Archive of SID

جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۲۷، تابستان ۱۳۹۷
صص. ۹۹-۸۹

تغییرات مکانی و زمانی فرسایندگی باران در استان آذربایجان غربی

حبیب نظرنژاد* - استادیار آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
تارا شاه‌حسین - دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
فرخ اسدزاده - دانشیار خاک‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

وصول: ۱۳۹۷/۰۱/۱۷ **پذیرش:** ۱۳۹۷/۰۴/۰۶

چکیده

فرسایندگی باران، به‌عنوان عامل کلیدی مؤثّر بر فرسایش شناخته می‌شود. آگاهی دقیق از میزان کمّی فرسایندگی باران در یک منطقه، به‌عنوان گام اوّلیّه در مدیریت پایدار خاک و آب محسوب می‌شود. از نظر کمّی، فرسایندگی باران به ویژگی‌ای از آن اطلاق می‌شود که دارای بیشترین همبستگی با میزان تلفات خاک باشد. شاخص فورنیه اصلاح‌شده از مهم‌ترین شاخص‌های کمّی فرسایندگی باران است که به‌دلیل محاسبهٔ آسان در مقایسه با سایر شاخص‌ها، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات فرسایش خاک دارد. این مطالعه، با هدف بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص فورنیه اصلاح‌شده در طول دورهٔ آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۳ در استان آذربایجان غربی انجام شده است. برای این منظور، از آمار و اطّلاعات بارندگی ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شده و شاخص‌های فورنیه اصلاح‌شده و شاخص تمرکز بارش در منطقه محاسبه و نقشهٔ تغییرات مکانی با استفاده از روش کریجینگ معمولی ترسیم شد. تغییرات شاخص فورنیه در استان بسیار زیاد بوده و در دامنهٔ ۱۱۶/۲۲-۲۸/۲۵ میلی‌متر قرار داشت. حداکثر شاخص فورنیه در جنوب غربی و حداقل آن، در شمال شرقی استان مشاهده شد. بر اساس شاخص تمرکز بارش، به‌طور تقریبی در ۲۰٪ ایستگاه‌ها، الگوی نسبتاً فصلی و در ۸۰٪ ایستگاه‌ها نیز الگوی فصلی از بارش مشاهده شد. شاخص فورنیه اصلاح‌شده داری همبستگی بسیار قوی با مقدار بارش سالانه (r = ۰/۹۳۴ ،p < ۰/۰۰۱) بود. با این حال، شاخص فورنیه اصلاح‌شده و مجموع بارش سالانه، ارتباط معنی‌داری با شاخص تمرکز بارش نداشت. نتایج پژوهش نشان داد که با حرکت به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر، شاخص فورنیه و مقدار بارش سالانه به شکل منظّمی کاهش می‌یابد.

***واژگان کلیدی:** فورنیه اصلاح‌شده، شاخص تمرکز بارش، کریجینگ.*

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۴۱۴۶۵۴۹۳
E-mail: h.nazarnejad@mail.urmia.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدّمه

فرسایش خاک، از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود و اثرات درون‌منطقه‌ای و برون‌منطقه‌ای آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از دیدگاه‌های اجتماعی و اقتصادی بسیار زیان‌بار است. فرسایش خاک، یکی از مسائل اصلی در بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی است (مصفایی و طالبی، ۱۳۹۳؛ مصفایی و همکاران، ۱۳۹۶). از دیدگاه مدل‌سازی فرسایش خاک، این فرایند، تابعی از عوامل مربوط به فرسایش‌پذیری و فرسایندگی است. فرسایندگی، نشان‌دهندهٔ میزان قدرت عوامل فرسایش‌زا در جداکردن و انتقال ذرّات خاک است. شاخص‌های فرسایندگی بیشتر در ارتباط با عوامل اقلیمی هستند که در میان این عوامل، بارندگی به‌عنوان عاملی کلیدی در فرسایش آبی در نظر گرفته می‌شود (ویشمایر[1]، ۱۹۷۸).

از نظر کمّی، فرسایندگی باران به ویژگی‌ای از آن اطلاق می‌شود که دارای بیشترین همبستگی با میزان تلفات خاک باشد (نیک‌کامی و مهدیان، ۱۳۹۳). بر این مبنا، شاخص‌های مختلف کمّی برای بیان فرسایندگی باران در مناطق مختلف دنیا توسعه یافته‌اند. این شاخص‌ها، بسته به منطقهٔ جغرافیایی، مقیاس، شرایط محلّی و نوع اطّلاعات موجود از اقلیم منطقه متفاوت هستند. در این میان، بررسی منابع نشان می‌دهد که در مجموع، شاخص‌های فرسایندگی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دستهٔ اوّل، مربوط به شاخص‌هایی هستند که مبتنی بر انرژی باران بوده و از تلفیق انرژی جنبشی با شدّت باران به‌دست می‌آیند. شاخص EI_{30} به‌عنوان نمونه‌ای کلاسیک و پرکاربرد از این شاخص‌ها است (کیننل[2]، ۱۹۹۷؛ دسانتس لوریورو و دآزودو کوتینهو[3]، ۲۰۰۱). محاسبهٔ این شاخص‌ها، نیازمند در اختیار بودن تغییرات مقادیر بارش در مقیاس‌های زمانی بسیار کوچک بوده و از این رو، محاسبه و استفاده از آنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک که ایستگاه‌های آنها بیشتر فاقد داده‌هایی با این قدرت تفکیک هستند، با دشواری‌های فراوانی روبه‌رو است. بر این اساس، دستهٔ دیگری از شاخص‌ها که مبتنی بر داده‌ها و اطّلاعات زودیافت بارش در منطقه بوده و به‌راحتی با استفاده از آمار روزانهٔ بارش قابل محاسبه هستند، معرّفی شده‌اند.

