali*[1], Vahid Safarian Zengir[2]

Received: 2016-07-31 **Accepted:** 2017-03-05

Abstract

Drought is a climate phenomenon with a lack of moisture and rainfall compared to normal conditions. This phenomenon strongly affects all aspects of human activity. In this Article, were discussed the drought situation in Urmia Lake using MATLAB software and system capabilities combined indicators SEPI on two-time scales 6 and 12 months. Therefore was used climate data of temperature and precipitation for 5 synoptic stations basin of Lake Urmia (Tabriz, Maragheh, Urmia, Saghez, and Mahabad). Results indicated that SEPI index show features of SPI and SEPI index. As well as it enters temperatures as a powerful factor in the drought severity in order to the investigation of the drought conditions; So SEPI drought index is better than the SPI for the study of drought. Drought studies on SEPI index indicated that drought trend in Urmia Lake Basin is increasing. The temperature has an increasing trend with more intensity. The longest duration of drought in the basin of Lake Urmia is in Urmia station on a scale of 6 months from May 2005 to November 2006 for 19 months. The highest percentage of drought observed in Urmia and the lowest percentage in Mahabad stations.

Keywords: Drought monitoring, Indices SEPI and SPI, Fuzzy logic, Lake Urmia.

[1]*- Associate Professor of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran Email: zeynali.b@uma.ac.ir

[2]- Graduate student of Meteorological Applications, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran

The relationship between drought and solar variables in some synoptic stations of Iran

Hassan Fathizad[1], Azam Gholamnia[2], Mohammad Hossein Mobin*[3], Hamid Sodaiezadeh[4]

Received: 2016-09-04 **Accepted:** 2017-03-06

Abstract

Drought is natural phenomenon's which can damage were and has a significant loss to human and natural structures. The occurrence of this phenomenon cannot be predicted with complete certainty. The main objective of this study is clustering of drought tradition stations and assessment Climate drought based on the triangular relationship between drought and Hydrometeorology and meteorology variables Such as rainfall, solar radiation and sunshine hours. In this study, using data from meteorological synoptic stations in Iran where twenty solar radiations were recorded, was conducted in the period 1970-2010.The stations studied using Minitab17 software based on the standardized precipitation index solar radiation and sunshine duration, Clustering, Standardized monthly precipitation and from each cluster a station were selected and to examine the relationship between drought and solar variables, and to examine the relationship between drought and solar variables the standardized precipitation same value curves map was drawn and then Angstrom equation variables such as solar radiation and sunshine duration as reference variables was drawn. The results showed solar variables divided into eight different Clusters in all studied stations coefficient of Angstrom equation 0.62-0.96 determinate except Bojnoord, Ramsar and Shiraz are 0.038, 0.067 and 0.36, respectively. The statistical mean period shows most station that started in March and continues in June, July, September, and October and continues in the late of November. In this period, the most sunshine hours and sun radiation are recorded.

Keywords: Triangular relationship, Standardized precipitation, Angstrom, Sunshine hours, Sun radiation.

[1]- Ph.D. student of Combat Desertification, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

[2]- Ph.D. student of Combat Desertification, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

[3]*- Assistant Professor, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran Email: mhmobin@yazd.ac.ir

[4]- Associate Professor, Department of management the arid and desert regions, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran

Hydrological modeling of Climate Changes Impact on flow discharge in Haraz River Basin

Ataollah Kavian*[1], Maryam Namdar[2], Mohamad Golshan[3], Masomeh Bahri[4]

Received: 2016-09-17 **Accepted:** 2017-04-15

Abstract

In this research was assessed the climate change in 2011-2030 periods with A2 emission scenario by using of AOMCM models and uncertainty related that for this purpose were utilized of 6 models in Rineh and Baladeh stations. Climate change is effective on, river flow shortages, floods, and the declining water system that with predicting the climate change can perform fair management of water resources. The Haraz Watershed with 4012 square kilometer area is located in Mazandaran Province. To assess the impact of these changes on the watershed outlet, SWAT hydrological model was used. This model is sensitive to changes in terrain and weather. The time horizon 2000-2014 was used in order for calibration and validation the model. Then, after ensuring the performance of the SWAT model, the downscaled climate change data were determined by the study models for each climate factors input to SWAT model runoff change in future periods were assessed. The climate model results showed that the annual minimum and maximum temperature will be increased 0.7 ° C and 0.62 respectively. The average annual rainfall for the study area will be decreased at a rate of 18 percent. Compare current flow simulation showed that the peak flow for the future period will increase nevertheless the average flow discharge will decrease in the amount of 12 percent. Therefore the climate change should be considered in order to tackle with environmental hazards and Long-term planning.

