



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۱  
پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۱۸-۱

بهلول علیجانی<sup>۱</sup>  
پیمان محمودی<sup>۲</sup>  
دوست محمد کلیم<sup>۳</sup>

## تحلیل آماری زمینه‌های آب‌وهوایی بیابان‌زایی در ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۳۰

### چکیده

در این مقاله برای بررسی میزان آسیب پذیری ایران به بیابان‌زایی از شاخص بیوکلیماتیک یونپ (برنامه محیط‌زیست ملل متحد) استفاده شد. ابتدا داده‌های مربوط به دو پارامتر میانگین دمای سالانه و جمع بارش سالانه ۴۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. سپس شاخص یونپ برای کل ایستگاه‌ها محاسبه و نقشه پهنه‌بندی آن برای کل ایران تهیه شد. در ادامه با استفاده از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال که یکی از روش‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی برای تحلیل سری‌های زمانی می باشد روند تغییرات شاخص یونپ در گستره ایران بررسی شد. بر اساس شاخص یونپ مشاهده شد که بیش‌تر مساحت ایران تحت سیطره اقلیم خشک و نیمه خشک می باشند که از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی در طبقه شدید

۱- استاد اقلیم‌شناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران.

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. E-mail: Paymanasia@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

و بسیار شدید قرار می‌گیرند. نتایج آماره من-کندال نشان می‌دهند که از بین ۴۵ ایستگاه مورد مطالعه تنها ۸ ایستگاه دارای روند معنادار بوده‌اند. در سه ایستگاه بیرجند، تبریز و مشهد روند تغییرات شاخص یونپ دارای روند منفی بوده که نشان از تمایل تغییر اقلیم این ایستگاه‌ها از اقلیم نیمه‌خشک به اقلیم خشک را دارند. شاخص یونپ دو ایستگاه ارومیه و خوی نیز دارای روند منفی بوده‌اند، اما با این تفاوت که اقلیم این دو ایستگاه تمایل به سمت اقلیم نیمه خشک را نشان می‌دهند. روند تغییرات در ایستگاه سنندج در غرب ایران نشان از جابجایی بین اقلیم نیمه مرطوب با اقلیم نیمه خشک و ایستگاه یزد از اقلیم خشک به اقلیم فرا خشک دارد. اما ایستگاه زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان تنها ایستگاهی بوده است که روند یونپ آن مثبت بوده است. یعنی روند تغییرات آن از اقلیم فراخشک به سمت اقلیم خشک بوده است. ایستگاه‌های نامبرده تنها ایستگاه‌هایی بودند که روند تغییرات آن‌ها در سطح احتمالاتی  $\alpha=0/05$  معنی دار بوده است.

**کلید واژه‌ها:** بیابان زائی، شاخص یونپ، آزمون من-کندال، روند، ایران.

#### مقدمه

بیابان‌زایی به معنای «تخریب سرزمین در مناطق خشک و نیمه خشک تا خشک نیمه مرطوب به سبب عوامل مختلفی همچون تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی» است (UNCCD، ۱۹۹۵: ۴). این واژه که در دهه‌های اخیر با واژه بیابان قرین گردیده است برای اولین بار توسط گابریل آبرویل<sup>۴</sup> جنگل‌بان فرانسوی در سال ۱۹۴۹ برای بیان وضعیت قسمتی از جنگل‌های مناطق بارانی مورد استفاده قرار گرفت (خلدبرین، ۱۳۷۷: ۲۰). ولی واقعه‌ایی که این معضل زیست محیطی را به یک فاجعه انسانی در ابعاد جهانی تبدیل نمود، ظهور خشک‌سالی‌های متوالی کشورهای ساحلی آفریقا در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بود. این حادثه که منجر به فقر، آوارگی و مرگ هزاران انسان و تلف شدن میلیون‌ها راس دام گردید، سبب شد تا نظر جهانیان به پدیده‌ای تحت عنوان بیابان‌زایی جلب شود (طاوسی، ۱۳۷۹: ۱۱-۱۰).

4- United Nations Convention to Combat Desertification

5- Gabriel Aubrevill

بررسی مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان و ایران نشان می‌دهد که پدیده بیابان زایی و عوارض ناشی از آن در فرآیندهایی از قبیل: خشک‌سالی (توکر و همکاران، ۱۹۹۱؛ توکر و نیکلسون، ۱۹۹۹؛ هولم، ۲۰۰۱)، پیشروی و گسترش مناطق بیابانی (ژی-کینگ و ژن-دا، ۲۰۰۱)، نابودی مراتع و مزارع (شریفانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ جعفری و همکاران، ۱۳۸۷؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۷)، شور و باتلاقی شدن خاک‌ها (جعفری و همکاران، ۱۳۸۱)، افت سطح آب‌های زیرزمینی و تغییر در کیفیت آن‌ها (طاوسی، ۱۳۷۹؛ زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۴)، کاهش آب‌های سطحی (زهتابیان و جعفری، ۱۳۸۱؛ فتاحی، ۱۳۸۸)، تلف شدن دام‌ها، فقر و بیچارگی، گرسنگی و مرگ هزاران انسان که خود حاصل همکاری‌های اکوسیستم‌های ناپایدار (به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک) و انسان زیاده طلب بوده، مورد بررسی قرار گرفته است.

تغییر اقلیم نیز به‌عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر روی شدت و گسترش فرآیند بیابان‌زایی از جانب بسیاری از دانشمندان علوم مختلف و از زوایای گوناگون مورد توجه و دقت قرار گرفته است؛ به‌طوری که تغییرات در میزان آلودگی سطح زمین به سبب تغییرات ویژگی‌های پوششی سطح زمین (با و همکاران، ۲۰۰۱)، اثر نقش افزایش گرد و غبارهای معدنی بر کاهش میزان قابلیت بارندگی ابرها (ین و همکاران، ۲۰۰۰؛ روزنفلد، ۲۰۰۱؛ نیکلسون، ۲۰۰۱)، تاثیر تغییرات الگوهای دماهای سطح دریا بر روی فرآیندهای آتمسفری (فولاند و همکاران، ۱۹۸۶؛ فولاند و همکاران، ۱۹۹۱؛ هولم و کلی، ۱۹۹۳؛ نیکلسون، ۲۰۰۱؛ جیانینی و همکاران، ۲۰۰۳) و رابطه بین بیابان‌زایی و خشک‌سالی (گلانتز، ۱۹۸۷؛ هولم، ۲۰۰۱) از جمله آن موضوعات می‌باشد.

