

بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران

تقی طاوسی^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۶/۰۷

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در گستره غرب و شمال غرب ایران است. به منظور طبقه بندی آب و هوا، بررسی تغییرات مقدار بارندگی، ضریب خشکی در پهنه‌های آب و هوای غرب و شمال غرب ایران از آزمون معناداری من کندال و شاخص برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP) استفاده شده است. در این راستا، عناصر آب و هوایی دما و بارندگی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی شمال غرب ایران مربوط به دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۱) گردآوری شد. نخست روند تغییرات بارندگی هر ایستگاه مورد آزمون قرار گرفت. پس از بررسی روند تغییر شاخص یونپ، نقشه پهنه‌بندی سه دهه پیاپی ترسیم شد و با تفریق ضریب خشکی هر دو دهه پیاپی، تغییر رخ داده در منطقه مورد مطالعه بررسی شد. نتایج گویای روند کاهش بارندگی در سطح معناداری ۰/۰۱ در ایستگاه‌های دزفول، کشت و صنعت کارون و مراغه و سطح معناداری ۰/۰۵ در سرپل ذهاب، ارومیه، ماکو، مهاباد، بیجار، سراب و سقز می‌باشد. بررسی تغییر شاخص خشکی یونپ حاکی از تغییر شرایط آب و هوایی نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب و از شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی نیمه خشک می‌باشد. براساس شاخص یونپ، در بیشتر منطقه مورد بررسی شدت خشکی از درجه خطر کم و متوسط به درجه شدید و بسیار شدید افزایش یافته است. اگر چه آزمون من کندال نشان داد که شاخص یونپ در ۳۲ ایستگاه دارای روند منفی هستند ولی این روند تنها برای ۶ ایستگاه ارومیه، تبریز، خوی، میاندوآب، پیرانشهر و سنندج در سطح ۰/۰۵ معنادار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، یونپ، خشکی، شمال غربی ایران.

۱- مقدمه

در کشور رومانی را مورد بررسی قرار داد و نشان داد روند افزایش خشکی اقلیمی در رومانی مرتبط با تغییرات جهانی آب و هوایی و یک بحران ملی است.

در ایران نیز پژوهش‌ها برای تعیین همسویی میان تغییرپذیری آب و هوایی و پیشروی قلمرو مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک بر اساس تعیین روند شاخص‌های اقلیمی و بررسی پدیده خشکی اقلیمی انجام شده است. برای نمونه، انصافی مقدم (۱۳۸۴) در پژوهشی تحت عنوان تعیین شاخص خشکی در حوضه دریاچه نمک به روش دمارتون از شش پارامتر اقلیمی مشتمل بر بارش ماهانه، بالاترین بارش ۲۴ ساعته، میانگین حداقل ماهانه دما، میانگین حداکثر ماهانه دما، حداکثر مطلق دمای ماهانه و حداقل مطلق دمای ماهانه ۳۵ ایستگاه هواشناسی را با قدمت ۴۰ سال استفاده نموده است. در پژوهش دیگر، بررسی و ارزیابی آماری آب و هوا بر اساس محاسبه شاخص (ACI)^{۱۰} در ایستگاه‌های حوضه دریاچه نمک بر پایه تغییرات ماه به ماه و سال به سال بارش و دما، نوسان فصلی و سالانه بارش و دما، دامنه فصلی و سالانه دما، ضریب تغییرپذیری فصلی و سالانه بارش و دما و ضریب بی‌نظمی بارش انجام شده است، این پژوهش نشان داد که درصد مساحت پهنه‌های متأثر از پدیده خشکی حوضه دریاچه نمک در چهار دهه (۱۹۹۶ - ۱۹۵۷) با حرکتی آرام و مداوم به سمت خشکی اقلیمی سوق پیدا نموده است (انصافی مقدم، ۱۳۸۳). تیموری و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات اقلیمی ایران را در سه دهه (۱۳۸۴ - ۱۳۵۵) در ۳۶ ایستگاه هواشناسی و بر اساس پارامتر شاخص خشکی مورد مطالعه قرار دادند. بررسی روند این شاخص، کاهش غیر معنی‌داری را در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه (بجز سه ایستگاه مشهد، سنندج و تبریز که روند کاهشی معنی‌دار و ایستگاه همدان که روند افزایشی غیر معنی‌داری دارند) از خود نشان داده است. نتایج پژوهشی که گسترش قلمرو آب و هوای خشک و نیمه خشک ایران را مورد مقایسه

