نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۵، زمستان ۹۳

تحلیل فراوانی خشکسالی‌های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر

دریافت مقاله:۹۲/۱۰/۲۹ پذیرش نهایی: ۹۳/۶/۲
صفحات:۴۸-۲۹

فیروز مجرد: دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه[۱]
Email: f_mojarrad@yahoo.com
راضیه خیری: دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه
Email: raziye.khairy@yahoo.com
زهرا نوری: دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه
Email: zahranori934@yahoo.com

چکیده

استعداد ایران برای وقوع خشکسالی با شدت‌های مختلف، ضرورت بررسی این پدیده را با شاخص‌های جدیدتر بیش از پیش روشن می‌سازد. محدودیت مهم شاخص-های موجود این است که قادر به پایش خشکسالی‌ها در مقیاس روزانه نیستند. شاخص خشکسالی مؤثر این نقص را برطرف کرده است. مطالعهٔ حاضر، با هدف تحلیل فراوانی خشکسالی‌های روزانه با شاخص خشکسالی مؤثر در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دورهٔ آماری ۳۰ ساله به‌انجام رسیده است. بر این اساس، فراوانی خشکسالی‌های روزانه در ایستگاه‌های کشور در طی فصول و سال با شاخص خشکسالی مؤثر محاسبه شد. سپس ایستگاه‌های کشور با استفاده از تحلیل خوشه‌ای بر پایهٔ مجموع فراوانی خشکسالی‌های ملایم تا بسیار شدید (رده‌های ۱ الی ۴) به پنج گروه تقسیم گردید و الگوهای فراوانی در هر گروه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که خشکسالی‌های بسیار شدید، به‌جز سه ایستگاه گرگان، زنجان و تربت حیدریه در سایر ایستگاه‌ها رخ نداده است. در مقابل، فراوانی وقوع خشکسالی-های ملایم، متوسط و شدید در کشور، خیلی بیشتر از خشکسالی‌های بسیار شدید و تعداد آنها تقریباً با هم برابر بوده است. در کل کشور در ۵۶ درصد از روزها انواع خشکسالی (ملایم تا بسیار شدید) رخ داده است. بر اساس نقشه‌های خروجی، توزیع فراوانی خشکسالی‌ها در کشور از الگوی جغرافیایی خاصی تبعیت نمی‌کند. لذا می-

[۱]. **نویسنده مسؤول**: کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

توان گفت که انواع خشکسالی در تمام مناطق کشور اتفاق افتاده است. مقادیر کاهشیِ شاخص خشکسالی مؤثر در طول زمان، نشان از گرایش اغلب ایستگاه‌های کشور به‌سمت خشکسالی دارد.

کلیدواژگان: خشکسالی روزانه، فراوانی، شاخص خشکسالی مؤثر، روند، ایران

مقدمه

کشور ایران بر روی کمربند خشکی جهان قرار دارد و با بارندگی معادلِ یک سوم خشکی‌های جهان، کشوری کم‌بارش محسوب می‌شود. در کنار این ویژگی، وقوع خشکسالی‌های شدید و گسترده، اثرات عمیق اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و حتی سیاسی برجای می‌گذارد. وضعیت بارش‌ها در ایران به‌گونه‌ای است که برنامه‌ریزی‌ها و تدابیرِ بخش مدیریت منابع آب بایستی کاملاً هوشمندانه صورت گیرد. نخستین پژوهش‌های انجام شده در زمینهٔ خشکسالی توسط پالمر انجام شده است. "بنا به تعریفِ پالمر، خشکسالی عبارتست از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی. در تعریف وی واژهٔ غیرطبیعی به انحراف یا نوسان منفی شاخص مورد توجه نسبت به شرایط میانگین یا طبیعی اتلاق می‌شود؛ به‌عبارت دیگر دوره‌ای که در آن مقدار رطوبت و یا هر شاخص دیگر نسبت به شرایط منطقه ناهنجاری منفی داشته باشد، به‌عنوان شرایط یا دورهٔ خشکسالی تلقی می‌شود" (فرج‌زادهٔ اصل، ۱۳۸۴: ۹).

با توجه به اهمیت خاص این پدیده، تاکنون تلاش‌های مستمری برای تعیین ویژگی‌های کمّی و کیفی خشکسالی صورت گرفته و در این راستا شاخص‌های متعددی ارائه شده است. از جمله شاخص‌های عددی مورد استفاده برای پایش خشکسالی در ایران و جهان، به‌همراه برخی از مطالعات که از این شاخص‌ها استفاده کرده‌اند، می‌توان به شاخص‌های پالمر[۱] (آسیایی، ۱۳۸۵: ۱۶۷)، دهک‌ها[۲]، درصد بارش نرمال[۳] (محمدیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۷۷)، ناهنجاری بارش[۴] (پیری و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۵)، شاخص خشکسالی بالمه و مولی[۵] (بالمه و مولی، ۱۹۸۰: ۱۱۹۷)، نمرهٔ Z[۶]، نمرهٔ Z چینی[۷]، نمرهٔ Z چینی اصلاح‌شده(Modified China Z Index)

[1] - Palmer Drought Severity Index (PDSI)
[2] - Deciles Index (DI)
[3] - Percent of Normal Index (PNI)
[4] - Rainfall Anomaly Index (RAI)
[5] - Bhalme & Mooley Drought Index (BMDI)
[6] - Z- Score Index (ZSI)
[7] - China Z Index (CZI)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

(ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱: ۱۴۱) و بارش استاندارد شده[1] (بابایی فینی و علیجانی، ۱۳۹۲: ۱) اشاره کرد. تمام این شاخص‌ها سعی در پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در مناطق مورد نظر با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های منطقه دارند. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای در شمال ایران، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران بررسی شد. نتیجهٔ تحقیق نشان داد که شاخص‌های درصد بارش نرمال و دهک‌ها در تمام ایستگاه‌ها روند مشابهی دارند. همچنین منحنی‌های مربوط به شاخص‌های بارش استاندارد شده، شاخص نمرهٔ Z و شاخص نمرهٔ Z چینی در تمام ایستگاه‌ها تقریباً بر هم منطبق بودند و همبستگی بسیار خوبی به صورت دوبه‌دو بین آن‌ها وجود داشت (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۵).

شاخصی که اخیراً وارد ادبیات هوا و اقلیم‌شناسی شده است، شاخص خشکسالی مؤثر[2] است. اولین مطالعهٔ خارجی بر روی این شاخص در منطقهٔ های‌پلینز[3] ایالات متحده به‌انجام رسید. در این مطالعه، شدت و مدت خشکسالی با استفاده از شاخص یادشده، کمّی‌سازی و نقاط قوت آن بررسی گردید (بیون و ویلهایت[4]، ۱۹۹۹: ۲۷۴۷). مطالعهٔ تنش آبی و خشکسالی در حوضهٔ رودخانهٔ بانی[5] در کشور مالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده مورد دیگری بود که نشان داد شاخص بارش استاندارد شده کمبود آب را در دوره‌های زمانی ۱۰ روزه خوب پایش می‌کند، اما نارسایی‌هایی در تخمین کمبود آب حوضه دارد که در نهایت منجر به استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر در مطالعه شد. در حوضهٔ یادشده، سه منطقه به‌عنوان مناطق آسیب‌پذیر مشخص گردید که در آن‌ها فراوانی دوره‌های خشکسالی مبتنی بر روزهای خشکِ متوالی، کاهش می‌یافت؛ اما طول دوره‌ها به واسطهٔ افزایش روزهای خشک، افزایش پیدا می‌کرد (Roudier & Mahe, 2010: 1689).

