مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸/ ص ۳۱۵-۳۰۱
DOI: 10.22059/jhsci.2020.290757.511

رفتارشناسی در سیستم‌های آب‌وهوایی؛ با تأکید بر جابه‌جایی پرارتفاع جنب حاره و تأثیر آن بر وقوع مخاطرات خشکسالی*

ندا مجیدی راد (nedamajidirad@gmail.com)
دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی، تهران
بهلول علیجانی**
استاد آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی، تهران
ابراهیم فتاحی (ebfat2002@yahoo.com)
دانشیار آب‌وهواشناسی، پژوهشکدهٔ هواشناسی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۵)

چکیده

سیستم‌های آب‌وهوایی، به‌دلیل نشان دادن رفتار تصادفی در سال‌های مختلف، سیستم‌هایی پیچیده و در عین‌حال سازمان‌یافته به شمار می‌روند، در این زمینه، سیستم پرارتفاع جنب‌حاره با جابه‌جایی در محل قرارگیری خود در سال‌های مختلف، وقایع محیطی گاه منظم و گاه تصادفی (خشکسالی یا ترسالی و ...) را در یک منطقه به وجود می‌آورد. این وقایع محیطی، در سطوح مختلفی از تعادل، آستانه و مخاطرات جای می‌گیرند. در این نوشتار در پاسخ به این موضوع، یعنی شناسایی رفتار سیستم‌های پرارتفاع جنب‌حاره از تعادل تا مخاطرات، تلاش شد در قالب تفکری سیستمی، این روند شناسایی و ارزیابی شود. در رفتارشناسی سیستم‌های آب‌وهوایی، برهم‌کنش مطالعات کمّی و کیفی ضروری است. بدین منظور روش تحقیق در این مطالعه از دو بخش اصلی تشکیل می‌شود: در روش تحقیق آماری، داده‌های دریافت‌شدهٔ سطح فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در طی دورهٔ آماری ۲۰۱۸-۱۹۴۸ و داده‌های بارش ماهانهٔ ۸۴ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی، دریافت و تحلیل شد. در گام بعد نتایج آماری به‌دست‌آمده از سیستم پرارتفاع، براساس مفاهیم هشت‌گانهٔ تعادل، آستانه‌ها یا فرین، مخاطرات و بلایای محیطی ارزیابی شد و در نهایت شیوهٔ مدیریتی مخاطرات خشکسالی بررسی شد. نتایج نشان داد که در طی دورهٔ زمانی پژوهش، بیرونی‌ترین پربند تأثیرگذار بر ایران به‌عنوان معرف گسترش حد شمالی پرارتفاع جنب‌حاره، از چندین سطح تعادل به‌ویژه تعادل ایستا، یکنواخت لحظه‌ای، دینامیک و فراپایدار پیروی کرده و در برخی سال‌ها با اثر آستانه‌ای یا فرین مواجه شده است. این فرین‌ها می‌تواند بیانگر تهدیدی مبنی بر شروع مخاطرات محیطی (خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید) باشد که در صورت رفتارشناسی آن و به‌کارگیری شیوه‌های مدیریت فعال می‌توان آسیب‌های احتمالی (بر محیط، سلامت و دارایی‌های انسان) ناشی از مخاطرات و بلایای محیطی را کاهش داد. بنابراین می‌توان گفت، ترکیب دیدگاه کمّی و کیفی می‌تواند به‌عنوان روشی کاربردی در عرصهٔ مدیریت محیط و پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها، تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: پرارتفاع جنب‌حاره، خشکسالی، سیستم آب‌وهوایی، مخاطرات محیطی، مدیریت محیط.

---

* این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری ندا مجیدی راد با عنوان اثر جابه‌جایی پرفشار جنب‌حاره‌ای در تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی‌های ایران، در دانشگاه خوارزمی به راهنمایی بهلول علیجانی است.

** نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۱۳۰۴۵۴۱ Email: alijani@khu.ac.ir

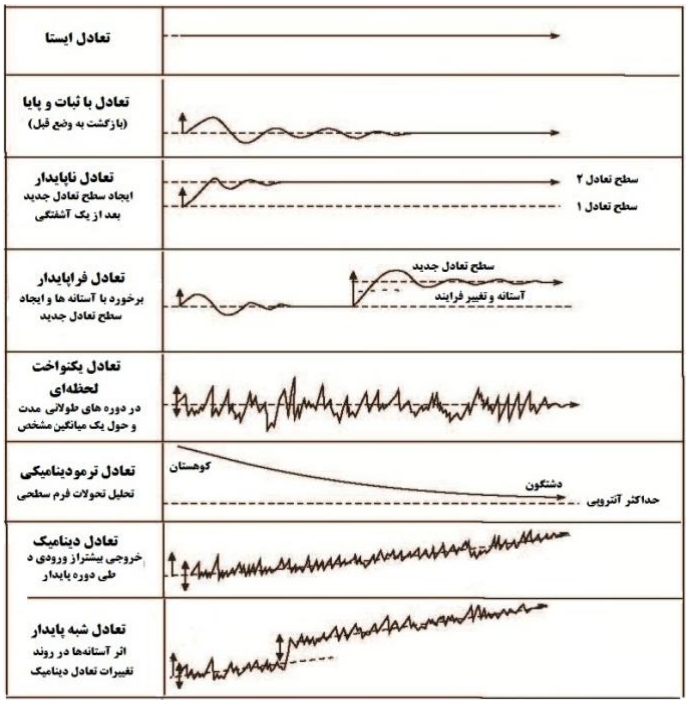
مقدمه

تغییرات در سیستم‌های آب‌وهوایی، از چالش‌برانگیزترین پدیده‌های محیطی به‌شمار می‌رود. این پدیده ویژگی‌های محیطی از قبیل مقدار بارش، خشکسالی، جابه‌جا شدن زبانه‌های پرارتفاع و ... را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ممکن است موجبات برهم‌ریختگی نظم آنها را فراهم آورد [۲۵]. خشکسالی یک پدیدهٔ اقلیمی تکرارشونده در سیستم‌های اقلیمی است که اثرهای آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود [۲۴]. چراکه خشکسالی‌ها از کاهش غیرمنتظرهٔ بارش در مدتی معین حکایت دارد [۱۶]. ویژگی خشکسالی‌ها به مدت، استمرار، شدت و وسعت منطقهٔ تحت تأثیر بستگی دارد [۱۷] که در صورت مدیریت نشدن، به مخاطره و بی‌نظمی‌های محیطی تبدیل می‌شود [۱۹]. از سوی دیگر درجات مختلف خشکسالی در سطوح مختلفی به وقوع می‌پیوندد [۱۱].