در ایران هم مطالعات مختلفی جهت تفکیک قلمروهای بیابانی از دیدگاه اقلیم‌شناسی صورت گرفته است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۲؛ کاشکی و همکاران، ۱۳۸۴؛ ابطحی و خسروشاهی، ۱۳۸۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۵؛ خسروشاهی و همکاران، ۱۳۸۸)، اما مطالعاتی که رابطه بین تغییرات اقلیمی و گسترش و شدت فرآیندهای بیابان‌زایی را مورد توجه قرار داده باشد بسیار اندک است و در این زمینه فقط می‌توان به کار طاوسی و همکاران (۱۳۸۹) اشاره داشت. آن‌ها جهت مطالعه و بررسی روند گسترش مکانی اقلیم خشک و نیمه‌خشک در ایران به‌عنوان اولین حلقه تاثیرگذار در گسترش و تشدید بیابان‌زایی از شاخص زیست اقلیم یونپ (UNEP)<sup>۶</sup> بهره گرفتند. آن‌ها با تقسیم یک دوره ۳۰ ساله به سه زیر دوره ۱۰ ساله به این نتیجه رسیدند که از لحاظ مکانی شدیدترین تغییرات ابتدا در غرب و شمال‌غرب و سپس در جنوب‌شرق ایران مشاهده شده است. به‌طوری‌که در غرب و شمال‌غرب ایران جایگزین شدن

اقلیم نیمه خشک به جای اقلیم خشک نیمه مرطوب و نیمه مرطوب به وضوح قابل مشاهده است. در جنوب شرق ایران نیز شاهد گسترش اقلیم فراخشک هم در جهت مداری و هم در جهت نصف‌النهاری به جای اقلیم خشک بوده ایم. از آنجایی که کشور ایران در کمربند بیابانی نیمکره شمالی واقع شده است و قسمت اعظم آن تحت تسلط سلول‌های پرفشار مجاور حاره‌ای قرار دارد، لذا بیش‌تر وسعت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد که بارندگی بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر دارد و پدیده «بیابان» و «بیابان زایی» عارضه‌ای محسوب می‌شود که محیط زیست و حیات اقتصادی ما را شدیداً تحت تاثیر و مورد تهدید قرار می‌دهد (طاوسی، ۱۳۷۹: ۱۷). بنابراین با توجه به روند افزایشی گرما در سطح جهان و وقوع خشک‌سالی‌های پیاپی در کشور این سوال در ذهن متبادر می‌شود که آیا این گرمایش جهانی و وقوع این خشک‌سالی‌ها بر میزان آسیب‌پذیری ایران از پدیده بیابان‌زایی تاثیری داشته است یا نه؟ لذا در این پژوهش قصد بر این است که با استفاده از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال که یکی از روش‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی برای تحلیل سری‌های زمانی می‌باشد روند تغییرات اقلیمی شاخص یونپ (UNEP) در گستره ایران زمین بررسی شود.

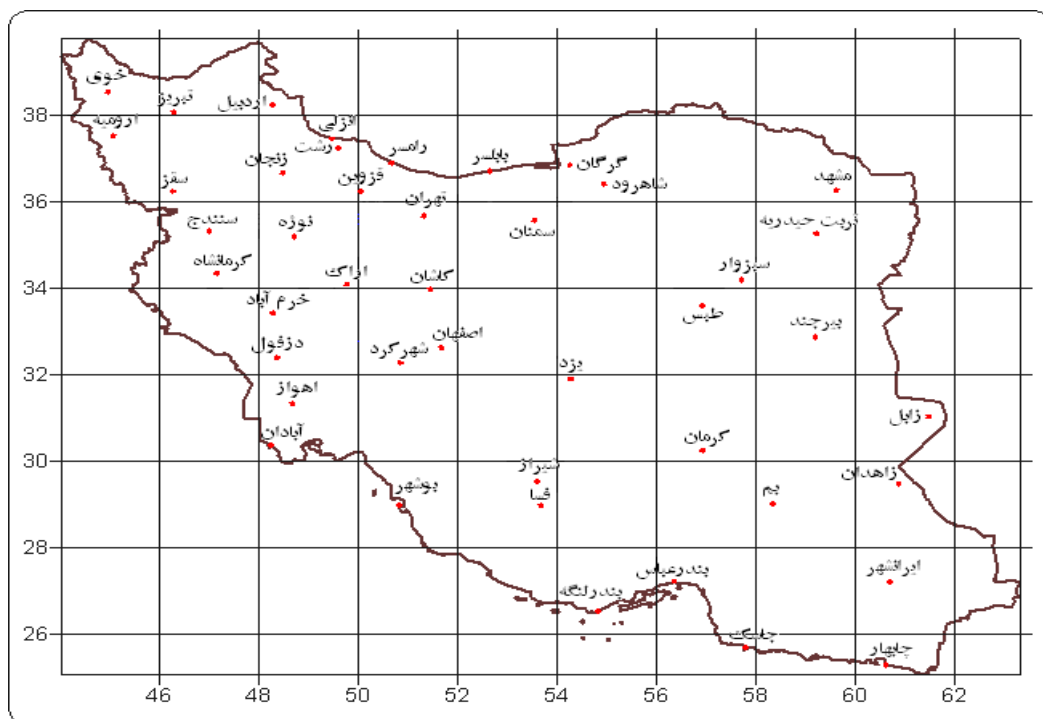
### مواد و روش‌ها

برای بررسی روند تغییرات اقلیمی در ایران و تاثیر آن در شدت و گسترش فرآیند بیابان‌زایی، داده‌های مربوط به دو پارامتر میانگین دمای سالانه و جمع بارش ماهانه ۴۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۶) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور در شکل شماره ۱ آورده شده است. بازسازی داده‌ها با استفاده از روش همبستگی و مدل رگرسیونی و همگنی داده‌ها نیز با استفاده از روش ران تست برای کل ایستگاه‌ها مورد آزمون قرار گرفت و همگنی آن‌ها در سطح بالایی مورد پذیرش قرار گرفت.

در این تحقیق جهت بررسی میزان آسیب‌پذیری ایران به بیابان‌زایی از شاخص پیشنهادی برنامه محیط زیست ملل متحد بهره گرفته شده است. شاخص یونپ (UNEP) به شکل زیر محاسبه می‌شود (تورکش، ۱۹۹۹):

$$R = \frac{P}{ETP} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که R شاخص عددی یونپ (UNEP)، P میانگین بارش سالانه به میلی‌متر و ETP میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی‌متر می‌باشد. لازم به ذکر است که محاسبه میزان تبخیر و تعرق در این رابطه با استفاده از شاخص تورنت وایت صورت می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۳).