در ایران مطالعات چندی بر روی شاخص خشکسالی مؤثر انجام گرفته است. در استان تهران تغییرات زمانی و مکانی این شاخص و قابلیت آن برای پایش خشکسالی مطالعه گردید. نتیجهٔ تحقیق نشان داد که براساس شاخص خشکسالی مؤثر در سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ طی ماه‌های آبان تا فروردین در حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد از سطح استان، شرایط خشک و ۲۰ درصد از سطح آن شرایط خشکسالی متوسط داشته است (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴الف: ۶۰). در مطالعهٔ دیگری

[1] - Standardized Precipitation Index (SPI)
[2] - Effective Drought Index (EDI)
[3] - High Plains
[4] - Byun & Wilhite
[5] - Bani

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

در ایران، هفت شاخص هواشناسی از جمله شاخص خشکسالی مؤثر برای ارزیابی خشکسالی‌ها با هم مقایسه شدند. نتایج کار نشان داد که شاخص‌های بارش استاندارد شده، نمرهٔ Z و نمرهٔ Z چینی در پایش خشکسالی‌ها مانند هم عمل می‌کنند؛ اما به‌نظر می‌رسد علی‌رغم اینکه شاخص دهک‌ها تغییرات زمانی و مکانی متناقضی نشان می‌دهد، برای تحلیل وقایع بارشِ یک سال خاص مناسب‌تر است. همچنین بیان گردید که شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده در شناسایی شروع خشکسالی‌ها و تغییرات زمانی و مکانی آنها عملکرد مناسبی دارند (مرید و همکاران[1]، ۲۰۰۶: ۹۷۱). پیش‌بینی خشکسالی‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و نیز سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی در استان تهران نشان داد که شاخص خشکسالی مؤثر در مقایسه با شاخص بارش استاندارد شده در پیش‌بینی الگوهای دو ردهٔ کلی خشک و مرطوب کارایی مناسب‌تری دارد (مرید و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۱۰۳). آنالیز مکانی شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده در استان بوشهر مؤید این نکته بود که برای نمایش تغییرات مکانی خشکسالی‌ها با شاخص بارش استاندارد شده، روش وزن‌دهی عکس فاصله[2]، و برای شاخص خشکسالی مؤثر روش کریجینگ بهترین روش‌ها هستند (مظفری و همکاران[3]، ۲۰۱۱: ۴۷۴).

در مطالعهٔ خشکسالی‌های سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ و ۸۰-۱۳۷۹ استان تهران با استفاده از سه شاخص خشکسالی مؤثر، دهک‌ها و بارش استاندارد شده، این نتیجه حاصل شد که شاخص دهک‌ها نسبت به بارندگی، نوسان شدیدی دارد؛ ضمن آنکه هماهنگی زمانی و مکانی مناسبی بین نتایج حاصل از شاخص دهک‌ها مشاهده نگردید. همچنین شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس ماهانه، واکنش کافی به کمبود بارش‌ها از خود نشان نداد. اما شاخص خشکسالی مؤثر برای شناسایی خشکسالی‌ها مناسب ارزیابی و بین نتایج آن پیوستگی منطقی مشاهده شد (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴ب: ۱۹۷). تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی مؤثر و بارش استاندارد شده در استان تهران نشان داد که شاخص خشکسالی مؤثر نسبت به شاخص بارش استاندارد شده از همبستگی مکانی بهتری برخوردار است. علت این امر وجود حافظه‌ای است که مبیّن بارش‌های گذشته است. همچنین مشخص گردید که در پایش خشکسالی‌ها علاوه بر شاخص خشکسالی، روش‌های تحلیل مکانی مانند روش نواری صاف شده با ضخامت نازک[4] و

[1] - Morid et al.
[2] - Inverse Distance Weighing (IDW)
[3] - Mozafari et al.
[4] - Thin Plate Smoothing Splines (TPSS)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

میانگین متحرک وزنی[1] نیز اهمیت دارد (اختری و همکاران، ۱۳۸۵: ۳۷-۳۵). مقایسهٔ روش‌های هیدرولوژیکی (روش چانگ) و هواشناسی (شاخص خشکسالی مؤثر) در پایش خشکسالی‌های استان تهران نشان داد که روش چانگ علاوه بر اینکه قابلیت پایش مناسب خشکسالی را دارد، از حساسیت بیشتری به کمبود منابع آب تحت شرایط خشکسالی برخوردار است؛ به‌طوری‌که مقایسهٔ دو روش طی سه سالِ آبیِ ۷۸-۱۳۷۷ الی ۸۰-۱۳۷۹ نشان داد که با استفاده از روش چانگ ۳۱/۱ درصد از روزها، و با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر ۳/۷ درصد از روزها دارای شرایط خشکسالی بسیار شدید بودند. بر اساس نتایج این مطالعه، به‌دلیل دخالت مؤلّفه‌هایی مانند ذخیرهٔ آب سدها و آب‌های زیرزمینی، روش‌های هیدرولوژیکی به‌همراه شاخص‌های هواشناسی می‌توانند ترکیب مناسبی در اعلام وضعیت خشکسالی ارائه نمایند که در آن، هم خشکسالیِ ناشی از نزولات جوی و هم ناشی از مصرف آب بالا و سوء مدیریت، از یکدیگر قابل تفکیک باشد (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶: ۳۲۵). در مطالعه‌ای دیگر خشکسالی‌های روزانه در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر بررسی و بیان گردید که جدای از ویژگی‌های اقلیمی منطقه، شاخص یادشده برای شناخت وضعیت خشکسالی در مقیاس روزانه مناسب است. همچنین شاخص منابع آب قابل دسترس، اثرات خشکسالی را به‌عنوان تابعی از افت روزانهٔ حاصل از تأثیر بارندگی بر منابع آب منطقه به وضوح نشان داد (نصرتی و کاظمی، ۱۳۹۰: ۷۹).

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف این تحقیق، تحلیل فراوانی خشکسالی‌های روزانه در ایران با شدت‌های مختلف به‌تفکیک فصل و سال با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر می‌باشد. چنین تفکیکی کمک مؤثری به شناسایی نواحی آسیب‌پذیر در برابر خشکسالی‌ها در بخش‌های مختلف کشور خواهد نمود.

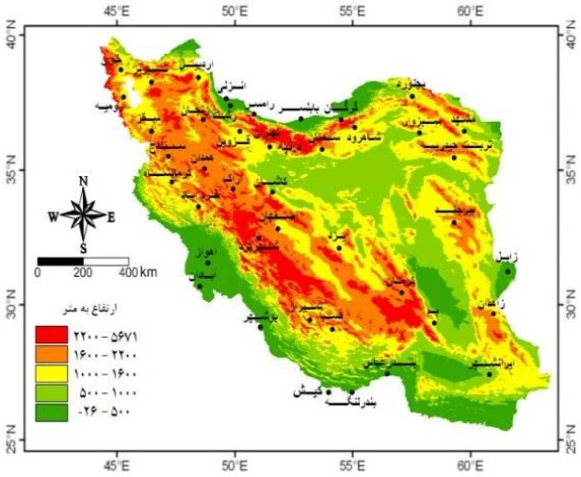
مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای بررسی خشکسالی‌های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر از داده‌های بارش روزانهٔ ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دورهٔ آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۹-۱۹۸۰) استفاده شده است. این تعداد ایستگاه، بر مبنای کامل بودن داده‌ها در دورهٔ آماری یادشده انتخاب شده‌اند؛ به‌نحوی‌که با توجه به ماهیت آمار روزانه، حداقل بازسازی آماری بر روی آنها صورت گیرد. توزیع ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) و نقص‌های آماری داده‌ها در دورهٔ ۳۰ ساله در جدول (۱) نشان داده شده است. نقص‌های آمار روزانه به‌شرح جدول (۱)

[1] - Weighing Moving Average (WMA)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

در مقایسه با کل ۱۰۹۵۰ روزِ دورهٔ آماری در هر ایستگاه (۱۰۹۵۰= ۳۶۵×۳۰) بسیار کم است. این نقص‌ها با استفاده از روش نسبت‌ها (علیزاده، ۱۳۹۱: ۷۱۹-۷۱۶) بازسازی شد. ذکر این نکته ضروری است که ایستگاه ایرانشهر در دو سالِ اولِ دورهٔ آماری، فاقد داده‌های بارش بود، اما به‌دلیل اهمیت خاص این ایستگاه و نیز تعداد کم ایستگاه‌ها در منطقهٔ جنوب‌شرق ایران، به‌ناچار در یک دورهٔ ۲۸ ساله (۲۰۰۹-۱۹۸۲) مد نظر قرارگرفت.