شاخص فورنیه اصلاح‌شده (آرنولدز[4]، ۱۹۸۰: ۱۸۰)؛ به‌عنوان پرکاربردترین شاخص از این دسته محسوب می‌شود که تاکنون در مطالعات فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است (حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۴)؛ از سوی دیگر، تلاش‌های پژوهشگران مختلف به‌منظور مرتبط ساختن شاخص فورنیه اصلاح‌شده با شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی نظیر شاخص EI_{30} در بسیاری از مناطق موفّقیّت‌آمیز بوده (حکیم‌خانی و حکیم‌خانی، ۱۳۸۹؛ کاویان و همکاران، ۱۳۹۵؛ شمشاد و همکاران، ۲۰۰۸) و نشان می‌دهد که شاخص فورنیه اصلاح‌شده، به‌عنوان گزینه‌ای مطلوب برای بیان فرسایندگی و در نتیجه، تعیین پتانسیل ایجاد فرسایش به‌ویژه در مقیاس‌های مکانی بزرگ است. تهیّهٔ نقشه‌های توزیع مکانی شاخص‌های مناسب فرسایندگی در مناطق مختلف جغرافیایی از ابزارهای اصلی در مدیریت و اولویّت‌بندی پروژه‌های آبخیزداری است. در این راستا، محاسبهٔ شاخص‌های فرسایندگی نظیر شاخص فورنیه در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبدیل مقادیر نقطه‌ای این شاخص‌ها به نقشه‌های پیوسته با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی نظیر کریجینگ در مطالعات گوناگونی انجام شده است (مینگ‌ژین[5] و همکاران، ۲۰۰۸؛ ایروم[6]

1- Wischmeier
2- Kinnell
3- De Santos Loureiro & De Azevedo Coutinho
4- Arnoldus
5- Mingxin
6- Irvem

www.SID.ir

Archive of SID

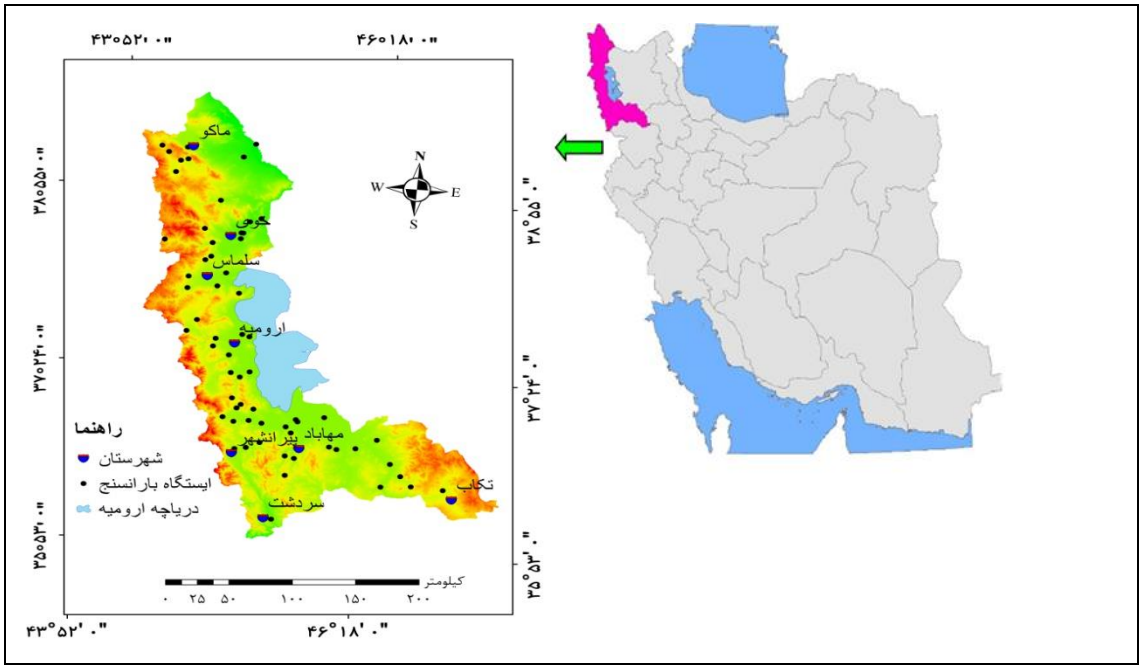
و همکاران، ۲۰۰۷؛ حکیم‌خانی و همکاران، ۱۳۸۷). نقشه‌های فرسایندگی تولیدشده با روش کریجینگ به‌ویژه زمانی که حاصل از داده‌های باران‌سنجی با دورهٔ آماری مناسب (حداقل ۲۰ سال) در تحقیقات مختلف به‌عنوان پایهٔ نقشه‌های خطر فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند (شعبانی، ۱۳۹۰؛ مورگان[1]، ۲۰۰۹)

بررسی منابع به‌روشنی نشان می‌دهد که شاخص فورنیه با وجودی که شاخص نسبتاً ساده‌ای است، کاربرد فراوانی در مطالعات فرسایش خاک داشته و یکی از ابزارهای اصلی در رابطه با ارزیابی سریع پتانسیل فرسایش در مناطق مختلف است. بر این اساس، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص فرسایندگی فورنیه در یک دورهٔ آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۲-۱۹۹۳) در استان آذربایجان غربی صورت گرفته و طی آن، تلاش شده تا با محاسبهٔ هم‌زمان شاخص تمرکز بارش، تحلیلی از توزیع زمانی بارندگی در استان از دیدگاه فصلی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

استان آذربایجان غربی در شمال غربی ایران در موقعیّت جغرافیایی ′۳ °۴۴ تا ′۲۳ °۴۷ طول شرقی و ′۵۸ °۳۵ تا ′۴۶ °۳۹ عرض شمالی واقع شده است و با مساحت ۳۷۲۱۰ کیلومتر مربع، سیزدهمین استان کشور از نظر وسعت است. این استان، یکی از قطب‌های تولیدات کشاورزی در کشور بوده و با توجّه به شرایط توپوگرافیکی و با در نظر گرفتن اینکه بخش زیادی از زمین‌های این استان زیر کشت محصولات دیم هستند، فرسایش خاک و به‌ویژه فرسایش آبی، از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی در این استان محسوب می‌شود.