شکل ۱: نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

در نهایت بر اساس این شاخص مناطق خشک، نیمه خشک و ... بر اساس جدول زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۱- طبقه بندی مناطق خشک بر اساس شاخص خشکی UNEP

کلاس خطر بیابان زایی	شاخص خشکی UNEP	مناطق اقلیمی
بیابان واقعی	$R < 0.05$	فرا خشک
بسیار شدید	$0.05 < R < 0.2$	خشک
شدید	$0.2 < R < 0.5$	نیمه خشک
متوسط	$0.5 < R < 0.65$	خشک نیمه مرطوب
کم	$0.65 < R < 0.75$	نیمه مرطوب
عدم خطر بیابان زایی	$0.75 < R$	مرطوب و بسیار مرطوب

پس از فراهم نمودن سری زمانی شاخص یونپ برای کل ۴۵ ایستگاه مورد مطالعه در سطح کشور، در مرحله دوم از آزمون آماری-گرافیکی من-کندال جهت بررسی روند تغییرات این شاخص بهره گرفته شد. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافته است. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. همچنین اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از دیگر مزایای استفاده از این روش می‌باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). لذا با توجه به توانمندی‌هایی که این آزمون در آشکارسازی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می‌باشد بسیار مورد توجه محققین حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است (مارنگو، ۱۹۹۵؛ تایانچ و توروس، ۱۹۹۷؛ یوه و هاشینو، ۲۰۰۳؛ فیداس و همکاران، ۲۰۰۴؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ تورکش و همکاران، ۲۰۰۸). این آزمون در واقع فرض صفر عدم وجود روند در سری‌های زمانی را بررسی می‌کند. در این راستا نقاط تغییر ناگهانی را هم شناسایی می‌کند. مراحل کار به شرح ذیل است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰):

ابتدا داده‌های شاخص یونپ به صورت صعودی (از کم به زیاد) مرتب شده و در ادامه به هر عدد بر اساس جایگاهش در سری زمانی مورد مطالعه، رتبه‌ایی از ۱ تا ۳۰ بر اساس طول دوره آماری داده خواهد شد. سپس برای آزمون فرض صفر عدم وجود روند در سری زمانی، آماره کندال ( $t$ ) بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{4 \sum H}{N(N-1)} - 1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن،  $\sum H$  فراوانی تجمعی رتبه‌هایی که بالاتر از هر ردیف قرار می‌گیرند و  $N$  تعداد سال‌های دوره آماری است که در این تحقیق ۳۰ سال می‌باشد. آماره استاندارد کندال ( $t_0$ )، از رابطه زیر محاسبه شد:

$$t_0 = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول  $tg$  سطح معنی‌داری یا اطمینان آزمون است که در این تحقیق بر اساس سطح احتمال ۹۵ درصد مقدار آن  $1/96$  است. بنابراین در صورت اعمال این مقدار،  $t_0$  برابر با  $\pm 0.21$  خواهد شد. حال با توجه به مقدار بحرانی به‌دست آمده سه حالت زیر برقرار خواهد شد:

اگر  $-0.21 > t > +0.21$  باشد روندی در سری‌های زمانی مشاهده نمی‌شود.

اگر  $t < -0.21$  باشد روند منفی در سری‌های زمانی مشاهده گردیده است.

اگر  $t > +0.21$  باشد روند مثبت در سری‌های زمانی مشاهده گردیده است

در گام دوم در صورت تأیید روند معنی‌داری، با استفاده از آماره گرافیکی من-کندال، زمان و نوع تغییرات تعیین خواهد شد. برای این کار دو مولفه  $U$  و  $U'$  محاسبه می‌گردد. برای به‌دست آوردن این دو مولفه ابتدا امید ریاضی، واریانس و مولفه  $U$  براساس فرمول‌های ۴، ۵ و ۶ به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$E(t_i) = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$V(t_i) = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{18} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$U(t_i) = \frac{\sum t_i - E(t_i)}{\sqrt{V(t_i)}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این فرمول‌ها  $n_i$  شماره ردیف است. محاسبه مولفه  $U'$  بر عکس مولفه  $U$  است. امید ریاضی، واریانس و مولفه  $U'$  براساس فرمول‌های ۷، ۸ و ۹ محاسبه می‌شوند:

$$E'(t'_i) = \frac{(N - n_i + 1)(N - n_i)}{4} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$V'(t'_i) = \frac{(N - n_i + 1)(N - n_i)(2(N - n_i + 1) + 5)}{75} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$U'(t'_i) = \frac{\sum t'_i - E'}{\sqrt{V'}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

پس از محاسبه مقادیر فوق، دو مقدار  $U$  و  $U'$  به‌صورت نمودار رسم خواهند شد. این نمودارها می‌توانند سه نوع مختلف از تغییرات را نشان دهند:

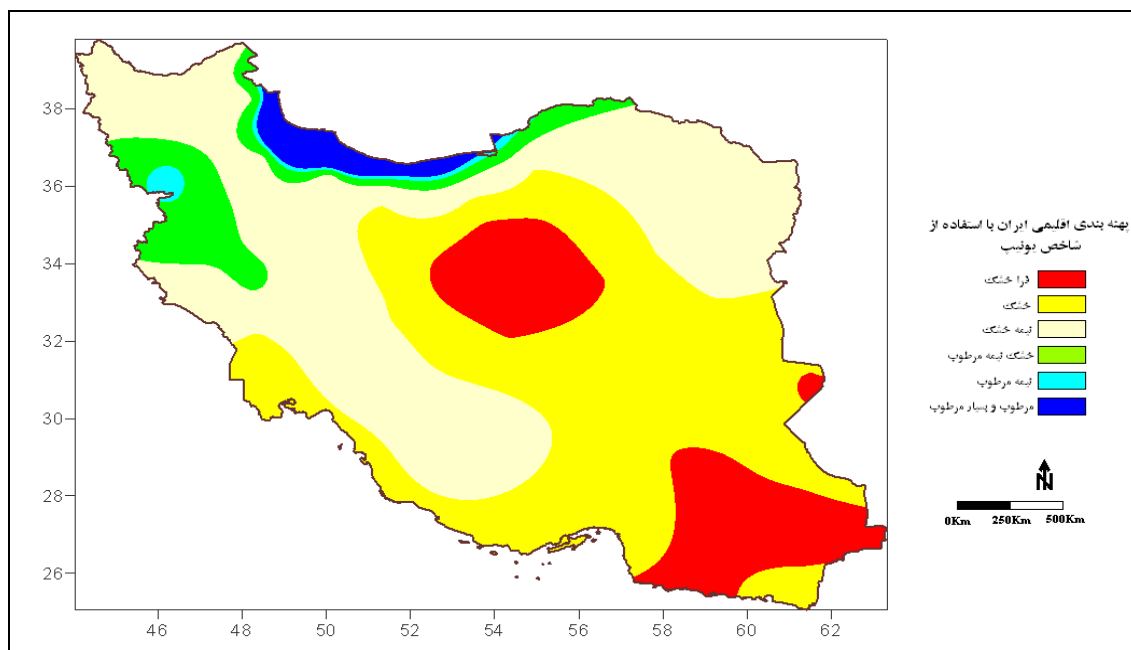
تغییرات ناگهانی: اگر محل برخورد دو منحنی  $U$  و  $U'$  در داخل محدوده بحرانی  $\pm 1/96$  باشد و منحنی  $U$  از محدود بحرانی خارج شود و دوباره به داخل محدوده برگردد تغییرات از نوع ناگهانی خواهد بود.