شکل (۱) نقشهٔ موقعیت ایستگاه‌های منتخب در ایران

جدول (۱) نقص‌های آماری ایستگاه‌ها

ردیف	ایستگاه	نقص آماری
۱	اصفهان	۵۸ روز
۲	خرم آباد	۵۷ روز
۳	رشت	۲۸ روز
۴	سنندج	۳۰ روز
۵	شیراز	۳۰ روز
۶	فسا	۳۰ روز
۷	بیرجند	۳۱ روز
۸	سقز	۷ ماه

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

شاخص خشکسالی مؤثر

شاخص‌های قبلی مطالعهٔ خشکسالی دارای معایب زیر هستند: ۱- در تعیین شروع، خاتمه و مشخص‌کردن تنش‌های تجمعی خشکسالی ضعف دارند. ۲- اثرات تجمعی رواناب و تبخیروتعرق را که به‌مرور زمان پدید می‌آیند، به‌طرز مناسب به‌حساب نمی‌آورند. ۳- به‌دلیل استفاده از آمار ماهانه، کارایی محدودی در تشخیص تداوم خشکسالی دارند. ۴- اغلب این شاخص‌ها قادر به تفکیک اثرات خشکسالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی نیستند. اما در شاخص‌های جدید خشکسالی، آمار روزانه بیشتر از آمار ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد (بیون و ویلهایت[1]، ۱۹۹۹: ۲۷۴۷). شاخص خشکسالی مؤثر شاخصی است توانمند که از داده‌های روزانه در تعریف خشکسالی و تخمین کمبود آب بهره می‌برد (رودی و ماهه[2]، ۲۰۱۰: ۱۶۸۹). این شاخص با رفع نقاط ضعف فوق، در تعیین تداوم زمانی و پایش خشکسالی‌ها و تفکیکِ مناسب‌تر رده‌های خشکسالی موفق‌تر عمل می‌کند (بیون و ویلهایت، ۱۹۹۹: ۲۷۴۷). شاخص یادشده در سال ۱۹۹۶ توسط بیون و ویلهایت ارائه شد. این شاخص تابعی از مقادیر «بارش مورد نیاز برای بازگشت به شرایط نرمال»[3] یا به‌عبارت دیگر بازگشت از حالت کمبود تجمعی آب از زمان شروع خشکسالی است (مرید و همکاران، ۲۰۰۶: ۹۷۴).

برای به‌دست آوردن مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر محاسبهٔ کمیت‌های زیر لازم است:

بارش مؤثر[4]

برای نشان دادن کاهش روزانهٔ منابع آب، پارامتری به‌نام بارش مؤثر از طریق رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود:

$$EP = \sum_{n=1}^{i}[(\sum_{m=1}^{n} P_m)/n]$$

رابطه (۱)

که در آن EP بارش مؤثر، i تداوم مجموع و P_m مقدار بارش m روز قبل است.

انحراف بارش مؤثر[5]

عبارت است از انحراف مقادیر بارش مؤثر از مقادیر میانگین بارش مؤثر[6] که با رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

[1] - Byun & Wilhite
[2] - Roudier & Mahe
[3] - one day's Precipitation needed for a Return to Normal conditions (PRN)
[4] - Effective Precipitation (EP)
[5] - Deviation of Effective Precipitation (DEP)
[6] - Mean Effective Precipitation (MEP)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

$$DEP = EP - MEP$$ رابطه (۲)

که در آن DEP انحراف بارش مؤثر و MEP میانگین بارش مؤثر است. مقادیر انحراف بارش مؤثر نشان‌دهندهٔ کمبود یا مازاد منابع آب در یک تاریخ و مکان مشخص است.

بارش مورد نیاز برای بازگشت به شرایط نرمال

مقادیر منفی انحراف بارش مؤثر به‌طور مستقیم می‌تواند به‌صورت بارش یک‌روزهٔ مورد نیاز جهت بازگشت به شرایط نرمال با رابطهٔ (۳) محاسبه شود:

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{n=1}^{j} 1/n}$$ رابطه(۳)

که در آن j اشاره به تداوم واقعی دارد.

شاخص خشکسالی مؤثر

شاخص خشکسالی مؤثر، خشکسالی را به‌صورت روزانه پایش می‌کند و برای استفاده در تمام نقاط جهان مناسب است؛ چراکه مستقل از ویژگی‌های اقلیمی مناطق عمل می‌کند. این شاخص با رابطهٔ (۴) محاسبه می‌شود:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)}$$ رابطه (۴)

که در آن ST(PRN) انحراف استاندارد مقادیر PRN در هر روز است (بیون و ویلهایت، ۱۹۹۹: ۲۷۵۳-۲۷۵۰).

پس از محاسبهٔ مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر با رابطهٔ (۴)، رده‌های خشکسالی و ترسالی در هر ایستگاه در هر روز به‌شرح جدول (۲) تعیین شد. نظر به اینکه مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر با توجه به داده‌های سال قبل محاسبه می‌شود، امکان محاسبهٔ آن برای روزهای اولین سال دورهٔ آماری (سال ۱۹۸۰) وجود نداشت.

جدول (۲) رده‌های شاخص خشکسالی مؤثر (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶: ۳۳۰؛ مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴الف: ۵۴)

	رده شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)		مقدار شاخص خشکسالی مؤثر
۱	خشکسالی بسیار شدید	Extreme Drought	<-۲/۵
۲	خشکسالی شدید	Severe Drought	-۲/۵ تا -۱/۵
۳	خشکسالی متوسط	Moderate Drought	-۱/۵ تا -۰/۷
۴	خشکسالی ملایم	Dry	-۰/۷ تا ۰
۵	مازاد اندک آب	Slight Surplus of Water	۰ تا ۰/۷
۶	مازاد زیاد آب	High Surplus of Water	۰/۷ تا ۱/۵

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

در گام بعد، بر مبنای مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر در جدول (۲) وضعیت هر روز دورهٔ آماری هر ایستگاه از نظر بروز خشکسالی یا ترسالی مشخص و آنگاه فراوانی خشکسالی‌های روزانه در طی فصول و سال برای هر ایستگاه محاسبه گردید. سپس ایستگاه‌های کشور بر پایهٔ مجموع درصد رده‌های خشکسالی ۱ الی ۴ (ملایم تا بسیار شدید) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به‌روش وارد[1] به پنج گروه تقسیم شد تا ویژگی‌های خشکسالی، به‌جای بررسی ایستگاهی، در گروه ایستگاه‌ها مورد تحلیل قرار گیرد. روش وارد در اغلب طبقه‌بندی‌های اقلیمی، به‌عنوان روشی مناسب برای خوشه‌بندی پیشنهاد شده است (اونال و همکاران[2]، ۲۰۰۳: ۱۰۴۵).