Keywords: Runoff, Climate Change, Haraz River, HadCM3, SWAT Model.

[1]*- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran Email: a.kavian@sanru.ac.ir

[2]- MSc in Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

[3]- PhD Student of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

[4]- MSc in Watershed Management, Yazd University, Iran

Analysis of geomorphological limitations in physical development of city with an emphasis on gully erosion (Case Study: Mohr City in the southern of Fars province)

Mohammad Gholami*[1], Mehdi Ahmadi[2], Mehran Mahmoodi[3]

Received: 2016-10-09 **Accepted:** 2017-02-28

Abstract

Rapid population growth and physical expansion are the main problems of cities in the developing countries. It is necessary to recognition and analysis of land properties and it's suitability in addition to socio-economic analysis for appropriate control of physical development and urban sprawl. The aim of this study is analysis of gully erosion phenomena and its effect on the physical development of Mohr city in the southern of Fars province. According to this, the goal this study is recognition of phenomena and geomorphological process effect on the physical development of city with an emphasize on gully erosion and its limitation. The materials used in this study consist of topographic maps (scale 1:25000), geology, land use data and aerial photos of the years 1957, 1995 and 2014. After preparing all of the data, AHP method has been used for zoning of gully hazard erosion in the study area. The result shows that physical development of Mohr city is face to the geomorphological limitation in all direction. But the processes of gully erosion and slope are the main limitations of urban development. It seems that the most of these constraints are in the north, northwest, northeast and south of Mohr city. Also, the results of gully erosion zoning show that lithology, land use, distance from the streams, slope and distance from the roads have the most value respectively in gully erosion and the Mohr City is in the high and very high zones. Engineering methods for controlling streams in short term and watershed management for controlling runoff in long term and management program for soil modification are the main approaches to preventing gully erosion increasing in Mohr city.

Keywords: Urban Development, Geomorphological limitations, Gully, AHP Method, Mohr city.

[1]*- Assistant Professor of Human Geography, University of Payam-e Noor, Iran Email: gholami55@pnu.ac.ir

[2]- PhD Student in Geomorphology, Kharazmi University, Iran

[3]- MA in Geography and Urban Planning, Tarbiat Modarres University, Iran

Investigation of heavy metals and hydrocarbons contamination in Baghershar, Tehran, Iran

Habibollah Fasihi*[1], Mohsen Hamidi[2], Saaid Ostadfarag[3]

Received: 2016-11-05 **Accepted:** 2017-04-07

Abstract

This study investigates hydrocarbons and heavy metals pollution in air, soils, and plants in Baghershar and its peripheral located in about 4 km south of Tehran by using an analytical descriptive method. As area study has a favorable situation near Tehran megacity and has had proper geographical conditions, many giant plants including Tehran oil refinery and its relatives and so many other pollutant plants and workshops have been located here since the 1960s. The analysis is based on sample measurements of 12 samples of air, 24 samples of soils and 24 samples of perennial plants. The finding shows that the region is polluted by hydrocarbons and heavy metals origin from the plants and their relative transportations. The high density of the contaminants in the air could be harmful to human life and so could leave harmful effects on soils and plants. High values of hydrocarbons and zinc in samples show that the soils in the region are polluted too. Although the values of nickel and vanadium were lower than the standard level, but the high levels of contaminants in the soils could be a risk for plants and water resources. Measurement of sample plants indicates that hydrocarbon and zinc contaminants had a higher density than others and the higher values obtained from Baghershar urban areas. Although the concentration of the heavy metals in plants are far from crisis level, but as the values are high, its expect them to increase in the future and cause many harmful effects. Finding also shows that pollution in the area study has being affected by the oil refinery and relative activities in storing, distributing and transporting of oil products.