به‌منظور تهیّهٔ نقشهٔ فرسایندگی از اطّلاعات مربوط به ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی واقع در استان استفاده شد. اطّلاعات مربوط به بارش روزانهٔ این ایستگاه‌ها، برای یک دورهٔ آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۲-۱۹۹۳) جمع‌آوری و برای محاسبهٔ شاخص‌های مربوط به بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۱، موقعیّت استان آذربایجان غربی در کشور و همچنین محل قرارگیری ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیّت استان آذربایجان غربی در ایران و محلّ ایستگاه‌های باران‌سنجی در استان

1- Morgan

www.SID.ir

Archive of SID

در این پژوهش، به‌منظور بررسی وضعیّت فرسایندگی از شاخص فورنیه اصلاح‌شده و برای بررسی وضعیّت یکنواختی بارش در طول سال، از شاخص تمرکز بارش (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵؛ اولیور[1]، ۱۹۸۰؛ میشلس[2] و همکاران، ۱۹۸۰) استفاده شد (رابطهٔ ۱ و ۲).

$$MF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$ رابطهٔ ۱

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P^2} * 100$$ رابطهٔ ۲

در این دو رابطه، MF و PCI به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ شاخص‌های فورنیه و تمرکز بارش هستند. Pi: مقدار بارش ماه i ام و P: نیز میزان کلّ بارش سالانه است. در این مطالعه، مقادیر شاخص‌های بالا، برای تمامی ایستگاه‌ها در دورهٔ ۲۰ ساله محاسبه شدند؛ همچنین به‌منظور بررسی احتمال تغییرات زمانی در پارامترهای مربوط به بارش، طول دورهٔ آماری به دو بخش ۱۰ ساله شامل دههٔ اوّل (۲۰۰۲-۱۹۹۳) و دههٔ دوّم (۲۰۱۲-۲۰۰۳) تقسیم شده و در هر یک از این دوره‌ها نیز شاخص‌های مربوطه به‌صورت جداگانه محاسبه شدند.

برای تهیّهٔ نقشه‌ها و به‌منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای بارش، فورنیه اصلاح‌شده و شاخص تمرکز بارش به اطّلاعات ناحیه‌ای (نقشه) در محیط آرک. جی.آی.اِس[3] از روش کریجینگ ساده (عساکره، ۱۳۸۷) استفاده شد. برای این منظور، نرمال بودن توزیع هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[4] در نرم‌افزار اِس.پی.اِس.اِس[5] بررسی و پس از مطمئن شدن از نرمال بودن داده‌ها، مدل مناسب نیم‌تغییرنما بر داده‌های مکانی برازش یافته و از آن روش، نقشهٔ منطقه تهیّه شد. کارایی نقشه‌های تهیّه‌شده با استفاده از آماره‌هایی نظیر ضریب تبیین و ریشهٔ میانگین مربعات خطا به‌دست آمد.

نتایج

آمار توصیفی مربوط به داده‌های بارش نشان داد که میانگین بارش در کلّ دورهٔ مطالعهٔ ۲۰ ساله تقریباً ۳۲۵ میلی‌متر است و در طول دههٔ اوّل و دوّم دورهٔ آماری نیز میانگین بارش به‌ترتیب برابر با ۳۱۱/۴۴ و ۳۸۸/۴۵ میلی‌متر است. به‌طور کلّی، ضریب تغییرات بارش در استان نسبتاً کم بوده و در طول دو دهه نیز تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد (جدول ۱).

مقادیر شاخص فورنیه اصلاح‌شده نیز در دامنهٔ ۲۸/۲۵ تا ۱۱۶/۲۲ میلی‌متر متغیّر بود. در روش کورین[6] که به‌عنوان روش تعیین پتانسیل فرسایش محسوب می‌شود، از شاخص فورنیه به‌عنوان پارامتر اصلی در محاسبهٔ فرسایندگی استفاده می‌شود که بر مبنای طبقه‌بندی ارائه‌شده در این روش، مقادیر کمتر از ۶۰ به‌عنوان فرسایندگی بسیارکم، ۹۰-۶۰ فرسایندگی کم، ۱۲۰-۹۰ فرسایندگی متوسّط، ۱۶۰-۱۲۰ فرسایندگی زیاد و مقادیر بیش از ۱۶۰، به‌عنوان فرسایندگی بسیارزیاد شناخته می‌شوند (گابریئلس[7]، ۲۰۰۶).

1- Oliver
2- Michiels
3- Arc GIS
4- Komlogrov- Smirnov test
5- Statistical Package for the Social Science (SPSS)
6- CORINE
7- Gabriels

www.SID.ir

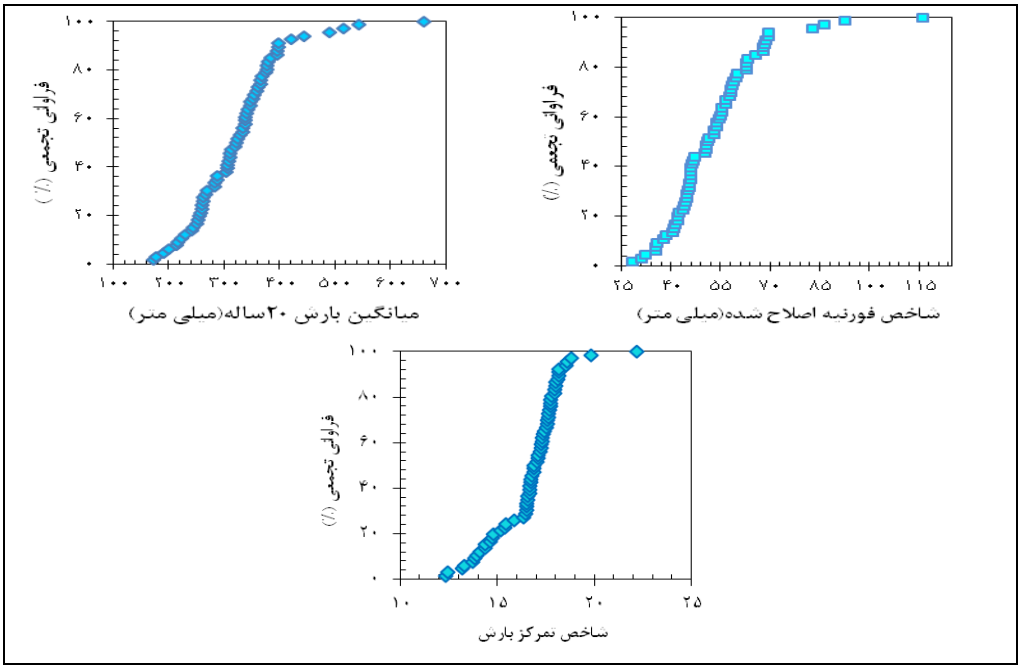
Archive of SID

جدول ۱. آمار توصیفی مربوط به پارامترهای بارندگی در طول دورهٔ مورد مطالعه

آماره	بارش سالانه (میلی‌متر)			شاخص فورنیه اصلاح‌شده (میلی‌متر)			شاخص تمرکز بارش		
	کلّ دوره	دههٔ اوّل	دههٔ دوّم	کلّ دوره	دههٔ اوّل	دههٔ دوّم	کلّ دوره	دههٔ اوّل	دههٔ دوّم
میانگین	۳۲۴/۹۵	۳۱۱/۴۴	۳۳۸/۴۵	۵۳/۴۱	۵۰/۸۹	۵۵/۹۳	۱۶/۶۶	۱۶/۴۵	۱۶/۸۸
بیشینه	۶۵۹/۵۵	۶۵۴/۶۷	۶۶۴/۴۲	۱۱۶/۲۲	۱۱۷/۰۲	۱۱۵/۴۲	۲۲/۱۷	۲۰/۲۴	۲۴/۱۴
کمینه	۱۷۲/۵۹	۱۵۵/۳۵	۱۷۷/۸۸	۲۸/۲۵	۲۷/۶۹	۲۷/۸۴	۱۲/۳۶	۱۲/۳۵	۱۲/۳۸
ضریب تغییرات (٪)	۲۶/۴۵	۲۸/۶۹	۲۶/۳۵	۲۷/۹۱	۳۱/۱۸	۲۶/۴۵	۱۰/۵۴	۹/۸۴	۱۳/۶۰