روند: اگر منحنی  $U$  پس از خروج از محدوده معنی‌داری دوباره به داخل محدوده برگردد روند معنی‌دار خواهد بود. به طرف مقادیر مثبت روند مثبت و به طرف مقادیر منفی روند منفی خواهد بود.

بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی با هم برخورد کنند و از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ تلاقی نباشد هیچ‌گونه تغییر و روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در نهایت در محیط نرم افزاری Surfer نقشه‌های پهنه‌بندی روند بیابان‌زایی با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شد.

### یافته‌ها و بحث

بر اساس شاخص پیشنهادی برنامه محیط‌زیست ملل متحد (یونپ)، اقلیم مناطق مختلف جهان را می‌توان در هفت طبقه مختلف دسته‌بندی نمود (جدول ۱). هر هفت نوع اقلیم مبتنی بر این شاخص در ایران وجود دارند. بر اساس این شاخص مشاهده می‌شود که بیش‌تر مساحت ایران در مرکز، شرق، جنوب، شمال‌غرب و شمال‌شرق تحت سیطره دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. نوار جنوبی دریای خزر دارای اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب، ارتفاعات شمالی رشته کوه البرز دارای اقلیم نیمه مرطوب و ارتفاعات جنوبی آن به همراه قسمت‌هایی از غرب ایران دارای اقلیم خشک نیمه‌مرطوب هستند. اقلیم فراخشک نیز در ایران مرکزی، دشت سیستان و جنوب استان سیستان و بلوچستان قابل مشاهده است (شکل ۲).



شکل ۲: پهنه بندی اقلیمی ایران با استفاده از شاخص یونپ



از لحاظ کلاس شدت خطر بیابان‌زایی، ایران یکی از کشورهای مستعد به بیابان‌زایی از دیدگاه اقلیم‌شناسی می‌باشد، چون‌که بیش‌تر مساحت این کشور در دو کلاس شدید و بسیار شدید (اقلیم خشک و نیمه‌خشک) قرار می‌گیرند (جدول ۱).

جدول ۲- نتایج آزمون آماره من-کندال به همراه آستانه بحرانی آن‌ها برای سری‌های زمانی یونپ ایستگاه‌ها

ردیف	نام ایستگاه	آماره کندال	آستانه بحرانی	ردیف	نام ایستگاه	آماره کندال	آستانه بحرانی
۱	آبادان	-۰/۱۰	±۰/۲۱	۲۳	سقز	-۰/۱۱	±۰/۲۱
۲	اهواز	-۰/۱۷	±۰/۲۱	۲۴	سنندج	-۰/۵۳	±۰/۲۱
۳	اراک	-۰/۰۹	±۰/۲۱	۲۵	سمنان	-۰/۰۴	±۰/۲۱
۴	اردبیل	-۰/۱۲	±۰/۲۱	۲۶	شاهرود	-۰/۱۹	±۰/۲۱
۵	بابلسر	-۰/۰۵	±۰/۲۱	۲۷	شیراز	-۰/۰۲	±۰/۲۱
۶	بم	۰	±۰/۲۱	۲۸	طبرس	-۰/۱	±۰/۲۱
۷	بندر انزلی	-۰/۱۲	±۰/۲۱	۲۹	تربت حیدریه	-۰/۰۷	±۰/۲۱
۸	بندرعباس	-۰/۱۹	±۰/۲۱	۳۰	یزد	-۰/۲۲	±۰/۲۱
۹	بندر لنگه	-۰/۱۶	±۰/۲۱	۳۱	زابل	۰/۲۳	±۰/۲۱
۱۰	چابهار	-۰/۱۴	±۰/۲۱	۳۲	زاهدان	-۰/۰۲	±۰/۲۱
۱۱	دزفول	-۰/۰۹	±۰/۲۱	۳۳	زنجان	-۰/۰۸	±۰/۲۱
۱۲	فسا	۰/۰۴	±۰/۲۱	۳۴	تبریز	-۰/۲۳	±۰/۲۱
۱۳	قزوین	-۰/۰۸	±۰/۲۱	۳۵	ارومیه	-۰/۲۹	±۰/۲۱
۱۴	گرگان	-۰/۰۹	±۰/۲۱	۳۶	خوی	-۰/۳۰	±۰/۲۱
۱۵	نورژه همدان	-۰/۰۳	±۰/۲۱	۳۷	اصفهان	۰	±۰/۲۱
۱۶	ایرانشهر	۰	±۰/۲۱	۳۸	کاشان	۰/۰۵	±۰/۲۱
۱۷	کرمان	-۰/۱۶	±۰/۲۱	۳۹	بوشهر	۰/۱۷	±۰/۲۱
۱۸	کرمانشاه	-۰/۱۲	±۰/۲۱	۴۰	تهران	۰	±۰/۲۱
۱۹	خرم آباد	-۰/۱۳	±۰/۲۱	۴۱	شهرکرد	۰	±۰/۲۱
۲۰	رامسر	-۰/۱۲	±۰/۲۱	۴۲	بیرجند	-۰/۲۴	±۰/۲۱
۲۱	رشت	۰/۰۲	±۰/۲۱	۴۳	مشهد	-۰/۲۴	±۰/۲۱
۲۲	سبزوار	-۰/۱۸	±۰/۲۱				

محاسبه آماره من-کندال شاخص یونپ، برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه، حاکی از یک روند کاهشی در اکثر سری‌های زمانی یونپ می‌باشد؛ به طوری که میانگین حسابی آماره من-کندال برای کل کشور ۰/۱۰- است که نشان از یک روند کاهشی در سطح کشور دارد اما این روند در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ معنادار نیست. اما از مجموع ۴۳ ایستگاه مورد مطالعه، ۳۳ ایستگاه دارای روند منفی، ۵ ایستگاه دارای روند مثبت و ۵ ایستگاه باقی‌مانده نیز فاقد روند بوده‌اند. اما تمامی این روندها در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ معنی‌دار نیستند و تنها هفت ایستگاه سنندج، یزد، تبریز، ارومیه، خوی، بیرجند و مشهد دارای روند کاهشی معنادار بوده‌اند و ایستگاه زابل در ایران تنها ایستگاهی بوده که دارای روند افزایشی مثبت معنادار بوده است (جدول ۲).