در این زمینه تحقیقاتی صورت گرفته است. دیان و همکاران به‌کمک تحلیل گسترش کمربند حاره‌ای در مناطق گرمسیری ناشی از تغییر اقلیم، اثرهایی مانند جریان رودباد و آهنگ‌های توفان و جابه‌جایی در الگوهای بارش را مشاهده کردند [۲۸]. سوکارنی و همکاران روند افزایشی پرارتفاع جنب‌حاره را در شمال آمریکای جنوبی تأیید کردند [۲۹]. مالایا و همکاران نشان دادند که افزایش شدت خشکسالی و تکرار آن، برای سواحل جنوبی هندوستان، بیشترین ضعف اقتصادی را به‌همراه دارد [۲۵]. بابایی فینی و علیجانی بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های بسیار شدید را در غرب، شرق و جنوب شرق ارزیابی کردند [۲]. عساکره و همکاران دریافتند که پرارتفاع جنب‌حاره به‌صورت زبانه‌ای از طریق پرارتفاع عربستان و از سمت جنوب باختر وارد ایران شده و سبب تغییر اقلیم می‌شود [۱۱]. علیجانی و همکاران [۱۳] رابطهٔ متقابل دما و ارتفاع جو را به‌دلیل افزایش ارتفاع هسته اثبات کردند.

با توجه به ارتباط میان تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها، موضوعاتی همچون شناخت رفتار و پیچیدگی سیستم‌های اقلیمی یا عملکرد فعالیت‌های انسانی، در بروز آشفتگی و دامن زدن به پیچیدگی سیستم و... مواردی است که با ادراک مرز تغییرات، در سیستم‌ها میسر خواهد شد، زیرا ممکن است در صورت درک نشدن آن، منابع محیطی، از روال عادی و تعادل خود خارج شود و به‌صورت مخاطره جلوه کند [۱۲]. بنابراین می‌توان گفت شناسایی رفتار این سیستم‌ها در موضوعاتی چون جابه‌جایی مرز پرارتفاع جنب‌حاره یا وقوع خشکسالی، ضرورت برهم‌کنش مطالعات کمّی و کیفی را ضروری می‌سازد. در این عرصه، ازآنجا که یک پژوهشگر خوب، برای پژوهش صحیح و منطقی باید بر سه علم جغرافیا، فلسفه و روش‌شناسی مسلط باشد [۱۳]،

به‌طور کلی سیستم‌ها از انعطاف‌پذیری زیادی در برابر تغییرات بیرونی و درونی برخوردارند [۱۰]. این سیستم‌ها برحسب پیچیدگی رفتار و عملکرد، به سیستم‌های قطعی، تصادفی و پیچیدهٔ سازمان‌یافته طبقه‌بندی می‌شوند [۱۵]. به‌دلیل این رفتارها عدم قطعیتی در سیستم اقلیمی وجود دارد که نشان می‌دهد با وجود شناسایی ساختار و عملکرد سیستم‌ها، باز نمی‌توان به‌دقت، دربارهٔ واکنش یک سیستم اطمینان حاصل کرد. با توجه به پیچیدگی رفتاری سیستم‌های اقلیمی، تعادل و آستانه‌ها می‌توانند هماهنگی کاملی میان متغیرهای داخلی (خشکسالی) با شرایط خارجی (پرارتفاع جنب‌حاره) را به وجود آورد. تعادل به‌طور کلی حالتی از سیستم است که دارای پسخوراند منفی میان اجزای آن است [۸] و قابلیت پیش‌بینی و مدیریت بهینه را فراهم می‌سازد [۲۱]. برای درک و پیش‌بینی تعادل، طبقه‌بندی انواع تعادل در سیستم‌ها از جمله سیستم‌های آب‌وهوایی نیاز است که در هشت نوع مختلف طبقه‌بندی می‌شود [۲۳] (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱. طبقه‌بندی تعادل‌های هشت‌گانه برمبنای نظر چورلی و کندی [۲۲] به نقل از چارلتون [۲۱].

جدول ۱. طبقه‌بندی انواع تعادل و ویژگی‌های آن در سیستم‌های محیطی

نوع تعادل	ویژگی‌ها
تعادل ایستا	در یک دورهٔ زمانی، تغییرپذیری چندانی در سیستم روی نمی‌دهد و سیستم به‌نسبت ثابت است [۲۳].
تعادل باثبات و پایا	سیستم همواره حول یک تعادل میانگین مشخص، در نوسان است [۱۸].
تعادل ناپایدار(پایاسازی)	آشفتگی کوچک درون یک سیستم به حرکت به‌سمت تعادل جدید منجر می‌شود [۲۶].
تعادل فراپایدار	یک سیستم با آستانه‌هایی روبه‌رو می‌شود و در نتیجه آن را با حالت جدیدی روبه‌رو می‌کند [۱۸].
تعادل یکنواخت لحظه‌ای	سیستم حول مقدار متوسط ثابتی در نوسان است که ناشی از عمل متقابل چرخهٔ پسخوراند در سیستم است [۴].
تعادل ترمودینامیک	برخی سیستم‌ها به بیشترین آنتروپی گرایش دارند [۲۶].
تعادل دینامیک	سیستم‌ها با نوسان‌های متعادل، پیرامون یک میانگین، با جهتی مشخص تغییر و حرکت می‌کنند [۱۸].
تعادل شبه‌پایدار	به اثر آستانه‌ها در یک سیستم اشاره دارد؛ یعنی اگر تعادل دینامیک با یک آستانه برخورد کند، حالت سیستم تغییر خواهد کرد و نوسان‌ها، حول میانگین جدیدی به وجود خواهد آمد [۱۸].