توزیع فراوانی مقادیر شاخص فورنیه اصلاح‌شده در ایستگاه‌های مورد بررسی (شکل ۲) بیانگر این است که در بیش از ۷۰٪ ایستگاه‌های مورد مطالعه، شاخص فورنیه اصلاح‌شده دارای مقادیری کمتر از ۶۰ است که بیانگر اندک بودن پتانسیل فرسایندگی در این مناطق است. حدود ۱۶٪ از ایستگاه‌ها نیز دارای شاخص فورنیه در محدودهٔ ۹۰-۶۰ میلی‌متر بوده و تقریباً ۱۴٪ از ایستگاه‌ها نیز با شاخص فورنیه در محدودهٔ ۱۲۰-۹۰ دارای پتانسیل فرسایندگی متوسّطی هستند.

شاخص تمرکز بارش، به‌عنوان شاخصی برای مشخّص کردن جنبهٔ توزیع زمانی بارندگی در طول سال مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص، امکان طبقه‌بندی داده‌های بارش بر اساس فصلی بودن یا نبودن را فراهم می‌آورد. اولیور (۱۹۸۰)، یک طبقه‌بندی برای مقادیر تمرکز بارش ارائه کرده است که بر اساس آن، مقادیر کمتر از ۱۰ نشان‌دهندهٔ توزیع یکنواخت، ۱۵-۱۱، توزیع نسبتاً فصلی بارش و ۲۰-۱۶، توزیع فصلی و مقادیر بیش از ۲۰، نشان‌دهندهٔ توزیع کاملاً فصلی بارش است. میانگین مقادیر تمرکز بارش برای دورهٔ مورد مطالعه برابر با ۱۶/۶۶ بود که نشان‌دهندهٔ توزیع فصلی بارندگی در استان است. کمینهٔ مقادیر تمرکز بارش برای منطقهٔ مورد مطالعه برابر با ۱۲/۳۶ بود که نشان‌دهندهٔ توزیع نسبتاً فصلی بارندگی است. نکتهٔ مهم، تفاوت ناچیز آماره‌های مربوط به شاخص تمرکز بارش در منطقه است به‌طوری که طی دو دههٔ مربوط به دورهٔ آماری، تغییرات میانگین تمرکز بارش کمتر از ۲٪ است. بررسی توزیع فراوانی شاخص تمرکز بارش نشان می‌دهد که در ۲۰٪ ایستگاه‌های مورد مطالعه، تمرکز بارش به‌صورت نسبتاً فصلی و در ۷۹٪ ایستگاه‌ها شاخصف تمرکز فصلی و تنها در یک ایستگاه (یالقوزآغاج)، شاخص تمرکز بیش از ۲۰ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ توزیع کاملاً فصلی بارش در آن منطقه است.



شکل ۲. توزیع فراوانی تجمّعی مقادیر بارش سالانه به همراه شاخص‌های فورنیه اصلاح‌شده و تمرکز بارش

www.SID.ir

Archive of SID

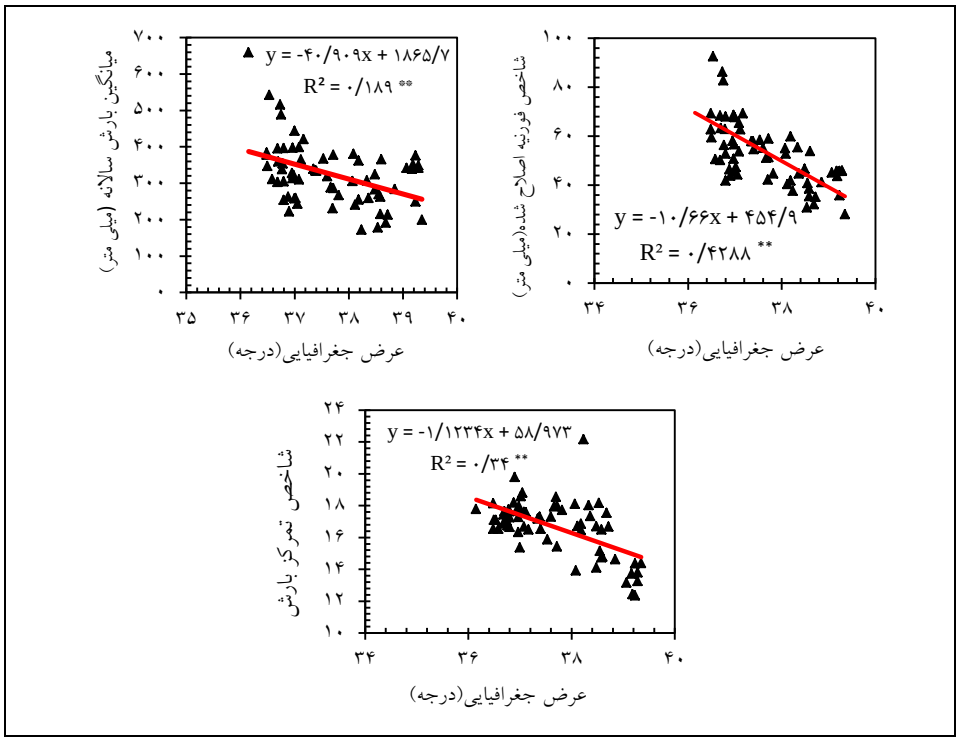
به‌منظور بررسی ارتباط بین مقادیر بارش، شاخص فرسایندگی و شاخص تمرکز بارش با موقعیّت ایستگاه‌های مورد مطالعه، اقدام به تعیین همبستگی این متغیّرها با طول و عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع ایستگاه‌ها شد (جدول ۲). این جدول، به‌روشنی نشان می‌دهد که عرض جغرافیایی در مقایسه با طول و ارتفاع ایستگاه‌ها دارای بیشترین همبستگی با ویژگی‌های مورد مطالعه است. ارتفاع ایستگاه‌ها نیز دارای همبستگی مثبت با بارندگی سالانه و شاخص تمرکز بارش است. با توجّه به رابطهٔ قوی عرض جغرافیایی و پارامترهای مورد مطالعه، ارتباط خطّی این متغیّرها با عرض جغرافیایی ارائه شده است (شکل ۳). بر اساس روابط خطّی یادشده، مشاهده می‌شود که عرض جغرافیایی می‌تواند تغییرات شاخص‌های تمرکز و فورنیه را در مقایسه با مقدار بارش به‌صورت مطلوب‌تری تبیین نماید. هرچند رابطهٔ خطّی بین عرض جغرافیایی و مقدار بارش نیز از نظر آماری معنی‌دار است ($P<۰/۰۱$).