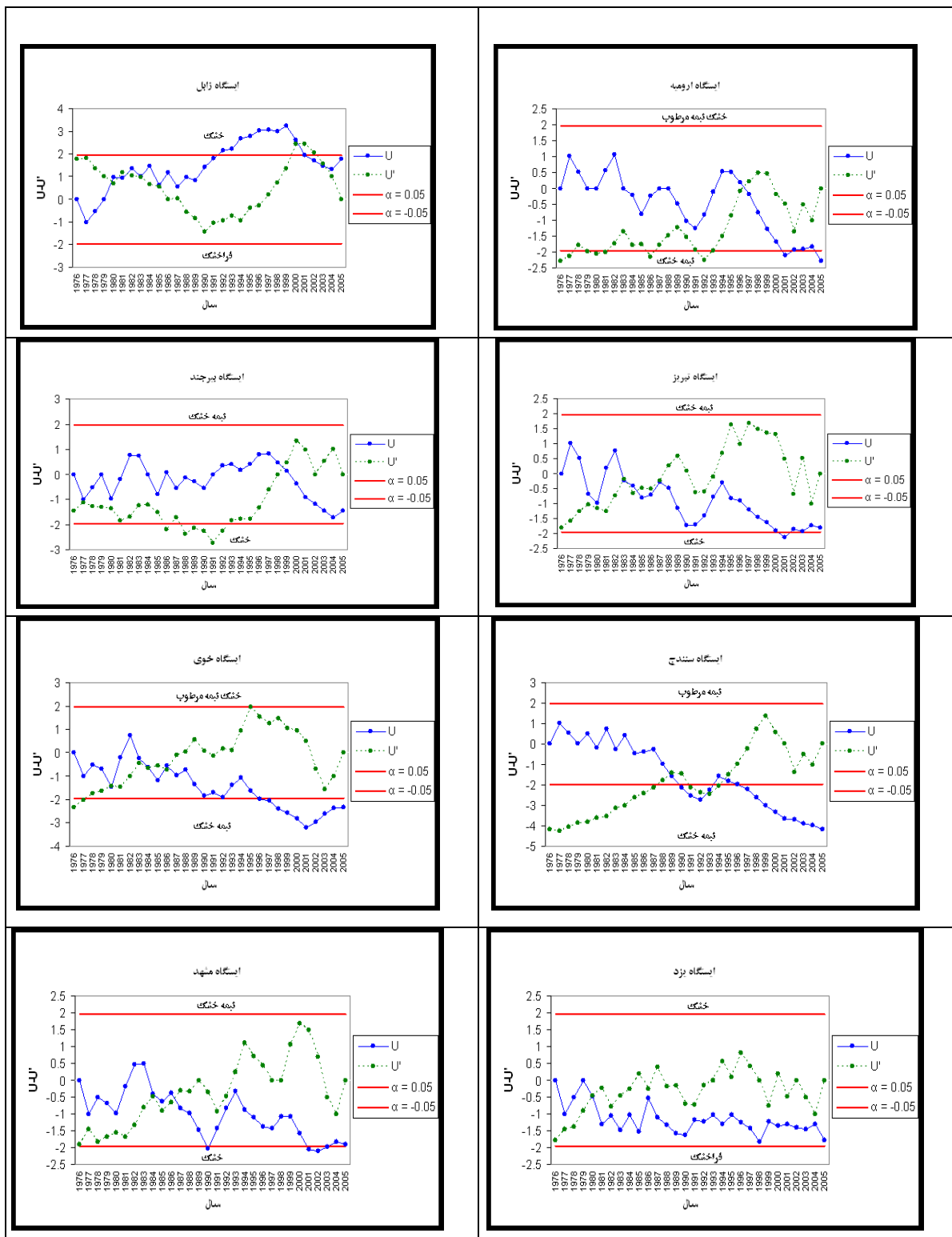
با استفاده از نمودارهای مربوط به سری‌های زمانی مقادیر آماره‌های  $u(t)$  و  $u'(t)$  می‌توان نوع و زمان تغییرات را نیز به دست آورد. نمودار ایستگاه‌هایی که روند آن‌ها توسط آماره من-کندال معنی‌دار تشخیص داده شده بودند در شکل شماره ۳ آورده شده‌اند. زمانی که مقادیر منحنی  $u(t_i)$  از مقدار آستانه تعیین شده در یک گراف سری زمانی (که برابر با  $\pm 1/96$  در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ است) تجاوز کند، یک روند معنی‌دار تشخیص داده می‌شود. در نمودارهای مربوط به ایستگاه‌های سنندج، خوی و ارومیه مقادیر پائین  $u(t_i)$  از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تجاوز می‌کند که این حاکی از روند معنادار بودن کاهش در سری زمانی یونپ می‌باشد. برای تغییرات ناگهانی نیز اگر منحنی  $u(t_i)$  سری زمانی از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تجاوز کند و دوباره به سطح معناداری ۰/۰۵ برگردد، تغییرات از نوع تغییرات ناگهانی خواهد بود. این نوع از تغییرات را می‌توان در ایستگاه‌های زابل، تبریز و مشهد به وضوح در شکل شماره ۳ مشاهده نمود. برای تعیین زمان تغییرات ناگهانی یا نقطه شروع یک روند دوره‌ایی، منحنی‌های  $u(t_i)$  و  $u'(t)$  بایستی در یک نقطه مشترک همدیگر را قطع کنند. این موضوع آشکارا در نمودارهای مربوط به ایستگاه‌های ارومیه (سال شروع تغییرات: ۱۹۹۷)، بیرجند (سال شروع تغییرات: ۱۹۹۹)، تبریز (سال شروع تغییرات: ۱۹۸۷)، خوی (سال شروع تغییرات: ۱۹۸۵)، سنندج (سال شروع تغییرات: ۱۹۹۴)، مشهد (سال شروع تغییرات: ۱۹۸۶) و یزد (سال شروع تغییرات: ۱۹۸۰) قابل مشاهده است.