در پژوهش حاضر برای پردازش، تعیین فراوانی‌ها، رسم هیستوگرام‌ها و نمودارهای شاخه‌درختی از نرم‌افزارهای SPSS و Minitab، برای رسم نمودارها و انجام برخی از محاسبات از صفحه-گستردهٔ Excel و رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار Surfer استفاده شد.

یافته های پژوهش

نتایج تحلیل فراوانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های روزانه در ایران در مقیاس زمانی سالانه با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر در جدول (۳) ذکر شده است. بر اساس ارقام این جدول، ردهٔ خشکسالی بسیار شدید (۱) به‌جز سه ایستگاه گرگان، زنجان و تربت حیدریه در سایر ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. اما در دیگر رده‌ها درصد فراوانی خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های مختلف متغیر است. همچنین در دورهٔ مورد مطالعه در حدود ۵۶ درصد از روزها در کل کشور انواع خشکسالی (ملایم تا بسیار شدید) رخ داده است. نتایج فراوانی‌های فصلی در جدول (۳) ذکر نشده و به‌جای آن مجموع فراوانی رده‌های مختلف خشکسالی، یعنی مجموع رده‌های خشکسالی ۱ تا ۴ (ملایم تا بسیار شدید) طی فصول در نقشه‌های شکل (۶) ارائه شده است.

[1] - Wards' method
[2] - Unal et al.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

جدول(۳)درصد فراوانی خشکسالی‌های روزانه در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های ایران با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر

ردیف	نام ایستگاه	رده شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)					
		۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱	آبادان	۱۸/۸	۲۶/۵	۲۸/۹	۲۰/۷	۵/۱	۰
۲	اهواز	۲۳/۶	۲۳/۶	۲۶/۹	۲۰/۷	۵/۲	۰
۳	اراک	۲۳/۶	۱۸/۱	۳۱/۹	۲۳/۶	۲/۸	۰
۴	اردبیل	۲۱/۵	۲۲	۳۱	۲۲/۷	۲/۸	۰
۵	بابلسر	۲۳/۹	۲۰/۵	۳۰/۹	۲۰/۸	۳/۹	۰
۶	بم	۲۵/۲	۱۴/۳	۳۱/۷	۲۶/۴	۲/۴	۰
۷	بندرعباس	۱۹/۶	۲۲/۴	۲۷/۲	۳۰/۸	۰	۰
۸	بندر انزلی	۲۱/۵	۲۵/۴	۲۶	۲۳	۴/۱	۰
۹	بندرلنگه	۲۱/۹	۱۹/۱	۳۱/۱	۲۵/۵	۲/۴	۰
۱۰	بیرجند	۶/۲	۱۷/۱	۷۱/۵	۵/۲	۰	۰
۱۱	بجنورد	۲۴	۲۲/۸	۲۵/۸	۲۲/۵	۴/۹	۰
۱۲	بوشهر	۱۷	۲۰/۴	۴۰/۹	۲۱/۷	۰	۰
۱۳	دوشان‌تپه	۲۱/۷	۲۴/۸	۲۶/۸	۲۲/۲	۴/۵	۰
۱۴	اصفهان	۲۷/۴	۱۷/۶	۲۷/۸	۲۳/۶	۳/۶	۰
۱۵	فسا	۲۰/۵	۲۵/۱	۳۰/۶	۲۰/۸	۳	۰
۱۶	قزوین	۲۲/۳	۲۴/۱	۲۷/۸	۲۱/۶	۴/۲	۰
۱۷	گرگان	۲۴	۲۳/۶	۲۷/۷	۱۸/۹	۴/۷	۱/۱
۱۸	همدان	۸/۴	۲۰/۸	۶۴/۳	۶/۵	۰	۰
۱۹	ایرانشهر	۲۴	۱۹/۷	۲۷/۷	۲۲/۲	۶/۴	۰
۲۰	کاشان	۲۳/۷	۱۶/۷	۲۹/۷	۲۷/۴	۲/۵	۰
۲۱	کرمان	۱۹/۹	۲۴/۴	۳۲/۱	۱۸/۴	۵/۲	۰
۲۲	کرمانشاه	۲۱/۸	۲۶	۳۰/۲	۱۵/۴	۶/۶	۰
۲۳	خرم‌آباد	۲۱/۷	۲۳/۹	۲۹/۹	۱۷/۸	۶/۷	۰
۲۴	خوی	۲۳/۱	۲۲/۲	۲۷/۴	۲۳/۸	۳/۵	۰
۲۵	کیش	۲۴/۲	۱۷/۲	۲۸/۸	۲۹/۸	۰	۰
۲۶	مشهد	۲۵/۶	۱۹/۸	۲۷/۷	۲۲/۴	۴/۵	۰
۲۷	ارومیه	۲۲/۴	۲۰/۵	۲۹/۵	۲۴/۵	۳/۱	۰
۲۸	رامسر	۲۵/۳	۲۱/۷	۲۶/۱	۲۱/۸	۵/۱	۰
۲۹	رشت	۲۳/۵	۲۳/۲	۲۷/۷	۲۰/۹	۴/۷	۰

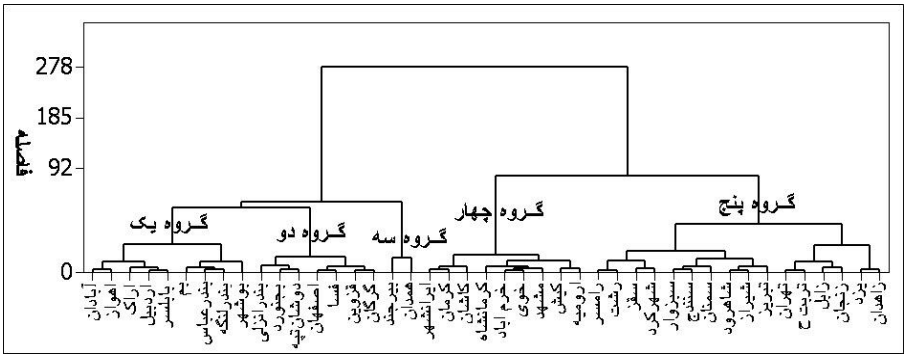
[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