در نهایت، برای پهنه‌بندی شاخص فرسایندگی و بارش و به‌منظور بررسی الگوی مکانی بارش در استان، از روش کریجینگ معمولی استفاده شد. شاخص‌های یادشده هم برای کلّ دورهٔ آماری و نیز به‌تفکیک دو دههٔ اوّل و دوّم پهنه‌بندی شدند. نتایج تحلیل واریوگرافی متغیّرها نشان می‌دهد که الگوی نیم‌تغییرنمای تجربی برای شاخص تمرکز بارش و شاخص فورنیه اصلاح‌شده به‌ترتیب قوسی و کروی است و الگوی نیم‌تغییرنمای تجربی برای بارش کلّ دوره نیز از مدل کروی تبعیت می‌کند؛ همچنین استحکام ساختار فضایی متغیّرها با استفاده از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانهٔ مدل تئوریک نیم‌تغییرنما قابل سنجش است (جدول ۳).

جدول ۲. همبستگی بین پارامترهای بارش با ویژگی‌های جغرافیایی نقاط

پارامترهای بارش	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
بارش سالانه	۰/۰۵۱	۰/۴۳۶ **	۰/۳۴۱ **
فورنیه اصلاح‌شده	۰/۲۴۱	۰/۶۵۵ **	۰/۲۰۳
شاخص تمرکز بارش	۰/۴۷۳ **	۰/۵۸۵ **	۰/۲۸۵ *

** معنی‌داری در سطح ۱٪؛ * معنی‌داری در سطح ۵٪



شکل ۳. رابطهٔ بین پارامترهای بارش با عرض جغرافیایی در منطقه

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عنوان یک قاعدهٔ کلّی، در صورتی که نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای متغیّری کمتر از ۲۵٪ باشد، آن متغیّر، به‌عنوان یک متغیّر با پیوستگی مکانی بالا قلمداد می‌شود. اگر این نسبت در محدودهٔ ۷۵٪-۲۵٪ باشد، پیوستگی مکانی متغیّر متوسّط و برای زمانی که این نسبت بیش از ۷۵٪ است پیوستگی مکانی ضعیف محسوب می‌شود (کامبردلا[1] و همکاران، ۱۹۹۴؛ فو[2] و همکاران، ۲۰۱۶). مقادیر نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای شاخص‌های بارش بررسی‌شده نشان می‌دهد که شاخص فورنیه اصلاح‌شده و شاخص تمرکز بارش در استان می‌توانند به‌عنوان متغیّرهای مکانی با ساختار فضایی مستحکم در نظر گرفته شوند. در حالی که مقدار بارش سالانه از نظر استحکام ساختار فضایی در ردیف متغیّرهای با ساختار فضایی متوسّط قرار دارد. نقشهٔ توزیع فضایی مربوط به متغیّرهای مورد مطالعه که با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شده، در ادامه ارائه شده است (شکل ۴).

بحث

فرسایش خاک، از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. از دیدگاه مدل‌سازی فرسایش خاک، این فرایند، تابعی از عوامل مربوط به فرسایش‌پذیری و فرسایندگی است. فرسایندگی، نشان‌دهندهٔ میزان قدرت عوامل فرسایش‌زا در جدا کردن و انتقال ذرّات خاک است. آگاهی دقیق از میزان کمّی فرسایندگی باران در یک منطقه به‌عنوان گام اوّلیّه در مدیریت پایدار خاک و آب محسوب می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فورنیه اصلاح‌شده در کلّ دورهٔ آماری دارای میانگین ۵۳/۴۱ میلی‌متر است. نتایج بیانگر این است که استان آذربایجان غربی، از لحاظ شاخص فرسایندگی در کلاس فرسایندگی ناچیز قرار دارد؛ همچنین مشاهده شد که بخش عمده‌ای از مساحت استان را طبقهٔ فرسایندگی (پتانسیل فرسایش) کم تشکیل می‌دهد. حکیم‌خانی و حکیم‌خانی (۱۳۸۹)، با بررسی شاخص‌های فرسایندگی در استان لرستان، گزارش کردند که در این استان، مقدار شاخص فورنیه اصلاح‌شده در محدودهٔ ۴۸ تا ۱۸۹ میلی‌متر متغیّر بوده و میانگین آن نیز حدود ۹۳ میلی‌متر است که این مقادیر، در مقایسه با مقادیر مشاهده‌شده برای استان آذربایجان غربی (۱۶/۶۶) بیشتر هستند که این اختلاف افزون بر تفاوت در رژیم‌های بارشی دو منطقه، می‌تواند به تفاوت در تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی و طول دورهٔ آماری مربوط باشد.