Keywords: Pollution, Hydrocarbons, Heavy metals, Baghershahr.

[1]*- Assistant Professor of Geography & Urban Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
Email: Fasihi@khu.ac.ir

[2]- PhD Student of Farming, Varamin branch, Islamic Azad University, Iran.

[3]- PhD Student of Political Geography, Yadegar-e Emam branch, Islamic Azad University, Iran

Table of Contents

SPATIAL ANALYSIS AND ZONING OF CLIMATE DRY PERIODS IN IRAN BASED ON DDSLR INDEX .....
Hasan Zolfaghari*, Mojtaba Mirzaei 1

STUDY OF SYNOPTIC AND DYNAMIC THE OCCURRENCE OF BLOCKING ON THE SNOW IN FEBRUARY 2014 IN IRAN .....
Fatemeh Dargahian*, Bohlol Alijani 2

DROUGHT MONITORING IN URMIA LAKE BY FUZZY INDEX 3
Batol zeynali*, Vahid Safarian Zengir 3

THE RELATIONSHIP BETWEEN DROUGHT AND SOLAR VARIABLES IN SOME SYNOPTIC STATIONS OF IRAN .....
Hassan Fathizad, Azam Gholamnia, Mohammad Hossein Mobin*, Hamid Sodaiezadeh 4

HYDROLOGICAL MODELING OF CLIMATE CHANGES IMPACT ON FLOW DISCHARGE IN HARAZ RIVER BASIN .....
Ataollah Kavian*, Maryam Namdar, Mohamad Golshan, Masomeh Bahri 5

ANALYSIS OF GEOMORPHOLOGICAL LIMITATIONS IN PHYSICAL DEVELOPMENT OF CITY WITH AN EMPHASIS ON GULLY EROSION (CASE STUDY: MOHR CITY IN THE SOUTHERN OF FARS PROVINCE) .....
Mohammad Gholami*, Mehdi Ahmadi, Mehran Mahmoodi 6

INVESTIGATION OF HEAVY METALS AND HYDROCARBONS CONTAMINATION IN BAGHERSHAR, TEHRAN, IRAN .....
Habibollah Fasihi*, Mohsen Hamidi, Saaid Ostadfarag 7

Vol.: **6**, Issue: **12**, Summer 2017

Concessionaire: Faculty of Geography and Environmental planning, University of Sistan and Baluchestan

Director: Negaresh, Hossein
Editor in Chief: Khosravi, Mahmoud
Manager: Fotoohi, Samad

Editorial Board:

1.	Akbari,A	Prof. in Agricultural Economics- University of Sistan and Baluchestan
2.	Alijani, B.	Prof. in Climatology-University of Kharazmi(Teheran)
3.	Asgary, A.	Associate prof. in Urban planning-York University (Canada)
4.	Ebrahimzadeh,I.	Prof. in Urban planning-University of Sistan and Baluchestan
5.	Ghayoor, H.A.	Prof. in Physical Geography-University of Isfahan
6.	Jahanbakhsh,S	Prof. in Climatology-University of Tabriz
7.	Khosravi,M	Associate prof. in Climatology-University of Sistan and Baluchestan
8.	Masoodian,S.A.	Prof. in Climatology-University of Isfahan
9.	Negaresh,H	Prof. in Geomorphology-University of Sistan and Baluchestan
10.	Ramesht,M.H.	Prof.in Geomorphology-University of Isfahan
11.	Shahriyari, A	Associate prof.in Natural Resources-University of Zabol
12.	Fotoohi. S	Associate prof. in Geomorphology-University of Sistan and Baluchestan

Farsi Editor: *Dr Yaghoob Fooladi*
English Editor: *Dr. Mahmoud Kosravi and Marzie Daraei*
Executive Manager: *Masoud Saeedi*
Executive Director: *Marzie Daraei*
Edit and Page Layout: *Marzie Daraei*

In the Name of God

Journal of

Natural Environment Hazards

(ISC Journal)

Vol.: **6**, Issue: **12**
Summer 2017