با توجه به این که بیش‌تر گستره ایران زمین از اقلیمی خشک و نیمه‌خشک برخوردار است و این اقلیم از لحاظ اقلیمی یکی از مستعدترین اقلیم‌ها برای وقوع پدیده بیابان‌زایی به شمار می‌رود اما مشاهده می‌شود که این شرایط اقلیمی در بعضی از قسمت‌های ایران در حال تشدید شدن می‌باشد به طوری که در سه ایستگاه بیرجند، تبریز و مشهد که دارای اقلیمی نیمه‌خشک هستند و از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی در طبقه شدید قرار دارند، روند تغییرات

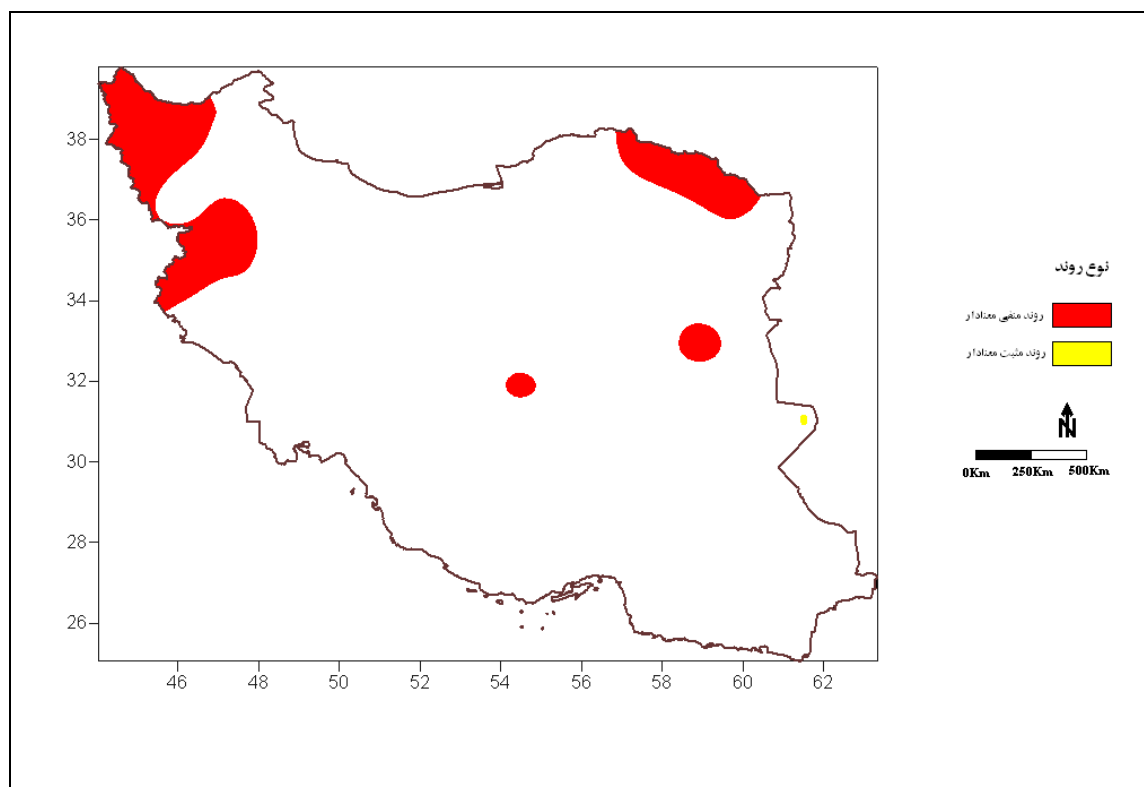
شاخص یونپ نشان از تمایل اقلیمی این ایستگاه‌ها از اقلیم نیمه خشک به اقلیم خشک را دارند که در این صورت کلاس خطر بیابان‌زایی آن‌ها نیز به کلاس بسیار شدید تغییر می‌یابد (شکل ۳). دو ایستگاه ارومیه و خوی در شمال غرب ایران با داشتن اقلیم خشک نیمه‌مرطوب، روند تغییرات آن‌ها تمایل به سمت اقلیم نیمه‌خشک دارند که از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی از کلاس متوسط به کلاس شدید سوق داده می‌شوند. روند تغییرات در ایستگاه سنندج در غرب ایران نشان از جابجایی بین اقلیم نیمه‌مرطوب با اقلیم نیمه خشک و ایستگاه یزد از اقلیم خشک به اقلیم فرا خشک دارد. که قاعدتاً کلاس خطر بیابان‌زایی آن‌ها نیز تغییر خواهد نمود (شکل ۳).

اما ایستگاه زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان تنها ایستگاهی بوده است که روند یونپ آن مثبت بوده است. یعنی روند تغییرات آن از اقلیم فراخشک به سمت اقلیم خشک بوده است. که با این وضعیت این ایستگاه از کلاس خطر بیابان‌زایی بیابان واقعی به سمت کلاس بسیار شدید تغییر وضعیت نشان می‌دهد. شاید این تغییر وضعیت مقداری گمراه‌کننده باشد و ما را مقداری از واقعیت‌های موجود در دشت سیستان دور کند. یکی از دلایل این تغییر وضعیت، افزایش فراوانی طوفان‌های گرد و غباری در دشت سیستان می‌باشد. افزایش این طوفان‌های گرد و غباری باعث کاهش تابش ورودی خورشید به دشت سیستان می‌شود. زمانی که تابش ورودی خورشید به دشت سیستان کاهش پیدا می‌کند متعاقب آن دمای هوا نیز مقداری کاهش پیدا می‌کند. این کاهش دما به صورت زنجیر وار بر روی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل که در مخرج شاخص یونپ قرار گرفته است اثر می‌گذارد و آن را نیز کاهش می‌دهد. لذا این تغییرات باعث می‌شود که شاخص یونپ برای دشت سیستان بهبود وضعیت را نشان دهد که این بهبود وضعیت اقلیم در دشت سیستان با واقعیت‌های موجود حال حاضر آن بسیار متفاوت است (شکل ۳) چون با خشک شدن دریاچه‌های سه‌گانه هامون و خشک‌سالی‌های شدید و طولانی مدت این چند دهه اخیر دشت سیستان را در معرض شدیدترین خطرات بیابان‌زایی قرار داده است. لذا می‌توان گفت که این شاخص برای مناطقی که با افزایش طوفان‌های گرد و غباری همراه هستند نمی‌تواند گویای تمام واقعیت‌های موجود در آن مناطق باشند.