جدول ۳. نتایج کارایی نقشه‌های تولیدی و پارامترهای مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش‌داده‌شده

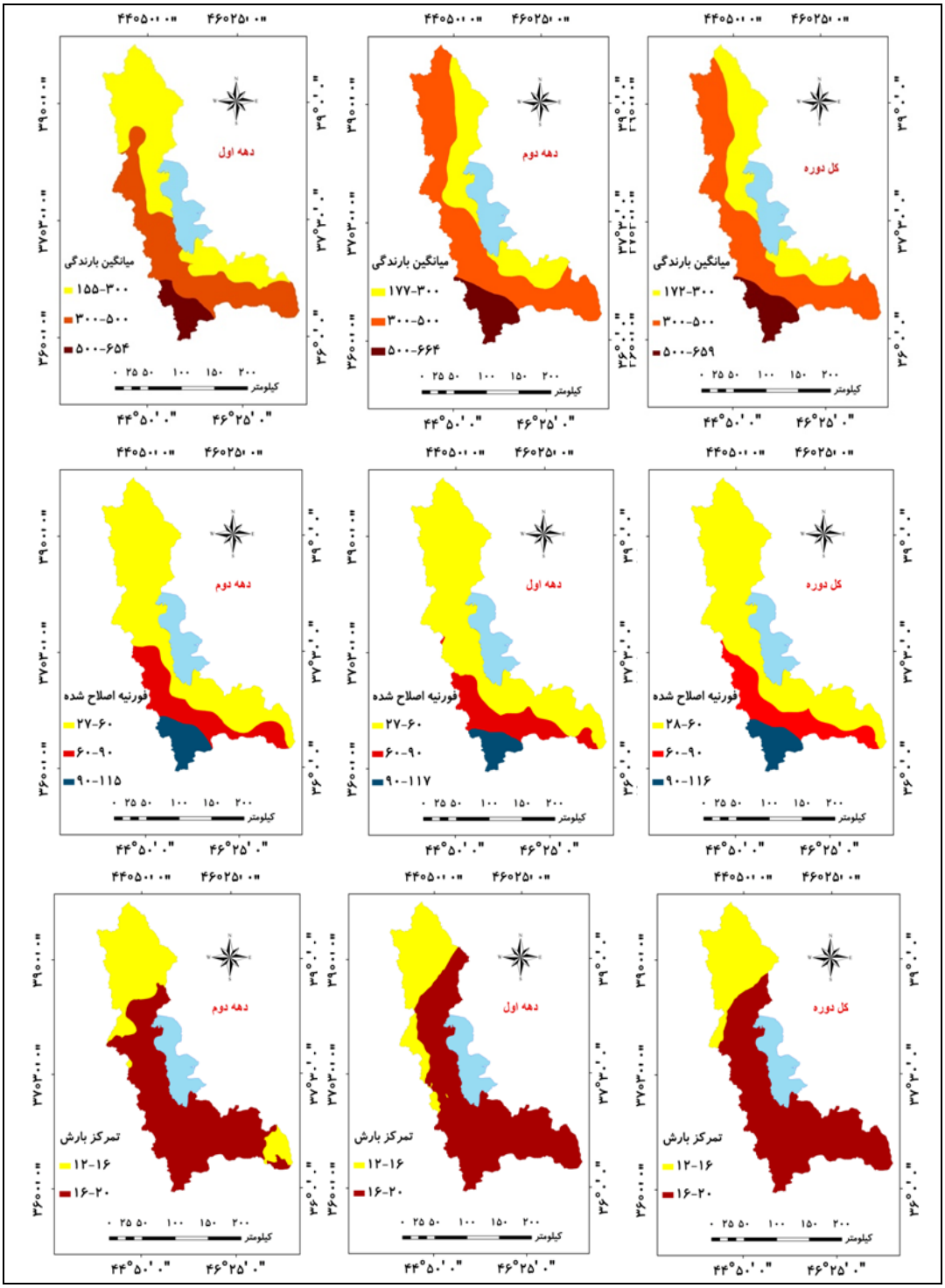
داده‌ها	پارامترهای نیم‌تغییرنما †					ضرایب کارایی نقشه‌ها	
	مدل	C_0	C_0+C	A (km)	$C_0/(C_0+C)$	r^2	MAE ††
بارش (کلّ دوره)	کروی	۳۱۷/۲۷	۶۹۸۸/۰۲	۷۷/۳۹	۴/۵۴	۰/۶۹	۴۷/۵۹
بارش (دههٔ اوّل)	نمایی	۲۱	۸۱۷/۹۸	۱۱۶/۹۵۷	۲/۵	۰/۶۸	۵۰/۰۶
بارش (دههٔ دوّم)	کروی	۵۷۸/۷۹	۷۸۹۴/۵۹	۸۲/۵۶	۷/۳۳	۰/۶۶	۵۲/۱۶
فورنیه اصلاح‌شده (کلّ دوره)	کروی	۴/۷۶	۲۰۱/۳۸	۱۰۶/۸۵	۲/۳۶	۰/۷۶	۷/۳۱
فورنیه اصلاح‌شده (دههٔ اوّل)	کروی	۱۶/۸۸	۲۲۳/۹۱	۱۰۳/۷۵	۷/۵۳	۰/۶۷	۹/۱
فورنیه اصلاح‌شده (دههٔ دوّم)	نمایی	۳/۳۱	۲۳۴/۵۳	۱۷۴/۸	۱/۴۱	۰/۷۴	۷/۵۳
شاخص تمرکز بارش (کلّ دوره)	قوسی	۱/۳۴	۳/۱۲	۱۵۸/۷۳	۴۲	۰/۵۷	۱/۱۴
شاخص تمرکز بارش (دههٔ اوّل)	قوسی	۱/۳۷	۲/۸۴	۱۴۰/۳۵	۵۵	۰/۳۹	۱/۲۴
شاخص تمرکز بارش (دههٔ دوّم)	نمایی	۰/۳۱	۳/۰۴	۳۷/۰۸	۱۰/۱۹	۰/۵۵	۱/۵۲

† C_0: اثر قطعه‌ای؛ (C_0+C): آستانه؛ A: شعاع تأثیر؛ نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (٪)؛ †† واحد میانگین قدر مطلق خطا در مورد شاخص تمرکز بارش بدون بعد و برای بارش و ضریب فورنیه واحد آن میلی‌متر است.

1- Cambardella
2- Fu

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. توزیع مکانی مقادیر کمّی مربوط به شاخص‌های بارش مورد مطالعه در دوره‌های آماری مختلف

در پژوهش یادشده، با توجّه به اینکه هدف، برقراری ارتباط بین شاخص فورنیه اصلاح‌شده و شاخص EI_{30} بـود، ایـن پژوهشگران، تنها از اطّلاعات مربوط به ۱۳ ایستگاه دارای باران‌نگار استفاده کرده‌اند که از این حیث به نظر مـی‌رسـد اطّلاعات این ۱۳ ایستگاه نمی‌تواند معرّف واقعی از شرایط واقعی فرسایندگی در کلّ محدودهٔ استان باشـد. کاویـان و همکاران (۱۳۹۵) نیز با بررسی مقدار شاخص فورنیه اصلاح‌شده در ۱۷ ایستگاه دارای باران‌نگار استان کرمان، دامنـهٔ تغییرات این شاخص را ۹/۲۸-۴۰/۰۴ میلی‌متر گزارش کردند که با توجّه بـه تفـاوت اقلیمـی بسـیار بـارز دو اسـتان

www.SID.ir

Archive of SID

آذربایجان غربی و کرمان، وجود این اختلاف قابل توجّه برای شاخص فورنیه در دو منطقه کاملاً قابل انتظار است.