ادامه جدول ۳

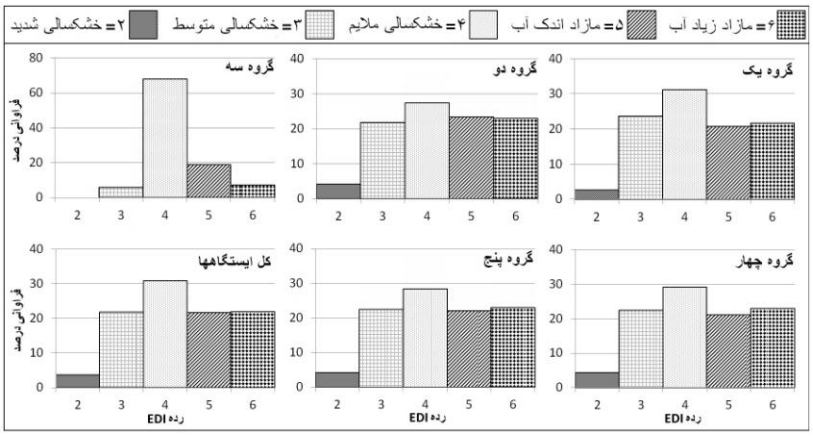
۳۰	سبزوار	۲۶/۵	۱۷/۲	۲۹/۱	۲۱/۸	۵/۴	۰
۳۱	سقز	۲۳	۲۶/۵	۱۹/۱	۲۴/۷	۶/۷	۰
۳۲	سنندج	۲۸/۳	۱۶/۶	۲۹/۱	۲۰/۴	۵/۶	۰
۳۳	سمنان	۱۹/۸	۲۲	۳۲/۳	۲۴/۳	۱/۶	۰
۳۴	شهرکرد	۲۳/۲	۲۶/۶	۲۴	۲۱/۱	۵/۱	۰
۳۵	شاهرود	۲۳/۲	۲۲/۴	۲۸	۲۴/۵	۱/۹	۰
۳۶	شیراز	۲۰/۹	۲۴/۹	۲۸/۳	۲۱	۴/۹	۰
۳۷	تبریز	۲۳/۵	۱۹/۶	۳۲/۱	۲۱/۴	۳/۴	۰
۳۸	تهران	۲۲/۳	۲۵/۶	۲۵/۴	۲۱/۷	۵	۰
۳۹	تربت حیدریه	۲۴/۷	۲۳/۹	۲۲/۱	۲۳/۷	۵/۵	۰/۱
۴۰	یزد	۲۱/۱	۱۷/۳	۳۶/۳	۲۳/۴	۱/۹	۰
۴۱	زابل	۲۰/۳	۲۳/۶	۲۷	۲۸/۵	۰/۶	۰
۴۲	زاهدان	۱۸/۹	۱۸/۳	۴۰/۸	۱۹/۳	۲/۷	۰
۴۳	زنجان	۲۴	۲۲/۴	۲۶/۷	۲۰/۱	۶/۷	۰/۱

شکل(۲) نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌ها را به‌روش وارد بر پایهٔ مجموع درصد رده‌های خشکسالی ۱ الی ۴ (ملایم تا بسیار شدید) نشان می‌دهد. بر اساس این خوشه‌بندی، ایستگاه-های مورد مطالعه در کشور در پنج گروه جای گرفته‌اند. با بررسی قرارگیری ایستگاه‌ها در گروه‌ها و موقعیت آنها در کشور می‌توان دریافت که بین محدوده‌های جغرافیایی ایستگاه‌ها، پیوستگی مکانی وجود ندارد. بنابراین می‌توان گفت که خشکسالی در تمام مناطق کشور اتفاق افتاده است. با استفاده از میانگین فراوانی‌ها در پنج گروه یادشده، هیستوگرام‌های فراوانی خشکسالی‌های روزانه با شدت‌های مختلف رسم گردید (شکل۳). با توجه به هیستوگرام‌ها، در دورهٔ آماری، بیشترین فراوانی روزها مربوط به ردهٔ خشکسالی ملایم (۴) و کمترین آن مربوط به ردهٔ خشکسالی شدید (۲) بوده است. رده‌های ترسالی نیز درصد قابل توجهی از مقادیر را به-خود اختصاص داده‌اند. ایستگاه‌های گروه ۳ تفاوت بارزی با سایر ایستگاه‌ها دارند. در این گروه، درصد فراوانی خشکسالی‌ها در ردهٔ ۴ (خشکسالی ملایم) بسیار بیشتر از سایر رده‌هاست. یکی از دلایل این تفاوت، تعداد کم ایستگاه‌ها در این رده است. لازم به ذکر است که مقیاس محور عمودی در هیستوگرام گروه ۳ با بقیهٔ هیستوگرام‌ها متفاوت است.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]



شکل (۲) نمودار شاخه‌درختی خوشه‌بندی ایستگاه‌ها برمبنای مجموع درصد رده‌های خشکسالی



شکل (۳) هیستوگرام فراوانی خشکسالی‌های روزانه با شدت‌های مختلف در گروه‌های ایستگاه‌ها

به‌منظور بررسی روند خشکسالی در ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر، مقادیر ماهانهٔ شیب خطِ ارقام شاخص خشکسالی در ایستگاه‌ها با استفاده از معادلات رگرسیون خطی محاسبه (جدول۴) و تعدادی از نمودارهای مربوطه رسم گردید (شکل۴). مقادیر منفی جدول (۴) نشان‌دهندهٔ روند افزایشی خشکسالی و مقادیر مثبت نشان‌دهندهٔ روند کاهشی خشکسالی است. بر این اساس در بیشتر ایستگاه‌ها فراوانی خشکسالی‌های روزانه رو به افزایش است. بیشترین روند کاهشی خشکسالی‌های روزانه مربوط به ایستگاه اصفهان و بیشترین روند افزایشی مربوط به ایستگاه سنندج است (جدول۴). مقادیر روند، به‌جز ۱۲ ایستگاه در بقیهٔ ایستگاه‌ها معنی‌دار بوده است. تقریباً تمام ایستگاه‌ها در دورهٔ آماری افت‌وخیزهایی مشابه با نمودارهای منتخب شکل (۴) داشتند.

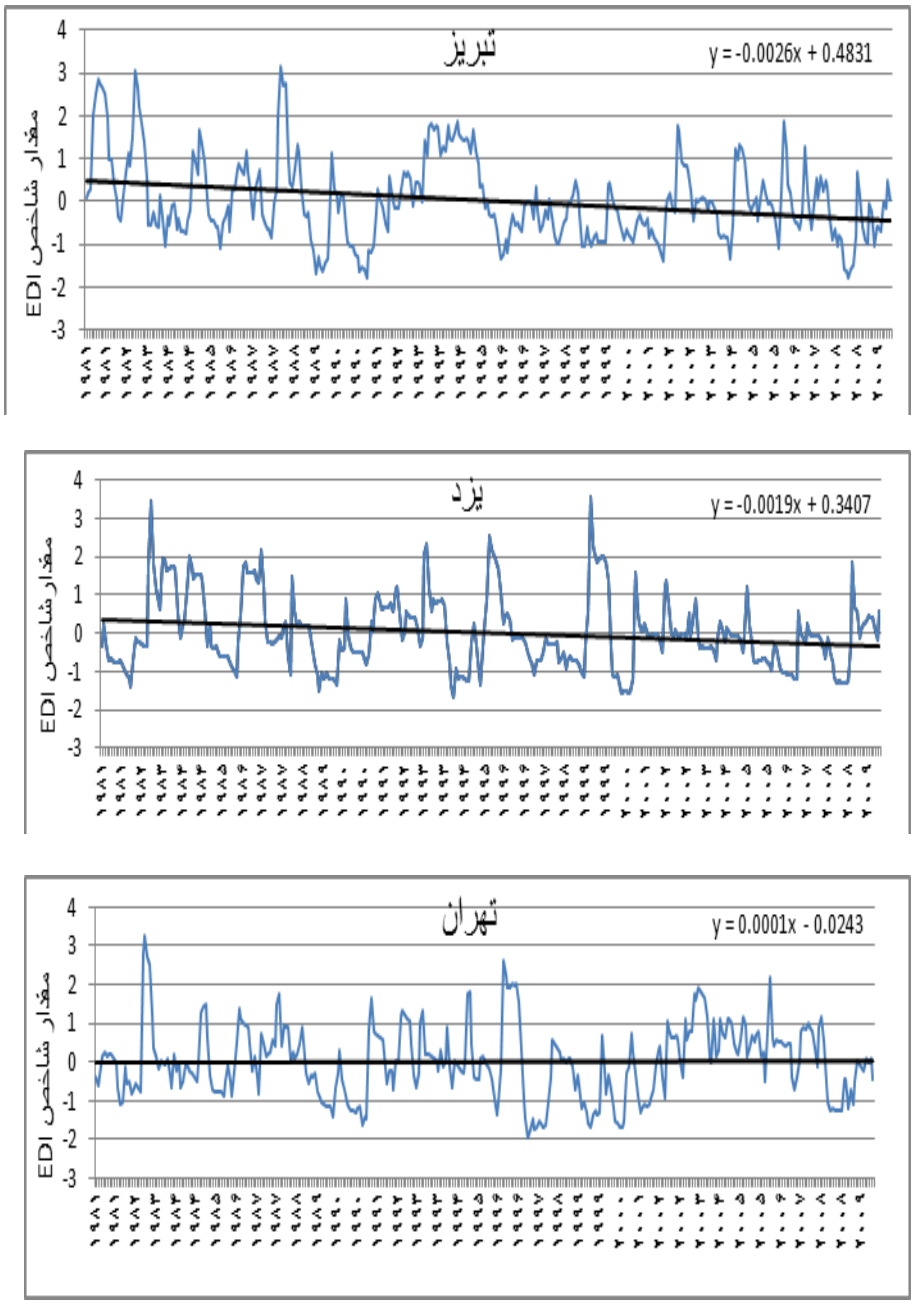
[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