توزیع فضایی تغییرات معنادار در سری‌های زمانی شاخص یونپ ایستگاه‌ها در شکل شماره ۴ آورده شده است. بر اساس این شکل مشاهده می‌شود که غرب و شمال‌غرب، به همراه شمال‌شرق، جزو مناطقی هستند که تغییر شرایط اقلیمی آن‌ها باعث تشدید در روند بیابان‌زایی آن‌ها خواهد گردید. هرچند طول دوره آماری جهت اظهار نظر در مورد تایید تغییر اقلیم بسیار کوتاه است اما از آن می‌توان به عنوان نشانه‌هایی از شروع هر گونه تغییری یاد کرد.



شکل ۳: نمودار تغییرات  $U$  و  $U'$  شاخص خشکی یونپ ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار



شکل ۴: پهنه‌بندی روند تغییرات شاخص خشکی یونپ در گستره ایران زمین

### نتیجه‌گیری

بر اساس شاخص پیشنهادی برنامه محیط‌زیست ملل متحد (یونپ) مشاهده می‌شود که بیش‌تر مساحت ایران تحت سیطره اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند که از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی در طبقات شدید و بسیار شدید قرار می‌گیرند. نتایج آماره من-کندال برای اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان از یک روند کاهشی در سری‌های زمانی شاخص یونپ دارند، این روند کاهشی در این شاخص گویای این مطلب است که اقلیم ایران تمایل به سمت اقلیم های خشک‌تر دارد. اما لازم به اشاره است که این روندها برای همگی ایستگاه‌ها در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ معنادار نیست.

در سه ایستگاه بیرجند، تبریز و مشهد که دارای اقلیمی نیمه‌خشک هستند و از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی در طبقه شدید قرار دارند، روند تغییرات شاخص یونپ نشان از تمایل اقلیمی این ایستگاه‌ها از اقلیم نیمه خشک به اقلیم خشک را دارد که در این صورت کلاس خطر بیابان‌زایی آن‌ها نیز به کلاس بسیار شدید تغییر می‌یابد. دو ایستگاه

ارومیه و خوی در شمال غرب ایران با داشتن اقلیم خشک نیمه مرطوب، روند تغییرات آن‌ها تمایل به سمت اقلیم نیمه خشک دارند که از لحاظ کلاس خطر بیابان‌زایی از کلاس متوسط به کلاس شدید سوق داده می‌شوند. روند تغییرات در ایستگاه سنندج در غرب ایران نشان از جابجایی بین اقلیم نیمه مرطوب با اقلیم نیمه خشک و ایستگاه یزد از اقلیم خشک به اقلیم فرا خشک دارد. که قاعدتاً کلاس خطر بیابان‌زایی آن‌ها نیز تغییر خواهد نمود. اما ایستگاه زابل در شمال استان سیستان و بلوچستان تنها ایستگاهی بوده است که روند یونپ آن مثبت بوده است. یعنی روند تغییرات آن از اقلیم فرا خشک به سمت اقلیم خشک بوده است. که با این وضعیت این ایستگاه از کلاس خطر بیابان‌زایی بیابان واقعی به سمت کلاس بسیار شدید تغییر وضعیت نشان می‌دهد.

این تغییرات در شاخص یونپ که قاعدتاً می‌تواند نتیجه تغییر در دیگر عناصر اقلیمی همچون دمای حداقل، دمای حداکثر و میزان بارش (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱) باشد، قبلاً توسط طاوسی و همکاران (۱۳۸۹) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته بود که نتایج تحقیقات آن‌ها این تغییرات را به خصوص در غرب و شمال غرب ایران تایید می‌کند. اگر این شرایط اقلیمی با دیگر عوامل تشدید کننده بیابان‌زایی همچون چرای بی رویه، جنگل تراشی، افت منابع آب زیرزمینی، فرسایش آبی و ... همراه باشد می‌تواند در تشدید تخریب سرزمین این منطقه موثر باشند. بنابراین هرگونه تغییر در اقلیم به‌عنوان اولین زنجیره تاثیرگذار در دیگر فرآیندهای بیابان‌زایی بایستی بسیار مورد توجه قرار گیرد.

## منابع

- ابطحی، س. م؛ خسروشاهی، م (۱۳۸۴)، «قلمرو بیابان‌های استان اصفهان از دیدگاه اقلیم شناسی»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۲، صص ۲۶۲-۲۴۹.
- جعفری، م؛ آذرنیوند، ح؛ زهتابیان، غ؛ جمشیدی، ع (۱۳۸۱)، «بررسی نقش کیفیت منابع آب آبیاری در بیابانی شدن اراضی کشاورزی در حاشیه کویر دامغان»، *بیابان*، شماره ۷، صص ۱۲۸-۱۲۱.
- جعفری، م؛ صادقی پور، ا؛ آذرنیوند، ح؛ فخری، ف؛ کمالی، ن (۱۳۸۷)، «بررسی تاثیر عامل بی‌رویه کشاورزی در بیابان‌زائی (بررسی موردی: منطقه دشتی استان بوشهر)»، *منابع طبیعی ایران*، شماره ۶۱، صص ۲۰۹-۲۰۱.
- حجام، س؛ خوشخو، ی؛ شمس‌الدین وندی، ر (۱۳۸۷)، «تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری»، *پژوهش‌های جغرافیائی*، شماره ۶۴، صص ۱۶۸-۱۵۷.
- حسینی، س. م؛ کرمی، س. ع؛ خسروشاهی، م (۱۳۸۲)، «توسعه روشی برای شناسائی و تفکیک مناطق بیابانی از دیدگاه اقلیم شناسی (مطالعه موردی استان تهران)»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۰، صص ۵۵-۳۹.
- خسروشاهی، م؛ عطاپور فرد، ع؛ کرمی، س. ع (۱۳۸۵)، «معرفی و تعیین ویژگی‌های بیابان‌های اقلیمی و زمین شناسی در استان تهران»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۳، صص ۱۰۸-۱۰۲.
- خسروشاهی، م؛ کاشکی، م؛ ت؛ انصافی مقدم، ط (۱۳۸۸)، «قلمرو بیابان‌های اقلیم شناسی ایران»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۶، صص ۱۱۳-۹۶.
- خلدبرین، ع (۱۳۷۷)، «بیابان‌زایی و توسعه»، *فصلنامه جنگل و مرتع*، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، شماره ۳۸، صص ۲۳-۲۰.
- زهتابیان، غ؛ جعفری، ر (۱۳۸۱)، «تعیین شدت تخریب منابع آب در منطقه کاشان با استفاده از مدل بیابان‌زایی»، *محیط شناسی*، شماره ۳۰، صص ۳۰-۱۹.
- زهتابیان، غ. ر؛ احمدی، ح؛ جوادی، م. ر؛ آذرنیوند، ح (۱۳۸۴)، «ارزیابی کمی شدت بیابان‌زایی ناشی از تخریب منابع آب و ارائه یک مدل منطقه ای بیابان‌زائی در حوضه آبخیز ماهان»، *بیابان*، شماره ۱۰، صص ۲۰۴-۱۸۹.