آستانه‌ها نیز به‌عنوان گزینهٔ دیگر در پیچیدگی سیستم‌های اقلیمی معرف شرایطی است که یک فرایند درصدد رساندن سیستم به تعادل جدید یا مخاطرات است که این شرایط، از ناحیه‌ای به ناحیهٔ دیگر در رابطه با ویژگی‌های محلی و نحوهٔ ترکیب عوامل با یکدیگر متفاوت است که خود می‌تواند شرایط تعادل را از حالت یکنواخت به حالت‌های دیگر تغییر دهد [۷]. آستانه‌ها را می‌توان در دانش اقلیم‌شناسی تحت عنوان فرین‌ها یاد کرد که معرف لحظه‌ای است که یک سیستم به عامل بیرونی مانند بروز تغییرات اقلیمی یا فعالیت‌های انسانی واکنش نشان می‌دهد [۳]. به‌طور کلی آستانه‌ها جداکنندهٔ حالت‌های متفاوت یک سیستم از یکدیگرند [۲۶]. اگرچه مطالعات آماری و تصاویر ماهواره‌ای در تعدیل درک بهتر از این سیستم‌ها، نقش مهمی دارد. ولی ارزیابی جامع از واکنش‌های سیستم‌ها نیازمند مطالعهٔ آستانه‌ها است [۲۹]، به‌طوری که درک تحول سیستم‌های اقلیمی با تعیین آستانه‌ها در ارتباط است (بی‌نظمی در گردش عمومی جو) [۱۹]. آستانه‌ها را از منظر دیگر می‌توان در دو بخش اصلی مطالعه کرد [۹]: الف) آستانهٔ تغییر (تغییر حالت یک فرایند تعادلی به فرایند تعادلی دیگر)؛ ب) آستانهٔ زیان (به‌دلیل مداخلات انسانی موجب تغییر یک فرایند تعادلی به مخاطره‌زا می‌شود). با توجه به تعریف مخاطرات طبیعی می‌توان گفت این فرایند به‌نوعی مفاهیم هشدار پیش از خسارت را معنا

می‌کند [۶]. از سوی دیگر مخاطرات محیط ممکن است تدریجی و ناگهانی باشد [۱۰]؛ اما در عمل تفکیک مخاطرات محیطی کار بسیار پیچیده‌ای است، زیرا مخاطرات محیطی، مؤلفه‌های طبیعی و انسانی را همزمان در خود دارند [۱]. در این نوشتار با هدف شناسایی مرز تغییرات در سیستم‌های اقلیمی از تعادل تا مخاطرات کوشیده‌ایم با تفکری سیستمی این روند را شناسایی و ارزیابی کنیم. در این زمینه به‌عنوان مطالعهٔ موردی، دربارهٔ رفتارشناسی اثرگذاری جابه‌جایی سیستم پرارتفاع جنب‌حاره بر وقوع و تشدید خشکسالی و تحقیق دربارهٔ شیوه‌های مدیریتی مخاطرات آن، بحث شده است.

روش تحقیق

در این مطالعه در گام اول برای بررسی وضعیت تغییرات زمانی و مکانی پشتهٔ جنب‌حاره، آشکارسازی موقعیت، شناسایی حد شمالی آن و تأثیرات آن بر خشکسالی‌های ایران منطقهٔ مطالعه در محدودهٔ عرض جغرافیایی ۰ تا ۴۵ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۰ تا ۷۰ درجهٔ شرقی انتخاب شد. سپس به استخراج داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه دادهٔ مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی در یک دورهٔ ۷۱ ساله با تفکیک افقی ۲/۵ درجه در طی سال‌های ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸ پرداخته شد. انتخاب این سطح به این دلیل است که بیشترین انقلابات جوی در این تراز اتفاق افتاده و بیشترین جرم جو در این تراز بوده است [۱۴]. سپس داده‌های خروجی فشار برای تطبیق بین داده‌ها و صحت بیشتر نمایش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار گردس ترسیم و تحلیل شد. در گام بعد برای تشکیل پایگاه داده به‌منظور ترسیم نقشه و نمودار از داده‌های استخراج‌شده، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار panoply داده‌های فشار ژئوپتانسیل طی مراحلی به فرمت استاندارد برای تحلیل تبدیل شد تا براساس آن روند تغییرات زمانی و مکانی پشتهٔ جنب‌حاره مشخص شود (هرچه منحنی میزان مرکزی سیستم پرارتفاع جنب‌حاره ارتفاع بیشتری داشته باشد، معرف شدت پرارتفاع جنب‌حاره است) [۵]. سطح تحت پوشش شمال‌سو و شرق‌سو (تعداد شبکه‌هایی که در زیر یک پربند هم‌ارتفاع ۵۸۴ ژئوپتانسیل و بالاتر از آن قرار دارند نشانهٔ منطقهٔ سطح پوشش این سیستم پرارتفاع هستند. هرچه تعداد شبکه‌های زیر پوشش سطح این پرارتفاع بیشتر باشد، شاخص سطح بیشتر بوده و مساحت بیشتری از منطقهٔ پژوهش تحت سیطرهٔ پرارتفاع جنب‌حاره است. پربند تأثیرگذار که شامل بیرونی‌ترین منحنی میزان پرارتفاع مؤثر بر ایران با قدرت بیشتر از ۵۸۴ هکتوپاسکال است، در ماه‌های گرم سال، مورد بررسی کمّی قرار گرفت. همچنین به‌دلیل استیلای بیرونی‌ترین پربند بسته در چهار ماه ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر روی محدودهٔ

سرزمینی ایران، این محدودهٔ زمانی برای تحلیل و تفسیر انتخاب شد. در مرحلهٔ بعد با تحلیل داده‌های خروجی فشار و تطابق آن با نقشه‌های سینوپتیک و همچنین خروجی نرم‌افزار گردس و تبدیل داده‌های فشار به نمودارهای اقلیمی، برای مطالعهٔ دقیق‌تر، دورهٔ آماری سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۴۸ به دو دوره (دورهٔ اول ۱۹۸۲-۱۹۴۸ و دورهٔ دوم ۲۰۱۸-۱۹۸۲) تقسیم شد تا براساس آن روند تشدید گرمایش جهانی و خشکسالی با دیدگاه کمّی- کیفی بررسی شود. از این‌رو داده‌های بارشی ۸۴ ایستگاه هواشناسی ایران در طی دورهٔ مطالعاتی ۳۱ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۷)، با استفاده از شاخص SPI (از جامع‌ترین و در عین‌حال ساده‌ترین روش‌های بررسی خشکسالی و ترسالی) بررسی شد [۵].

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI [۵]

درجهٔ خشکسالی	ارزش SPI	درجهٔ ترسالی	ارزش SPI
خشکسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹ -	ترسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
خشکسالی شدید	۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	ترسالی شدید	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
خشکسالی حاد	بیشتر از ۲-	ترسالی حاد	بیشتر از ۲

در انتها برای اثبات ارتباط بین میزان روند حرکت و رفتارشناسی پربند پرارتفاع با تغییرات خشکسالی، تحلیل کیفی اطلاعات به‌دست‌آمده از سطح انواع تعادل، آستانه و مخاطرات صورت گرفت.