جدول(۴)مقادیر ماهانهٔ شیب خط رگرسیون ارقام شاخص خشکسالی مؤثر در ایستگاه‌ها (۲۰۰۹-۱۹۸۱)

ایستگاه	مقدار روند	سطح معنی‌داری	ایستگاه	مقدار روند	سطح معنی‌داری
اراک	-۰/۰۰۰۴	۰/۴۱۹	رشت	-۰/۰۰۱۲*	۰/۰۲۰
اردبیل	-۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۲	زابل	-۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۲
ارومیه	-۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۰	زاهدان	-۰/۰۰۱۳*	۰/۰۱۲
اصفهان	۰/۰۰۲۹**	۰/۰۰۰	زنجان	-۰/۰۰۱۸**	۰/۰۰۰
اهواز	-۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۰	سبزوار	-۰/۰۰۱۵**	۰/۰۰۳
ایرانشهر	-۰/۰۰۰۵	۰/۴۰۰	سقز	-۰/۰۰۳۷**	۰/۰۰۰
آبادان	-۰/۰۰۰۳	۰/۶۱۷	سمنان	۰/۰۰۰۱	۰/۸۱۷
بابلسر	-۰/۰۰۰۲	۰/۷۳۳	سنندج	-۰/۰۰۴۹**	۰/۰۰۰
بجنورد	۰/۰۰۰۹	۰/۰۷۳	شاهرود	-۰/۰۰۱۳*	۰/۰۱۳
بم	-۰/۰۰۳۱**	۰/۰۰۰	شهرکرد	۰/۰۰۰۲	۰/۶۲۸
شیراز	-۰/۰۰۰۳	۰/۵۰۵	رامسر	۰/۰۰۰۸	۰/۱۰۹
بندرعباس	-۰/۰۰۲۲**	۰/۰۰۰	فسا	-۰/۰۰۰۲	۰/۷۰۲
بندرلنگه	-۰/۰۰۱۴**	۰/۰۱۰	قزوین	-۰/۰۰۲۳**	۰/۰۰۰
بوشهر	۰/۰۰۰۶	۰/۲۵۷	کاشان	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰
بیرجند	-۰/۰۰۳۸**	۰/۰۰۰	کرمان	-۰/۰۰۳۱**	۰/۰۰۰
تبریز	-۰/۰۰۲۶**	۰/۰۰۰	کرمانشاه	-۰/۰۰۳۱**	۰/۰۰۰
تربت ح	-۰/۰۰۱۹**	۰/۰۰۰	کیش	-۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۲
تهران	۰/۰۰۰۱	۰/۷۹۰	گرگان	-۰/۰۰۲۸**	۰/۰۰۰
خرم اباد	-۰/۰۰۱۴**	۰/۰۰۶	مشهد	-۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰
خوی	-۰/۰۰۳۳**	۰/۰۰۰	همدان	-۰/۰۰۱۱*	۰/۰۴۲
دوشان ت	-۰/۰۰۰۵	۰/۳۵۷	یزد	-۰/۰۰۱۹**	۰/۰۰۰
بندر انزلی	-۰/۰۰۱۴**	۰/۰۰۴			

**معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ *معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

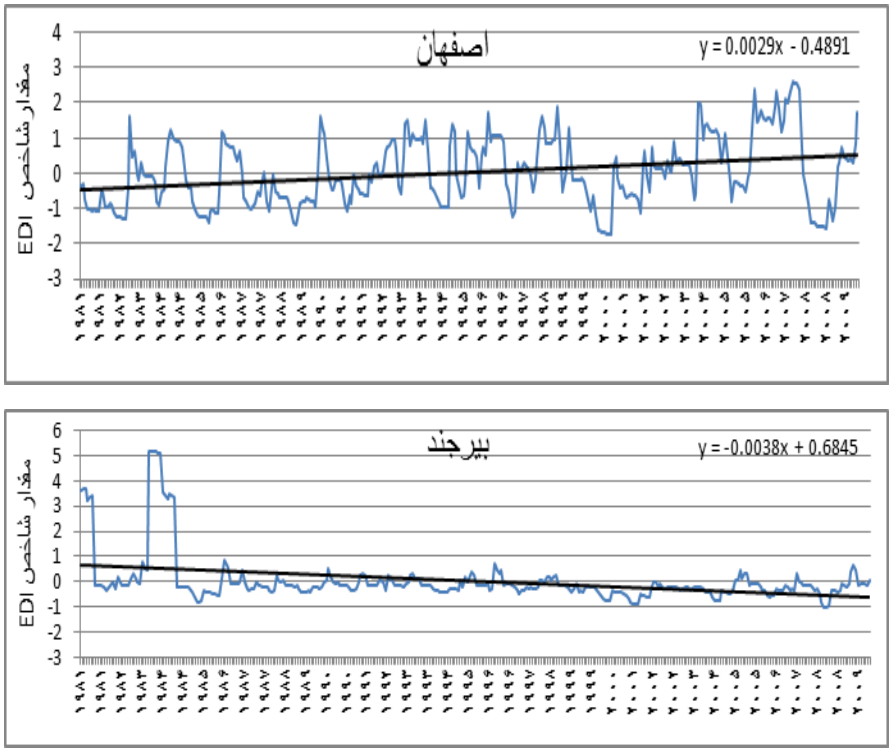
[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]