- شریفانی، ف؛ جعفری، م؛ آذرنیوند، ح؛ عباسی، ح. ر؛ سوری، م (۱۳۸۵)، «بررسی تاثیر کشت گیاه بر بیابانی شدن اراضی دشت سگزی اصفهان»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۲۵، صص ۳۶۷-۳۵۹.
- طاوسی، ت (۱۳۷۹)، «تحلیل علل هیدروکلیماتولوژیکی بیابانزایی (مطالعه موردی: حاشیه چاله گاوخونی)»، رساله دکتری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- طاوسی، ت؛ محمودی، پ؛ سرگلزائی مقدم، ف (۱۳۸۹)، «مقایسه گسترش مکانی اقلیم خشک و نیمه خشک در ایران طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶»، *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۷، صص ۱۰۵-۹۴.
- علیجانی، ب؛ محمودی، پ؛ چوگان، ع (۱۳۹۱)، «بررسی روند تغییرات بارش‌های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک (برآورد کننده شیب سنس)»، *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، شماره ۵ و ۶، صص ۴۲-۲۳.
- علیجانی، ب؛ محمودی، پ؛ سلیقه، م؛ ریگی چاهی، ا. ب (۱۳۹۰)، «بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های دمای سالانه در ایران، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۱۰۲، صص ۱۲۲-۱۰۱.
- عزیزاده، ا (۱۳۸۳)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.
- فتاحی، م (۱۳۸۸)، «بررسی روند بیابانزایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تاکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب، *تحقیقات و مرتع و بیابان ایران*، شماره ۳۵، صص ۲۵۳-۲۳۴.
- کاشکی، م. ت؛ غفوریان، ر؛ خسروشاهی، م (۱۳۸۴)، «تهیه نقشه مناطق بیابانی استان خراسان بر اساس پارامترهای اقلیمی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱۲، صص ۱۹-۱.
- مرادی، ح. ر؛ فاضل پور، م. ر؛ صادقی، س. ح. ر؛ حسینی، س. ز (۱۳۸۷)، «بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان زائی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۳۰، صص ۱۲-۱.
- Ba, M.B., Nicholson, S.E., Frouin, R., (2001), "Temporal and spatial variability of surface radiation budget over the African continent as derived from METEOSAT, Part II: Temporal and spatial variability of surface global surface irradiance, albedo and net radiation", *Journal of Climate*, 14: 60-76.
- Feidas, H.T., Makrogiannis, E., Bora-Senta., (2004), "Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001", *Theoretical and Applied Climatology*, 79 (3): 185-2008.
- Folland, C. K., Palmer, T.N., Parker, D.E., (1986), "Sahel rainfall and worldwide sea temperature, 1901-85", *Nature*, 320: 602-607.



- Folland, C. K., Owen, J., Ward, M.N., Colman, A., (1991), "Prediction of seasonal rainfall in the Sahel region using empirical and dynamic methods", *Journal of Forecasting*, 10: 21-56.
- Glantz, M. H., (1987)," Drought and economic development in sub-Saharan Africa. In: M. H. Glantz, (EdS): Drought and Hunger in Africa: Denying Famine a future", *Cambridge University Press, Cambridge*, pp 37-58.
- Giannini, A., Saravanan, R., Chang, P., (2003), "Ocean forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales", *Science*, 302: 1027-1030.
- Hulme, M., (2001), "Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998", *Global Environmental Change*, 11: 19-29.
- Hulme, M., Kelly, M., (1993), "Exploring the links between desertification and climate change", *Environment*, 35: 4-11 and 39-45.
- Jiang, T., Kundzewicz, Z.W., Su, B., (2008), "Changes in monthly precipitation and flood hazard in the Yangtze River Basin, China", *International Journal of Climatology*, 28(11): 1471-1481.
- Kendall, M. G., (1975), "Rank correlation methods. Charles Griffin", *London*.
- Mann, H. B., (1945), "Nonparametric tests against trend", *Econometrica* 13: 245-259.
- Marengo, J. A., (1995), "Variations and change in South American streamflow", *Climatic Change*, 31 (1): 99-117.
- Nicholson, S., (2001), "Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries", *Climate Research*, 17: 123-144.
- Rosenfeld, D., Rudich, Y., Lahav, R., (2001), "Desert dust suppressing precipitation: a possible desertification feedback loop", *Proceeding of the national academy of science of The United State of America*, pp 5975-5980.
- Tayanç, M., Toros, H., (1997), "Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey", *Climatic change*, 35 (4): 501-524.
- Tucker, C. J., Nicholson, S. E., (1999), "Variations in the size of the Sahara desert from 1980 to 1997", *Ambio*, 28(7): 587-591.
- Tucker, C.J., Dregne, H.E., Newcomb, W.W., (1991), "Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990", *Science*, 253: 299-301.
- Türkeş, M., (1999), "Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions", *Tr.J. of Engineering and Environmental Science*, 23: 363-380.
- Türkes, M., Koç, T., Sariş, F., (2008), "Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey", *International Journal of Climatology*, 29 (8): 1056-1074.
- UNCCD., (1995), "The United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa, text with Annexes. UNEP, Geneva.

- Yin, Z., Levin, Z., Reisin, T.G., Tzivion, S., (2000), "The effects of giant cloud condensation nuclei on the development of precipitation in convective clouds a numerical study", *Atmospheric Research*, 53: 91-116.
- Yue, S., Hashino, M., (2003), "Temperature trends in Japan: 1900-1996", *Theoretical and Applied Climatology*, 75 (1-2): 15-27.
- Zhi-qing, C.Z., Zhen-da., (2001), "Development of land desertification in Bashang area in the past 20 years", *Journal of Geographical Science*, 11 (4): 433-437.