بحث و یافته‌ها

بخش اول: رفتارشناسی اثرهای جابه‌جایی پرارتفاع جنب‌حاره بر وقوع خشکسالی

بررسی و مقایسهٔ میانگین حرکت شمال‌سوی بیرونی‌ترین پربند بستهٔ تأثیرگذار بر ایران که در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر براساس جدول ۳ در دو دورهٔ مطالعاتی محاسبه شده است، نشان می‌دهد در همهٔ ماه‌های گرم، میانگین ارتفاعی بیرونی‌ترین پربند از ۵۸۴۰ بیشتر بوده است و این ارتفاع جدید خود مبنای محاسبات قرار گرفت.

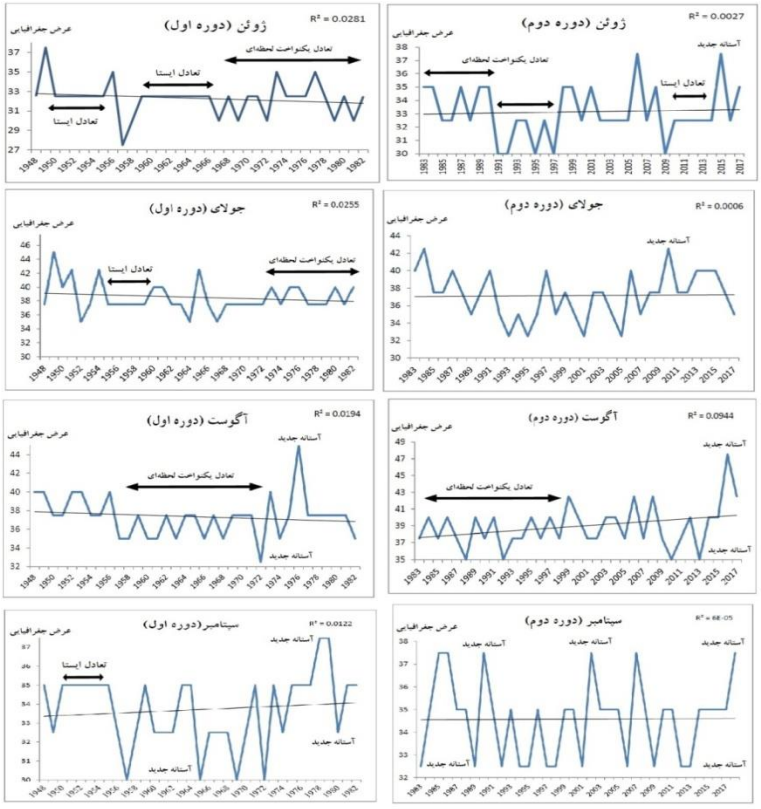
جدول ۳. میانگین ارتفاعی بیرونی‌ترین پربند (منبع: نگارندگان)

دورهٔ	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	دورهٔ	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر
اول	۵۸۵۰	۵۸۵۰	۵۸۵۰	۵۸۵۰	دوم	۵۸۷۰	۵۸۶۰	۵۸۷۰	۵۸۶۰

جدول ۴. مقایسهٔ بازهٔ گسترش و قدرت ارتفاعی بیرونی‌ترین پربند سیستم پرارتفاع جنب‌حاره (منبع: نگارندگان)

ماه‌ها	اختلاف عرض جغرافیایی	دامنهٔ	بیشترین دامنهٔ گسترش	قدرت ارتفاعی
جون (ژوئن)	۲/۸۵	۲/۵	۰	۱۳/۴۱
جولای (ژوئیه)	۱/۳۲	۲/۵	۲/۵	۱۳/۰۸۵
اوت (آگوست)	۱/۵۷	۲/۵	۲/۵	۱۶/۹۱
سپتامبر	۰/۷۸۵	۲/۵	۰	۱۶/۱۶

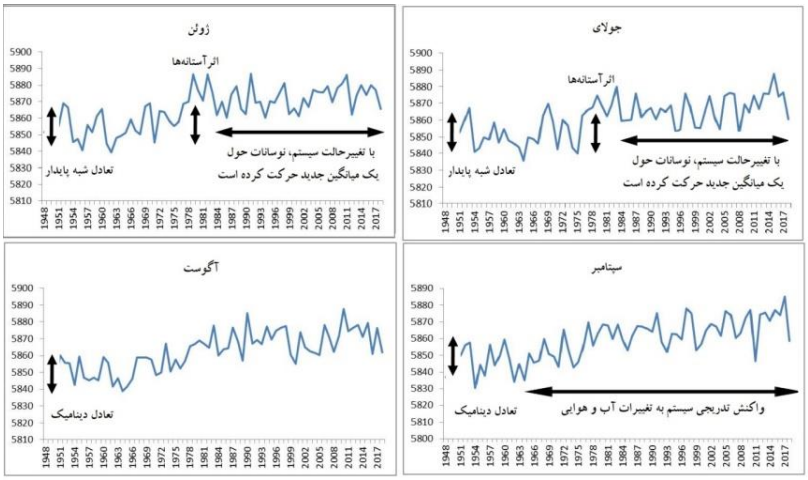
بر این اساس مطابق با جدول‌های ۳ و ۴ و شکل زیر می‌توان شدت تغییرات را بررسی کرد. در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر، جابه‌جایی در عرض‌های جغرافیایی مختلف، دامنهٔ گسترش (شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین عرض جغرافیایی تحت تأثیر در دو دوره)، پایین‌ترین عرض جغرافیایی با عدد ارتفاعی متفاوت پربند در هر ماه گرم (که اختلاف بین جنوبی‌ترین نقطهٔ قرارگیری پربند در دورهٔ دوم نسبت به دورهٔ اول) و بالاترین عرض جغرافیایی (اختلاف بین شمالی‌ترین نقطهٔ قرارگیری پربند در دورهٔ دوم نسبت به دورهٔ اول) و قدرت ارتفاعی (اختلاف بین میانگین ارتفاعی پربندها در دورهٔ دوم نسبت به دورهٔ اول)، روند مثبت و افزایشی داشته است و بیشترین روند صعودی به‌سمت عرض‌های بالا در ماه‌های آگوست و جولای دیده می‌شود. اختلاف قدرت ارتفاعی پربند در همهٔ ماه‌ها از جولای تا آگوست، روند افزایشی داشته و افزایش ارتفاع را ثبت کرده است. با مقایسهٔ خروجی‌های محاسباتی دو دورهٔ مطالعاتی (۱۹۸۲-۱۹۴۸ و ۲۰۱۸-۱۹۸۳) مشخص شد که پایین‌ترین عرض قرارگیری پربند در دورهٔ دوم، ۲/۵ درجه حرکت شمال‌سو را نشان می‌دهد. همچنین در دو ماه جولای و آگوست بالاترین عرض قرارگیری این پربند ۲/۵ درجه، حرکت شمال‌سو داشته است و از نظر قدرت ارتفاعی در تمام چهار ماه گرم سال دورهٔ دوم، افزایش قدرت ارتفاعی را به‌خصوص در ماه آگوست با ۹۱/۱۶ متر نشان می‌دهد. در هر چهار ماه گرم سال، به عرض جغرافیایی قرارگیری پربند افزوده شده است (جدول ۴). با مشاهدهٔ نمودارهای مربوط به حرکت شمال‌سوی بیرونی‌ترین پربند پرارتفاع جنب‌حاره در دو دورهٔ گرم سال می‌توان انواعی از ترکیب تعادل، آستانه و مخاطرات را مشاهده کرد. در رفتارشناسی این سیستم‌ها این موارد قابل برداشت است: مطابق با شکل زیر در دو دورهٔ زمانی ۱۹۵۵-۱۹۵۰ و ۱۹۶۶-۱۹۵۹ در ماه ژوئن، بیشترین تعادل ایستا مشاهده شد.