شکل (۴) نمودارهای مقادیر ماهانهٔ شاخص خشکسالی مؤثر در ایستگاه‌های منتخب

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

ادامه شکل ۴

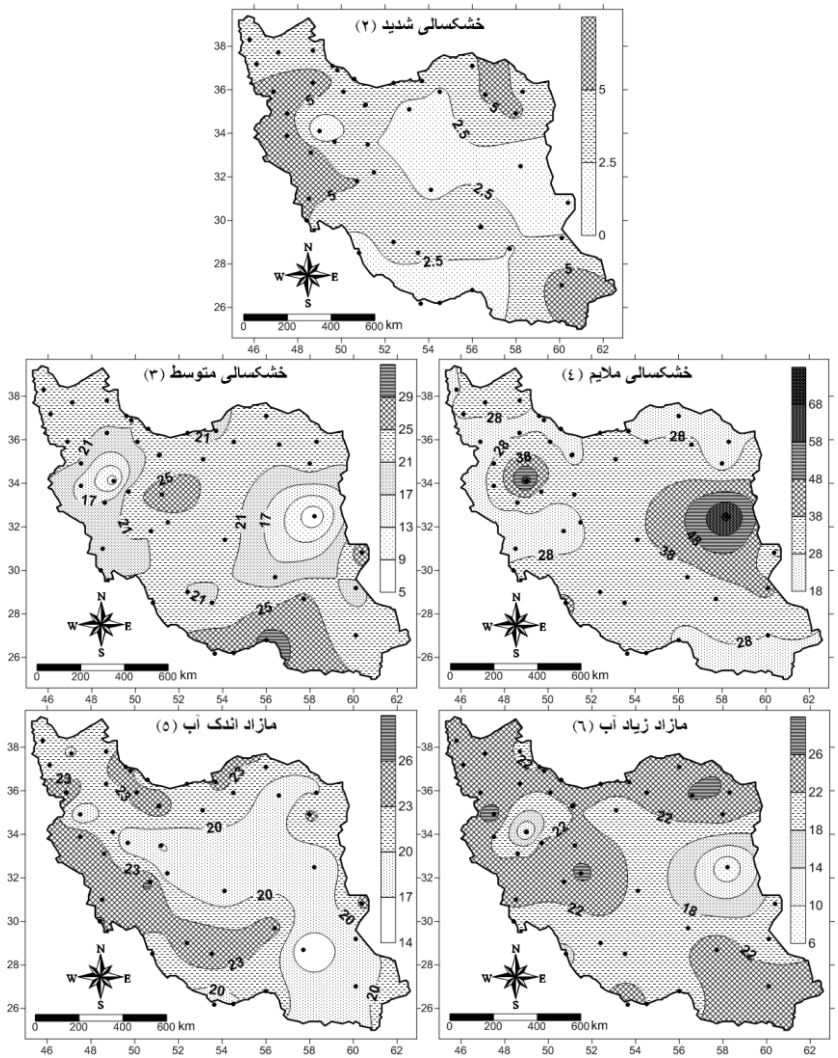


تحلیل منطقه‌ای فراوانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های روزانه

توزیع جغرافیایی درصد فراوانی روزهای توأم با خشکسالی یا ترسالی به‌تفکیک شدت در نقشه‌های شکل (۵)، که با استفاده از روش کریجینگ رسم شده‌اند، نشان داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها، خشکسالی‌های شدید در غرب، خشکسالی‌های ملایم در شرق و خشکسالی-های متوسط در جنوب و مرکز کشور بیشتر اتفاق افتاده است. بدین‌ترتیب به‌نظر نمی‌رسد توزیع فراوانی خشکسالی‌ها در کشور از الگوی جغرافیایی خاصی تبعیت کند و لذا می‌توان گفت که انواع خشکسالی در تمام مناطق کشور اتفاق افتاده است. در واقع الگوهای خروجی توزیع فراوانی در نقشه‌ها، با مناطق بارشی و یا نواحی آب و هوایی ایران مطابقت زیادی ندارند. لذا با استفاده از این شاخص نمی‌توان بین وقوع خشکسالی‌ها از یک سو و عوامل محلی همچون ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی و یا نواحی بارشی ایران از سوی دیگر ارتباط خاصی برقرار

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

نمود. در تأیید این مطلب، هیچ‌کدام از ضرایب همبستگی محاسبه شده بین مقادیر عرض و طول جغرافیایی ایستگاه‌ها از یک سو و فراوانی‌های خشکسالی روزانه از سوی دیگر معنی‌دار نبودند (ضرایب نشان داده نشده‌اند). همین مطلب در مورد ترسالی‌ها هم صدق می‌کرد.

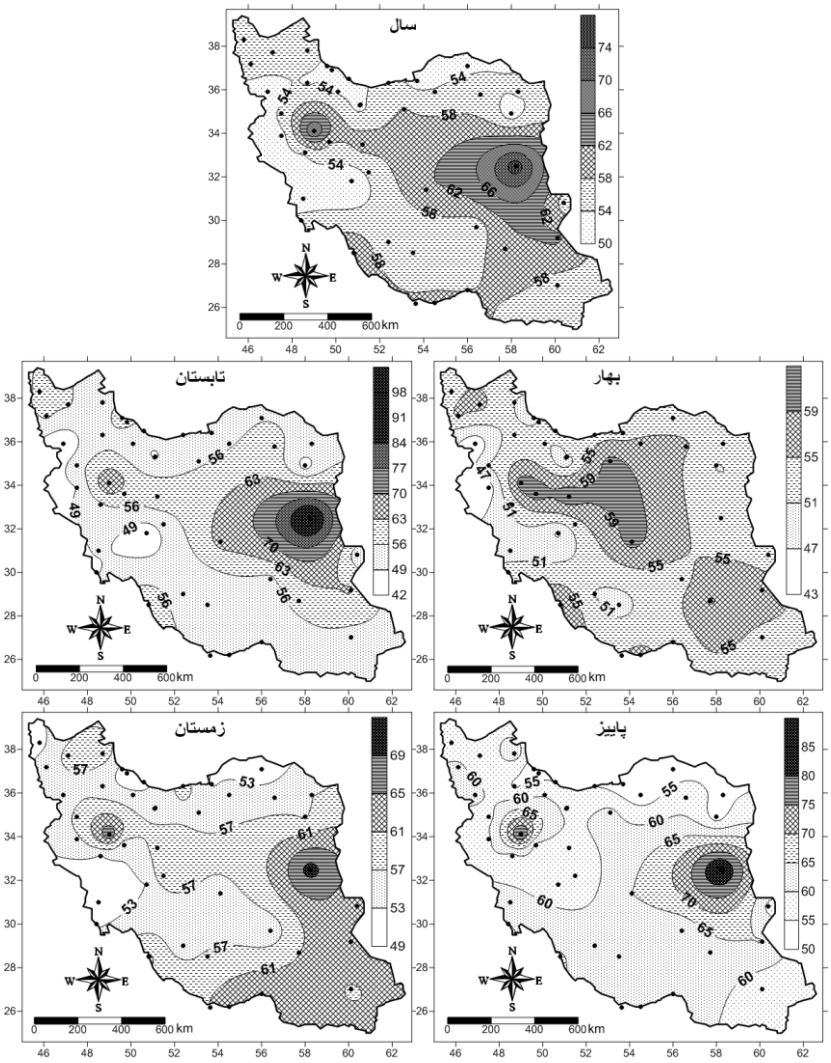


شکل (۵) درصد فراوانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های روزانه به‌تفکیک رده‌های شاخص خشکسالی مؤثر (۱۹۸۱-۲۰۰۹)

درصد فراوانی خشکسالی‌های روزانه (مجموع رده‌های ۱ الی ۴) با استفاده از روش کریجینگ در نقشه‌های شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر چهار فصل و

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

نیز در طی سال، بیشترین درصد خشکسالی‌ها در قسمت‌های مرکزی و شرقی کشور رخ داده است. اما در فصل بهار این وضعیت به مرکز کشور گرایش پیدا می‌کند. بیشترین درصد فراوانی خشکسالی‌ها در بین فصول و نیز سال، متعلق به شرق کشور در فصل تابستان به‌میزان ۹۸ درصد است. کمترین درصد نیز با حدود ۴۲ درصد به همین فصل اختصاص دارد. بنابراین فصل تابستان نسبت به سایر فصول از نظر وقوع خشکسالی وضعیت متغیرتری دارد.