شاخص تمرکز بارش، عامل مؤثّری در پدیدهٔ فرسایش و بیابان‌زایی است. بارش سنگین، ظرفیت انتقال رسوب را افزایش می‌دهد و بنابراین، به‌طور مستقیم و اثرگذار، پایداری اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (دی لویس[1] و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش برای شاخص تمرکز بارش نشان داد که ۷۲٪ از مجموع ایستگاه‌های مورد مطالعه که حدود ۲۶۶۵۰ کیلومتر مربع از سطح استان را دربر می‌گیرد، با مقادیر میانگین ۱۶/۶۶٪ دارای الگوی بارش به‌صورت فصلی است. از لحاظ تغییرات زمانی، نتایج پهنه‌بندی شاخص تراکم بارش در دو زیربازهٔ ۱۰ ساله تقریباً از الگوی یکسان پیروی می‌کند. خلیلی و همکاران (۱۳۹۵)، با بررسی ۳۴ ایستگاه سینوپتیک در کشور برای دورهٔ آماری ۵۰ ساله نشان دادند که در مقیاس سالانه، بخش بزرگی از جنوب و شرق کشور دارای الگوی بارشی بسیار نامنظم است در نقشهٔ ارائه‌شده توسّط ایشان نیز محدودهٔ استان آذربایجان غربی داری الگوی بارش فصلی و نسبتاً فصلی است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عرض جغرافیایی، دارای بیشترین همبستگی با شاخص‌های مورد بررسی است (شکل ۳ و جدول ۲). با توجّه به نقشهٔ استان (شکل ۱)، گسترش استان در جهت عرض جغرافیایی، بیش از طول جغرافیایی است و در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر که مربوط به مناطق جنگلی سردشت و پیرانشهر است، مقدار بارش و شاخص فرسایندگی فورنیه نیز بیشتر بوده و شرایط فصلی بارش، کمتر خود را نشان می‌دهد در حالی که با حرکت به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر به سمت شمال استان از مقدار بارش و همچنین شاخص فرسایندگی به‌طور تقریباً منظم کاسته شده و شرایط بارش حالت فصلی بیشتری می‌یابد.

بر اساس نقشهٔ پهنه‌بندی‌شده (شکل ۴) مشاهده می‌شود که بخش عمده‌ای از مساحت استان، دارای بارش حدود ۲۷۰ تا ۳۷۰ میلی‌متر در سال است و در بخش‌هایی از ارتفاعات غربی و همچنین جنوب غربی استان مربوط به مناطق سردشت و پیرانشهر مقادیر بارش به بیش از ۵۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. در مقایسهٔ مساحت کلاس‌های بارش برای دهه‌های اوّل و دوّم دورهٔ مورد مطالعه، مشاهده می‌شود که مساحت کلاس‌های با بارش بیشتر در دههٔ دوّم تا حدودی افزایش یافته است. الگوی مکانی شاخص فورنیه نیز تا حدود زیادی دارای مشابهت با الگوی مکانی مقدار بارش کل است که این امر، با توجّه به ارتباط معنی‌دار این دو شاخص ($p < ۰/۰۰۱$ ،$r = ۰/۹۳۴$)، قابل انتظار است. الگوی مکانی شاخص فورنیه اصلاح‌شده بیانگر این است که بخش عمده‌ای از مساحت استان (حدود ۲۶۶۶۳ کیلومتر مربع) دارای مقادیر فرسایندگی کمتر از ۶۰ میلی‌متر است که نشان‌دهندهٔ اندک بودن پتانسیل شاخص فرسایندگی در منطقه است. به‌طور کلّی، مقادیر شاخص فورنیه در مناطق جنوب غربی و غرب استان بیشتر بوده و با حرکت در جهت شمال و شرق به‌طور منظّم کاهش می‌یابد. از نظر مساحت کلاس‌های مربوط به شاخص فورنیه مشاهده شد که مساحت کلاس‌های شاخص فورنیه در کلّ دورهٔ آماری ۲۰ ساله و دههٔ دوّم آماری تقریباً مشابه بوده ولی در دههٔ اوّل، مطالعهٔ مساحت مربوط به کلاس ۶۰ تا ۹۰ حدود ۱۳٪ کاهش و مساحت مربوط به کلاس ۹۰ تا ۱۱۵ حدود ۲۸٪ کاهش را نسبت به دههٔ دوّم نشان می‌دهد.

شاخص تمرکز بارش از نظر آماری فاقد ارتباط معنی‌داری با مقدار بارش ($r=-۰/۱۹$) و شاخص فورنیه ($r= ۰/۱۶$) بود. به همین ترتیب، الگوی توزیع فراوانی آن نیز با دو شاخص یادشده متفاوت بود. به‌طور کلّی، بخش‌های شمالی استان، توزیع نسبتاً فصلی از بارش را نشان می‌دهند؛ در حالی که مناطق جنوبی، توزیع فصلی بارش و در نتیجه احتمال وجود فرسایندگی در مقاطع زمانی مشخّص از سال را از خود نشان می‌دهند. به‌طور کلّی، الگوی توزیع

1- De Luis

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار شاخص تمرکز بارش بیانگر این واقعیّت است که توزیع بارش در منطقه، نسبتاً فصلی و یا فصلی است. این امر، از نظر مدیریت حفاظت خاک و مسائل آبخیزداری اهمّیّت بسزایی دارد؛ چراکه می‌توان با در نظر گرفتن این الگو و تعیین فصول، با حداکثر فرسایندگی اقدام به مدیریت دقیق‌تر حوضه‌های آبخیز نمود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی شاخص‌های مربوط به تمرکز بارش و فرسایندگی باران در سطح استان آذربایجان غربی با استفاده از داده‌های مربوط به ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی صورت گرفت. نتایج کلّی این پژوهش، بیانگر این است که از نظر شاخص فرسایندگی فورنیه و بر اساس کلاس‌های معرّفی‌شده برای آن در منابع، استان آذربایجان غربی دارای فرسایندگی کم و متوسّط است و از نظر الگوی جغرافیایی نیز جنوب غربی استان در محدودهٔ جنگل‌های پیرانشهر و سردشت دارای حداکثر فرسایندگی و مناطق شمال و شرق استان دارای حداقل فرسایندگی هستند. از نظر شاخص تمرکز بارش الگوی بارندگی در استان نسبتاً فصلی و فصلی مشاهده شد که این الگو در مناطق شمالی استان نسبتاً فصلی و در مناطق جنوبی فصلی است. از نظر دورهٔ آماری، میزان بارش و شاخص فورنیه اصلاح‌شده در طول دههٔ دوّم به‌ترتیب ۹ و ۱۰٪ نسبت به دههٔ اوّل افزایش نشان می‌دهند؛ در حالی که تفاوت چندانی بین شاخص تمرکز بارش در دههٔ اوّل و دوّم طول دورهٔ آماری مشاهده نشد. این امر، بیانگر اهمّیّت انتخاب طول دورهٔ آماری مناسب برای مطالعات مربوط به فرسایندگی باران است.