شکل ۲. مقایسهٔ حرکت شمال‌سوی بیرونی‌ترین پربند پرارتفاع جنب حاره در دو دورهٔ مطالعاتی

بنابراین تعادل ایستا در دورهٔ اول، بیشتر قابل ردیابی است که این موضوع بیانگر ثبوت دوره‌ای بیشتر در این زمان است. در این روند تعادل باثبات و پایا و تعادل ناپایدار دیده نمی‌شود، اما سطح تعادل فراپایدار مشاهده می‌شود؛ با این تفاوت که در این سطح جابه‌جایی پربند در صورت شمال‌سو شدن تا حدودی به سطح تعادل پیشین باز می‌گردد، نکتهٔ شایان ذکر دیگر مربوط به اثر آستانه‌هاست که این روند در بعضی سال‌های دورهٔ دوم، با آستانه‌های جدیدی مواجه شده است (آگوست ۲۰۱۶، سپتامبر ۲۰۱۷ و ...). به‌طوری که قرارگیری پربند بیرونی تأثیرگذار بر محدودهٔ تحقیق در دورهٔ دوم مطالعاتی بسیار متغیر بوده و از سطح تعادل در مواردی خارج شده است. همچنین تعادل یکنواخت لحظه‌ای با کمترین نوسان در سال‌های مختلف مشاهده می‌شود. (دورهٔ اول آگوست سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۵۷ و...) که این نوسان‌ها بیانگر اثرهای تغییرات اقلیم بر پرارتفاع جنب‌حاره است.

در گام بعد قدرت ارتفاعی پربندها بررسی شد. با توجه به نمودارهای خروجی می‌توان اثرهای تعادل دینامیک و شبه‌پایدار را در چهار ماه گرم سال مشاهده کرد، به‌طوری که تعادل دینامیک در روندهای موجود ماه‌های آگوست و سپتامبر قابل تشخیص بوده و قدرت ارتفاعی پربند در جهتی مشخص رو به افزایش است، اما در تعادل شبه‌پایدار در روند فوق با اثر آستانه‌ها مواجه می‌شود. به‌عنوان مثال در ماه‌های ژوئن و جولای، تعادل شبه‌پایدار و اثر آستانهٔ جدید با وضوح بیشتری آشکار شده است. به‌طور کلی این افزایش ارتفاع، شواهدی مبنی بر گرمایش جهانی و شدت گرفتن درجات خشکسالی از نرمال به سمت شدید (مخاطرات) است (شکل ۳).

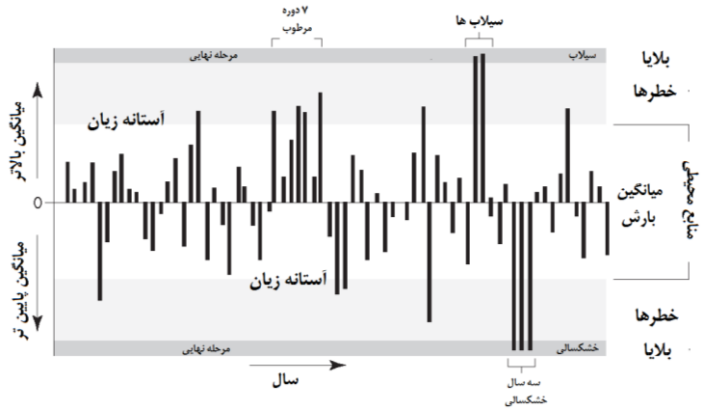


شکل ۳. نمودار افزایش قدرت ارتفاعی بیرونی‌ترین پربند پرارتفاع جنب‌حاره در دورهٔ مطالعاتی ۲۰۱۸-۱۹۴۸

بخش دوم: مرزبندی تعادل، آستانه، مخاطرات و بلایا در وقوع خشکسالی

با توجه به مباحث مطرح‌شده در زمینهٔ تعادل، آستانه زیان و مخاطرات محیطی، شناخت پدیده و ویژگی پایداری سیستم‌های جوی یا خاصیت انعطاف‌پذیری سیستم تا حدی مهم است که هر فعالیت یا اقدامی که بدون شناخت اثر فعالیت بر پایداری سیستم، صورت پذیرد، عملاً نوعی ناپایداری سیستمی را به‌دنبال خواهد داشت. به‌طور کلی هر اقدامی برای کاهش خطر، کم‌هزینه‌تر از اقداماتی است که برای بهبود وضعیت بعد از خطر صورت می‌گیرد، چراکه پیش‌بینی و پیش‌گیری، نتایج مطلوب‌تری را به‌همراه دارد. مقاوم‌سازی و پایداری ساختاری کاهش مخاطرات بر این نکته تأکید دارد که این اقدامات از ابتدا باید در راستای پایداری محیط