شکل (۶) درصد فراوانی خشکسالی‌های روزانه (مجموع رده‌های ۱ تا ۴) به تفکیک فصول و سال بر اساس شاخص خشکسالی مؤثر (۲۰۰۹-۱۹۸۱)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

نتیجه‌گیری

پایش خشکسالی و مطالعهٔ توزیع فراوانی آن یکی از موضوعات بسیار مهم در آب‌وهواشناسی است که اطلاع از کمّ و کیف آن می‌تواند در ارائه راهکارهای مقابله با خشکسالی مفید واقع شود. گرچه خشکسالی قبلاً با شاخص‌های کمّیِ مختلف مطالعه شده است، اما محدودیت مهم همهٔ آنها این است که نمی‌توانند خشکسالی را در محدودهٔ زمانی روزانه پایش کنند. در این راستا هدف تحقیق حاضر، بررسی فراوانی خشکسالی‌های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر به‌عنوان شاخصی که کمتر مورد توجه مطالعات جغرافیایی بوده است، می‌باشد. نقطهٔ قوت این شاخص، روزمحور بودن آن است که امکان بررسی و پایش دقیق‌تر خشکسالی‌ها را در محدوده‌های زمانی کوتاه‌تر فراهم می‌سازد. همچنین از دیگر ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن، امکان توسعهٔ کاربرد آن به بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی با دخالت دادن اثرات تجمعی رواناب و تبخیروتعرق در آینده است. معدود مطالعاتی که به‌منظور پایش خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر در داخل و خارج از کشور انجام شده است، حداکثر به چند ایستگاه یا چند سالِ منتخب از دورهٔ آماری و عمدتاً سال‌هایی که خشکسالی شدید داشته‌اند، محدود می‌شود و تصویر مناسبی از وضعیت سایر سال‌ها ارائه نمی‌دهد؛ از این-رو محقق در ارائهٔ الگو و ترسیم چهرهٔ خشکسالی در آینده دچار مشکل می‌شود. در تحقیق حاضر فراوانی وقوع خشکسالی‌های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک منتخب کشور در یک دورهٔ ۳۰ ساله از دیدگاه جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داد که خشکسالی‌های بسیار شدید در کشور به‌ندرت رخ می‌دهد؛ اما توزیع رخداد سایر خشکسالی‌ها متعادل‌تر است. مقایسهٔ درصدهای به‌دست آمده از این تحقیق با تحقیق بابایی فینی و علیجانی (۱۳۹۲: ۱) در زمینهٔ بررسی خشکسالی‌های ایران با شاخص بارش استاندارد شده در بازهٔ زمانی ۱۲ ماهه، حکایت از همخوانی زیاد درصدهای خشکسالی-های ملایم، شدید و بسیار شدید در هر دوست. اما درصد خشکسالی‌های متوسط در تحقیق حاضر، خیلی بیشتر از تحقیق آنان است. بیشترین درصد خشکسالی‌ها در این تحقیق در قسمت‌های مرکزی و شرقی کشور رخ داده است. از نظر روند، در اغلب ایستگاه‌های منطقه، فراوانی خشکسالی‌های روزانه رو به افزایش است. به‌نظر می‌رسد در مطالعات آتی، پایش روزانهٔ خشکسالی‌ها در تمام سال‌های دورهٔ آماری، و نیز در طول دورهٔ بارشی در مناطق مختلف اقلیمی کشور از ضروریات مهم پژوهشی باشد. ضمن آنکه توسعهٔ این شاخص به‌منظور کاربرد در مطالعات منابع آب سطحی و زیرزمینی به سودمندی آن خواهد افزود.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

منابع و ماخذ

۱. اختری، روح‌انگیز، محمدحسین مهدیان و سعید مرید (۱۳۸۵). **تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب ایران**، سال دوم، شمارهٔ ۳، صص۳۸-۲۷.

۲. آسیایی، مهدی (۱۳۸۵). **پایش خشکسالی در مشهد**، جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ هفتم، صص۱۸۶-۱۶۷.

۳. بابایی فینی، ام‌السلمه و بهلول علیجانی (۱۳۹۲). **تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵ ، شمارهٔ ۳، صص۱۲-۱.

۴. پیری، حلیمه، محبوبه عباس زاده، وحید راهداری و سعید ملکی (۱۳۹۲). **ارزیابی تطبیقی چهارنمایهٔ خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعهٔ موردی استان سیستان و بلوچستان)**، مجلهٔ مهندسی منابع آب، سال ششم، صص۳۶-۲۵.

۵. علیزاده، امین (۱۳۹۱). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ سی‌وچهارم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۹۲۷ ص.

۶. فرجزادهٔ اصل، منوچهر (۱۳۸۴). **خشکسالی از مفهوم تا راهکار**، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ اول، ۱۱۱ص.

۷. کریمی، ولی‌الله، محمود حبیب‌نژادِ روشن و علی‌جان آبکار (۱۳۹۰). **بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران**، فصلنامهٔ علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شمارهٔ ۵، صص۲۵-۱۵.

۸. محمدیان، آزاده، منصوره کوهی، آرمان آدینه‌بیگی، سیدجواد رسولی و بهاره بذرافشان (۱۳۸۹). **مقایسهٔ پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، DI و PNI و پهنه‌بندی آن‌ها (مطالعهٔ موردی: استان خراسان شمالی)**، مجلهٔ پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شمارهٔ اول، صص۱۸۴-۱۷۷.

۹. مرید، سعید و شهلا پایمزد (۱۳۸۶). **مقایسهٔ روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانهٔ خشکسالی، مطالعهٔ موردی دورهٔ خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران**، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شمارهٔ ۴۲ (ب)، صص۳۳۳-۳۲۵.

۱۰. مقدسی، مهنوش، سعید مرید، هوشنگ قائمی و جمال محمدولیِ سامانی (۱۳۸۴الف). **پایش روزانهٔ خشکسالی در استان تهران**، مجلهٔ علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شمارهٔ ۱، صص۶۲-۵۱.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]

۱۱. مقدسی، مهنوش، شهلا پایمزد و سعید مرید (۱۳۸۴ب). **پایش مکانی خشکسالی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰-۱۳۷۹ استان تهران با استفاده از شاخص‌های DI، SPI، EDI و سیستم اطلاعات جغرافیایی**، مدرس علوم انسانی، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱، صص۲۱۵-۱۹۷.

۱۲. ناصرزاده، محمدحسین و اسماعیل احمدی (۱۳۹۱). **بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال دوازدهم، شمارهٔ ۲۷، صص۱۶۲-۱۴۱.

۱۳. نصرتی، کاظم و یونس کاظمی (۱۳۹۰). **پایش روزانهٔ خشکسالی و منابع آب در اقلیم‌های مختلف ایران**، نشریهٔ مرتع و آبخیزداری، مجلهٔ منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۴ شمارهٔ ۱، صص۹۴-۷۹.

Bhalme, H. N., Mooley, D. A., (1980). ***Large-Scale Drought/Floods and Monsoon Circulation.*** Mon. Wea. Rev. 108: 1197–1211.

Byun, H. R., Wilhite, D. A., (1999). ***Objective Quantification of Drought Severity and Duration.*** Journal of Climate. 12: 2747-2756.

Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K., (2007). ***Drought Forecasting Using Artificial Neural Networks and Time Series of Drought Indices***. Int. J. Climatol. 27: 2103–2111.

Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M., (2006). ***Comparison of Seven Meteorological Indices for Drought Monitoring in Iran***. Int. J. Climatol. 26: 971–985.

Mozafari, G. A., Khosravi, Y., Abbasi, E., Tavakoli, F., (2011). ***Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices***. World Applied Sciences, 15 (4): 474-482.

Roudier, P., Mahe, G., (2010). ***Study of Water Stress and Droughts with Indicators Using Daily Data on the Bani River (Niger Basin, Mali)***. Int. J. Climatol. 30: 1689–1705.

Unal, Y., Kindap, T., Karaca, M., (2003). ***Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis***. Int. J. Climatol., 23: 1045–1055.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-04-27]