منابع

حکیم‌خانی، شاهرخ؛ حکیم‌خانی، ایرج (۱۳۸۹) تهیّهٔ نقشهٔ فرسایندگی باران برای استان لرستان، **پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)**، (۲۳) ۸۹، صص. ۷۲-۶۲.

حکیم‌خانی، شاهرخ؛ مهدیان، محمدحسین؛ عرب‌خدری، محمود (۱۳۸۷) تهیّهٔ نقشهٔ فرسایندگی باران برای حوضهٔ دریاچهٔ نمک، **منابع طبیعی ایران**، ۶۰ (۳)، صص. ۷۲۶-۷۱۳.

حکیم‌خانی، شاهرخ؛ مهدیان، محمدحسین؛ عرب‌خدری، محمود؛ قربان‌پور، داوود (۱۳۸۴) بررسی فرسایندگی باران در سطح کشور، **سوّمین همایش ملّی فرسایش و رسوب**، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

خلیلی، کیوان؛ ناظری تهرودی، محمد؛ میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ احمدی، فرشاد (۱۳۹۵) بررسی تمرکز زمانی و روند بارش زمستانی ایستگاه‌های مرزی ایران طی نیم‌قرن اخیر، **آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، ۳۰ (۴)، صص. ۱۳۲۱-۱۳۰۹.

شعبانی، محمد (۱۳۹۰) ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تهیّهٔ نقشهٔ فرسایندگی باران استان فارس، **مهندسی و مدیریت آبخیز**، ۳ (۳)، صص. ۱۷۶-۱۶۸.

عساکره، حسین (۱۳۸۷) کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، **جغرافیا و توسعه**، ۶ (۱۲)، صص. ۴۲-۲۵.

کاویان، عطاالله؛ جعفریان، زینب؛ جهانشاهی، افشین؛ گلشن، محمد (۱۳۹۵) نقشه‌بندی فرسایندگی باران در استان کرمان با روش‌های زمین‌آماری، **پژوهش‌های جغرافیای طبیعی**، ۴۸ (۱)، صص. ۶۸-۵۱.

مصفایی، جمال؛ اختصاصی، محمدرضا؛ صالح‌پورجم، امین (۱۳۹۶) بررسی تغییرات فصلی میزان فرسایش با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم، **پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)**، ۳۰ (۱۱۵)، صص. ۴۸-۵۶.

www.SID.ir

Archive of SID

مصفایی، جمال؛ طالبی، علی (۱۳۹۳) نگاهی آماری به وضعیّت فرسایش آبی در ایران، **ترویج و توسعهٔ آبخیزداری**، ۲ (۵)، صص. ۱۸-۹.

نیک‌کامی، داوود؛ مهدیان، محمدحسین (۱۳۹۳) تهیّهٔ نقشهٔ شاخص مناسب فرسایندگی باران کشور، **مهندسی و مدیریت آبخیز**، ۶ (۴)، صص. ۳۷۶-۳۶۴.

Arnoldus, H. M. J. (1980) An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. (Eds.), **Assessment of Erosion**, Chi Chester, New York, pp. 127-132.

Cambardella, C. A., Moorman, A. T., Novak, J. M., Parkin,T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. (1994) Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils, **Soil Science Society of America Journal**, 58 (5), pp. 1501-1511.

De Luis, M., Gonz´alez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., Longares, L. A. (2011) Precipitation Concentration Changes in Spain 1946–2005, **Natural Hazards Earth Systems Science**, 11 (5), pp. 1259-1265.

De Santos Loureiro, N., De Azevedo Coutinho, M. (2001) A New Procedure to Estimate the USLE EI_{30} Index, Based on Monthly Rainfall Data and Applied to the Algarve Region, Portugal, **Journal of hydrology**, 250 (1-4), pp. 8-12.

Fu, W., Zhao, K., Zhang, C., Wu, J., Tunney, H. (2016) Outlier Identification of Soil Phosphorus and its Implication for Spatial Structure Modeling, **Precision Agriculture**, 17 (2), pp. 121-135.

Gabriels, D. (2006) Assessing the Modified Fournier Index and the Precipitation Concentration Index for Some European Countries, **Soil Erosion in Europe**, pp. 675-684. DOI: 10.1002/0470859202.ch48

Irvem, A., Topaloglu, F., Uygur, V. (2007) Estimating Spatial Distribution of Soil Loss Over Seyhan River Basin in Turkey, **Hydrology**, 336 (1-2), pp. 30-37.

Kinnell, P. I. (1997) Runoff Ratio as a Factor in the Empirical Modelling of Soil Erosion by Individual Rainstorms, **Soil Research**, 35 (1), pp. 1-4.

Michiels, P., Gabriels, D., Hartmann, R. (1980) Using the Seasonal and Temporal Precipitation Concentration Index for Characterizing the Monthly Rainfall Distribution in Spain, **Catena**, 19 (1), pp. 43-58.

Mingxin, M., Zhenrong, Y., Hao, X. (2008) Study on the Spatial Pattern of Rainfall Erosivity Based on Geostatistical in Hebei Province, China, **Frontiers of Agriculture in China**, 2 (3), pp. 281-289.

Morgan, R. P. C. (2009) **Soil Erosion and Conservation**, John Wiley & Sons, London.

Oliver, J. E. (1980) Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index, **The Professional Geographer**, 32 (3), pp. 300-309.

Shamshad, A., Azhari, M. N., Isa, M. H., Hussin, W. W., Parida, B. P. (2008) Development of an Appropriate Procedure for Estimation of RUSLE EI_{30} Index and Preparation of Erosivity Maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia, **Catena**, 72 (3), pp. 423-32.

Wishmeier, W. H. (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide for Conservation Planning, US Department of Agriculture, **Agriculture Handbook**, No 537.

www.SID.ir