باشد تا آثار سوء مخاطرات کاهش یابد و هزینه‌ها کمتر شود [۲۰]. مطابق شکل ۴، یک سیستم ممکن است در شرایط مختلفی، تحت تأثیر تغییرات محیط (شامل تغییر اقلیمی، مدیریت انسانی و...) قرار گیرد. در مرحلهٔ اول سیستم‌ها در صورت حالت تعادلی (به‌عنوان مثال در روند میانگین بارش)، به‌عنوان منابع محیطی در دسترس سیستم‌های کاربردی انسانی قرار خواهد گرفت که می‌توان آن را با عنوان پایداری محیط تعریف کرد. در مرحلهٔ دوم با عنوان آستانه‌های بحرانی، وضعیت سیستم در مرز تعادل و مخاطرات قرار خواهد گرفت که هشداری برای جابه‌جایی مرز منابع محیطی تا مخاطرات خواهد بود. در مرحلهٔ مخاطرات محیطی، تغییرات محیط، ناسازگاری سیستم‌های طبیعی و سیستم‌های انسانی را به‌دنبال خواهد داشت. در آخرین مرحله یا بلایای محیطی یعنی روی دادن وقایعی همچون سیلاب‌های مخرب (پل‌دختر، آق‌قلا و... در بهار ۱۳۹۸)، خشکسالی‌های اجتماعی- اقتصادی و ... رخ خواهد داد و برآورد خسارات ناشی از آن شایان توجه خواهد بود.



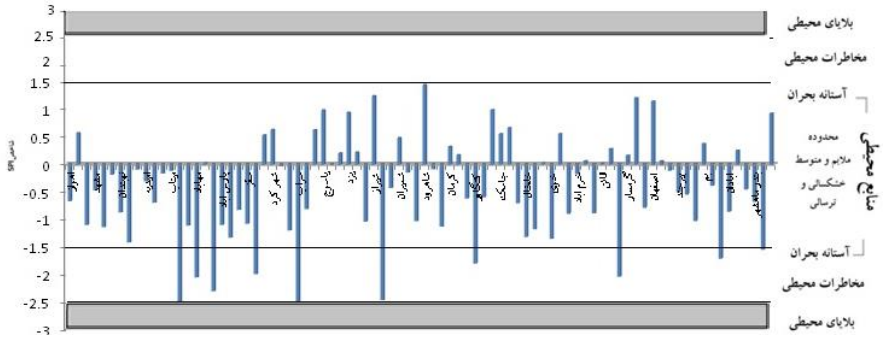
شکل ۴. حالت میانگین بارش به‌عنوان مبنا، مرحلهٔ آستانه زیان، مرحلهٔ خطر و بلایا به‌عنوان مرحلهٔ نهایی [۳۸].

بر این اساس برای تشخیص تغییرات محیطی، با مطالعات صورت‌گرفته در ایستگاه‌های منطقه و جدول خروجی حاصل از محاسبات SPI شاهد افزایش روند زمانی خشکسالی‌ها بودیم. بدین صورت که حدود ۵۰ درصد ایستگاه‌ها شدیدترین خشکسالی‌ها را بعد از سال ۲۰۰۰ تجربه کرده‌اند. همچنین بیشترین کاهش بارش‌ها در طی دورهٔ مطالعاتی مربوط به غرب ایران بوده است. به‌عنوان مثال نوسان بارشی ایستگاه شهرکرد در حال نزدیکی مخاطره به بلایا است.

بنا بر بررسی‌ها پر ارتفاع جنب‌حاره بیشترین استیلا و افزایش قدرت ارتفاعی را در فصل گرم سال دارد. در سال‌هایی که ادامهٔ حضور این پرارتفاع در فصل سرد (ماه اکتبر) وجود داشته و خروج دیرهنگام آن از روی منطقهٔ تحقیق و قرارگیری با تأخیر بر روی عرض‌های پایین‌تر دیده شده، کاهش بارش و افزایش خشکسالی در منطقه را به‌همراه داشته است. در بررسی‌های حاصل از مقدار نوسان بارشی در دورهٔ ۳۱ ساله در منطقهٔ تحقیق، سال ۲۰۱۷ به‌عنوان سال نمونه برای تطبیق رویکرد کمّی- کیفی انتخاب شد. مطابق شکل ۵ که با استفاده از شاخص SPI و با رویکرد کمّی- کیفی ترسیم شده، حساسیت منطقهٔ تحقیق به خطر محیطی خشکسالی یا ترسالی آشکار شده است. گذشتن از حد آستانه‌های بحرانی (به‌طور معمول خشکسالی یا ترسالی متوسط) و رسیدن به محدودهٔ مخاطرات محیطی (خشکسالی شدید و بسیار شدید) را در بیش از یک‌سوم ایستگاه‌ها، نشان می‌دهد. این روند خشکسالی تقریباً بین ۳ تا ۵ سال با تداوم دوساله تکرار شده و فرین‌ها را افزایش داده است. برای ملموس‌تر شدن محدودهٔ آستانه‌های بحران تا بلایای محیطی، خروجی SPI مربوط به ماه اکتبر سال ۲۰۱۷ (زمان شروع بارش‌ها)، به‌دلیل نزدیک بودن به زمان حال و فراگیری خشکسالی در این ماه‌ها، در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌ها، انتخاب شد که خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را در منطقهٔ تحقیق نشان می‌دهد. این روند کمّی- کیفی بیانگر نوعی تغییر در تعادل سیستم برای رسیدن به آستانه‌های جدید است و واکنش‌های گسترده‌ای را در موضوعاتی همچون منابع آب، کشاورزی و... به‌همراه خواهد داشت.

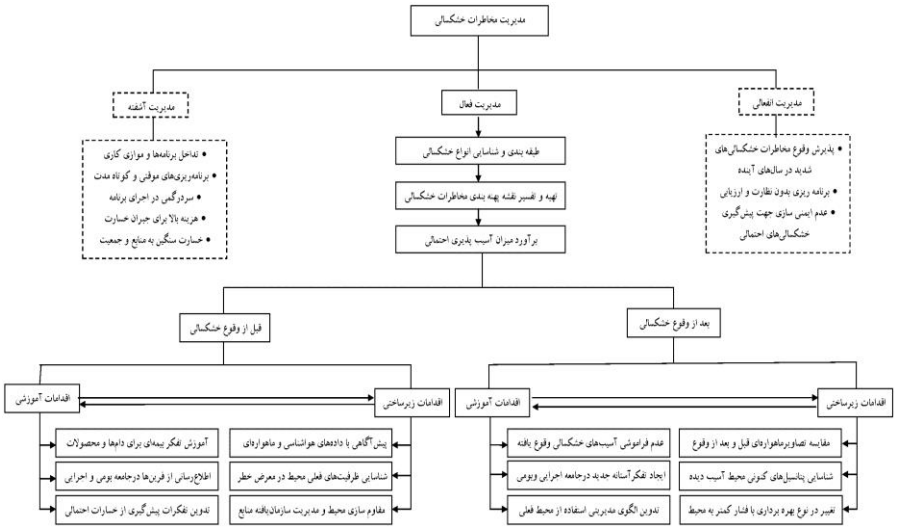
جدول ۵. خروجی شاخص SPI ماه اکتبر (۲۰۱۷) ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر	ایستگاه	اکتبر
ابادان	-۰.۸۷	پیرانشهر	-۱.۳۳	سراوان	-۰.۱۵	قم	۰.۰۶	بندر انزلی	۰.۵۷	رامهرمز	-۰.۸۳
اراک	۰.۹۲	تبریز	-۱.۰۴	سرپل‌ذهاب	-۱.۲	کاشان	۰.۱۷	بندر عباس	-۰.۵۵	رشت	-۱.۱
اردبیل	-۰.۴۶	تهران	۰.۲۲	سرخس	-۱.۴۲	کرج	-۰.۶۲	بندر ماهشهر	-۰.۶۸	زابل	۰.۲
ارومیه	-۲.۳	جاسک	۰.۵۵	سردشت	-۰.۸۱	کرمان	۰.۳۲	بوشهر	۰.۰۶	زاهدان	-۰.۰۲
اسلام اباد غرب	-۱.۰۳	جزیره لوموسی	۰.۹۹	سقز	-۱.۰۸	کرمانشاه	-۱.۱۳	بیجار	-۱.۵۵	زنجان	-۲.۴۶
اصفهان	۱.۱۴	جلفا	-۰.۶	سمنان	-۰.۴۳	کنگاور	-۱.۸	بیرجند	-۰.۵۱	سبزوار	-۰.۱۹
امیدیه	-۰.۳۱	چابهار	-۰.۱۲	سنندج	-۱.۰۳	کوهرنگ	۰.۵۵	پارس اباد	-۱.۱	سراب	-۲.۶۶
اهر	-۰.۳۹	خاش	-۱.۱۸	سهند	-۱.۹۹	گرگان	-۰.۹	طبس	۰.۵۳	میانه	-۰.۱۷
اهواز	-۰.۶۷	خرم آباد	۰.۰۳	سیرجان	-۰.۰۹	گرمسار	۰.۱۶	فردوس	۰.۲۸	میناب	-۰.۱۲
ایرانشهر	۰.۶۶	خرم آباد	-۰.۱۸	شاهرود	۱.۴۴	ماکو	-۱.۱۱	فسا	-۰.۷۹	نوشهر	-۰.۱
ایلام	-۰.۷۱	خرم‌دره	۰.۰۳	شرق‌اصفهان	-۰.۰۴	مراغه	-۲.۵۷	فیروزکوه	۱.۲	نهبندان	-۰.۸۷
بابلسر	-۱.۷۱	خلخال	-۱.۳۲	شمیران	۰.۴۸	مسجدسلیمان	-۰.۷	قائمشهر	-۲.۰۴	همدان	۰.۲۵
بجنورد	-۱.۱۴	خوی	-۱.۳۵	شهر کرد	۰.۶۳	مشهد	-۰.۴۷	قائن	۰.۰۲	یاسوج	۰.۹۸
بم	۰.۳۷	رامسر	۰.۶۲	شیراز	۱.۲۴	مهاباد	-۲.۰۵	قزوین	-۰.۸۹	یزد	۰.۹۴



شکل ۵. رفتارشناسی حساسیت به مخاطرات سیلاب و خشکسالی در ماه اکتبر در سال نمونهٔ ۲۰۱۷

آنچه در کاهش مخاطرات ضروری است، اتخاذ نوع رویکرد در مدیریت محیط است. در حال حاضر یکی از دلایل اساسی تلفات زیاد (بلایا)، نحوهٔ مدیریت و آسیب‌پذیری‌های سیستم‌های انسانی در واکنش به آن است که در آخرین سیل‌های فروردین ۱۳۹۸، ضعف‌های اساسی مدیریتی آن در کشور کاملاً آشکار شد. این موضوع و خسارات گستردهٔ آن نیز در خشکسالی‌های متعدد سراسر کشور مشهود است. مطابق تصویر (شکل ۶)، شیوه‌های مربوط به مدیریت مخاطرات خشکسالی به‌شرح زیر است:



شکل ۶. نمودار مسائل و طبقه‌بندی مدیریت مخاطرات خشکسالی (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

سیستم‌های اقلیمی در بعضی سال‌ها با توجه به شرایط تأثیرگذار محیطی، رفتاری تصادفی را نشان می‌دهند. در این میان سیستم پرارتفاع جنب‌حاره با تغییر محل قرارگیری خود، پدیده‌هایی پیچیده و تصادفی از خشکسالی یا ترسالی و... را در یک منطقه به وجود می‌آورد که این وقایع محیطی، در سطوح مختلفی از تعادل، آستانه و مخاطرات جای می‌گیرند. در این مطالعه، بیرونی‌ترین زبانهٔ پرارتفاع تأثیرگذار بر ایران از نظر شدت و جهت (شمال‌سو) مسیریابی شد که نشان می‌دهد زبانه‌های تأثیرگذار بر ایران تا عرض‌های شمالی و شمال غرب را فراگرفته است. حرکت این زبانه به‌سمت عرض جغرافیایی بالاتر، افزایش ارتفاع پربند، عمق نفوذ و وسعت دامنه‌ای بیشتر در دورهٔ پژوهش، نشان از گرم شدن هوا، شدت گرفتن خشکسالی‌ها و در مجموع تغییرات آب‌وهوایی دارد. نتایج این تحقیق در رویکرد کمّی، بیانگر این است که این پربند، چندین سطح تعادل به‌ویژه تعادل ایستا، یکنواخت لحظه‌ای، دینامیک و فراپایدار را آشکار می‌سازد که در برخی سال‌ها با اثر آستانه‌ای مواجه شده است که تهدیدی بر شروع سطوح مخاطرات محیطی (خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید) است. به‌طور کلی مخاطرات محیطی و به‌ویژه بلایای محیطی، در زمان آستانه‌ها اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کنند که در صورت مدیریت آشفته و پیش‌بینی نکردن رفتار سیستم اقلیمی به مرحلهٔ نهایی یا وقوع خسارات متعدد منجر خواهد شد. در گام نهایی و در قالب رویکرد کیفی، موضوع مدیریتی خشکسالی، مبتنی بر رفتارشناسی سیستم اقلیمی (از تعادل تا بلایا) در چارچوب مدیریت فعال پیش از بحران و پس از بحران در دو بخش زیرساختی و آموزشی ارائه شد که هرکدام راهکارهایی در زمینهٔ مقاوم‌سازی و کاهش خسارات را به‌منظور مدیریت محیط و پیش‌بینی آن در نظر دارند. بنابراین برهم‌کنش دیدگاه کمّی و دیدگاه کیفی را می‌توان روشی مؤثر در مدیریت محیط و پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها قلمداد کرد.

منابع

[۱]. اسمیت، کیت (۱۳۸۲). *مخاطرات محیطی*، ترجمهٔ ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، تهران: سمت.

[۲]. بابایی فینی، ام‌السلمه؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۲). تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلندمدت ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، سال ۴۵، دورهٔ ۳، ص ۱۲-۱.

[۳]. بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۶). «مفهوم زمان، طیف‌ها و مقیاس‌های آن در ژئومورفولوژی»، *رشد آموزش جغرافیا*، دورهٔ ۲۲، ش ۲، ص ۱۶-۳.

[۴]. چورلی، ریچارد جی؛ شوم، استانلی؛ سودن، دیوید ای. (۱۳۸۰). ژئومورفولوژی، ترجمهٔ احمد معتمد و ابراهیم مقیمی، ج ۱ (دیدگاه‌ها)، چ ۲، تهران: سمت.

[۵]. حجازی‌زاده، زهرا؛ و جوی‌زاده، سعید (۱۳۸۹). *مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن*، تهران: سمت.

[۶]. حسین‌زاده، سیدرضا (۱۳۸۳) «برنامه‌ریزی شهری همگام با مخاطرات طبیعی»، *جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای*، ش ۳.

[۷]. رامشت، محمدحسین (۱۳۸۲). «نظریهٔ کیاس در ژئومورفولوژی»، *جغرافیا و توسعه*، ص ۱۳-۳۶.

[۸]. رحیمی هرآبادی، سعید؛ و هدائی آرانی، مجتبی (۱۳۹۳). *آسیب‌شناسی مطالعات ژئوسیستم‌ها و ضرورت آن در پایداری محیط*، مجموعه مقالات همایش علوم جغرافیایی ایران.

[۹]. سپهر، عادل (۱۳۹۱). وراثت ژئومورفولوژیک: مخاطرات محیطی و تنوع زمینی، *همایش ملی ژئومورفولوژی و زیستگاه انسان*، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی.

[۱۰]. شریفی، محمد؛ رامشت، محمدحسین؛ رفیعیان، مجتبی؛ و قویدل، یوسف (۱۳۹۲). «هویت مکان و ادراک آن با رویکرد ژئوسیستمی»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۴، پیاپی ۵۰، ش ۲، ص ۲۲-۱.

[۱۱]. عساکره، حسین؛ قائمی، هوشنگ؛ و فتاحیان، مختار (۱۳۹۵). «اقلیم‌شناسی مرز شمالی پشتهٔ پرفشار جنب‌حاره بر روی ایران»، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ش ۲۵ و ۲۶، سال هفتم، ص ۳۲-۲۱.

[۱۲]. علیجانی، بهلول (۱۳۹۸). *روش‌شناسی کمّی در جغرافیا*، تهران: سمت.

[۱۳]. علیجانی، بهلول؛ طولابی‌نژاد، سجاد؛ و کربلایی، علیرضا (۱۳۹۸). «رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دورهٔ ۱، ش ۱، ص ۳۳-۵۰.

[۱۴]. فوکس، پی، جی؛ مارک، لی، ای؛ و گریفیتس، جیمزاس (۱۳۹۶). *ژئومورفولوژی و مهندسی محیط، تئوری و کاربردها*، ترجمهٔ مجتبی یمانی و ابوالقاسم گورابی، تهران: دانشگاه علم و فرهنگ.

[۱۵]. کاویانی، محمدرضا؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۵). *مبانی آب‌وهواشناسی*، چاپ ۱۹، تهران: سمت.

[۱۶]. کردوانی، پرویز (۱۳۸۰). *خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۷]. محمدنژاد، وحید (۱۳۹۰). تحلیل مقایسه‌ای تحول مخروط‌افکنه‌های دامنهٔ جنوبی البرز شرقی (دامغان تا گرمسار)، دانشگاه تهران، رسالهٔ دکتری جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی.

[۱۸]. محمدی، حسین (۱۳۸۷). *مخاطرات جوی*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۹]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). *دانش مخاطرات*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۲۰]. مقیمی، ابراهیم؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ و صفرراد، طاهر (۱۳۹۱). «پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۷۹، ص ۹۰-۷۷.

[21]. Charlton, R. (2008). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, Routledge Pub.

[22]. Chorley, R. J.; Kennedy, B. A. (1971). *Physical Geography: A Systems Approach*, London: Prentice-hall International.

[23]. Dracup. J. A. et al (1980). "On the definition of drought", *water Resource Res*.

[24]. Goudie, A. S. (2006). "Global Warming and Fluvial Geomorphology", *Geomorphology*, No,79, pp: 384–394.

[25]. Mallya, G.; Mishra,V.; Niyogi,D.; Tripathi, S.; & Govindaraju, R.S. (2016). "Trends and variability of droughts over the Indian monsoon region", *ScienceDirect Weather and Climate Extremes*, Vol, 12. June 2016, pp 43-68.

[26]. Phillips, J. D. (2006). "Evolutionary Geomorphology: Thresholds and Nonlinearity in Landform Response to Environmental Change", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, No, 3, pp: 365–394

[27]. Seidel, Dian J.; Fu, Qiang; Randel, William J.; & Reichler, Thomas j. (2008).Widening of the Tropical Belt in a Changing Climate, Nature Publishing Group, pp 20-24.

[28]. Sukarni, M. (2010). "The influence of the subtropical high-pressure systems on rainfall and temperature distribution in Suriname and implications for rice production in the Nickerie District", A Resarch paper degree of Master of Science in Natural resource, the University of the west indies.