تغییرپذیری آب و هوایی به عنوان یکی از بازیگران تخریب سرزمین و کلید آغازین فرایندهای بیابانزایی از سوی بسیاری از دانشمندان و از نگاه دانش‌های گوناگون بررسی شده است. بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در پرتو تجزیه و تحلیل ضرایب و شاخص‌های اقلیمی امکان‌پذیر می‌باشد. ضرایب یا شاخص‌های اقلیمی که بتوانند در بررسی پدیده خشکی اقلیم مؤثر واقع شوند بسیار متنوع و در مقایسه با شاخص‌های انسانی از پیچیدگی بیشتری برخوردارند (انصافی مقدم، ۱۳۸۴). بررسی ضریب خشکی اقلیمی در راستای مطالعه و تبیین علل و پیامدهای تغییرپذیری اقلیمی دارای اهمیت است، چنان که ژی گینک^۱ و ژندا^۲ (۲۰۰۱) پیشروی قلمرو آب و هوای خشک در منطقه بشنگ^۳ در کشور چین را به افزایش ضریب خشکی هوا نسبت داده‌اند. هولم^۴ (۲۰۰۱) دیدگاه‌های آب و هوایی در مورد تشدید شرایط خشکی منطقه ساحل آفریقا را مطالعه کرده است. با^۵ و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متئوست^۶ تغییر بیان انرژی در قاره آفریقا را بررسی کردند. به باور آنها تغییر آلودگی سطح زمین در پی دگرگون شدن ویژگی‌های پوشش زمین رخ داده است و تغییر بیان انرژی را در پی داشته است. بالتاس^۷ (۲۰۰۷) با استفاده از شاخص‌های اقلیمی و نرم‌افزار (GIS) توزیع فضایی پهنه‌های اقلیمی شمال یونان را مورد بررسی قرار داد. پراوالی^۸ (۲۰۱۳) بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های دما، بارش و تبخیر و تعرق بالقوه در پنج دهه (۲۰۰۹-۱۹۶۱) و بر اساس شاخص‌های آب و هوایی (شاخص خشکی دمارتون، شاخص خشکی یونپ و شاخص کمبود آب) روند خشکی در جنوب اولتینیا^۹

1 - Zhi-qing

2 - Zhen-da

3 - Bashang

4 - Hulme

5 - Ba

6 - METEOSAT

7 - Baltas

8 - Práválie

9 - Oltenia

خشکی و جابجایی پهنه‌های آب و هوایی در گستره شمال غربی ایران بررسی شود. با هدف شناخت تغییر مکانی پهنه‌های آب و هوایی از شاخص یونپ به عنوان کلید آغازین فرآیند تشدید درجه خشکی هوا و گسترش آب و هوای خشک و نیمه خشک استفاده شده است و بر این مبنا ضریب خشکی هوا در غرب و شمال غرب ایران در سه دهه پیاپی بررسی و مقایسه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی افزایش ضریب خشکی آب و هوایی در پهنه‌های آب و هوایی گستره غرب و شمال غرب ایران، نخست با برش مدار ۳۲ درجه عرض شمالی و نصف‌النهار ۵۰ درجه طول شرقی، منطقه مورد مطالعه جدا شد و داده‌های بارندگی و دمای روزانه منطقه مورد مطالعه از ۴۳ ایستگاه هواشناسی کشور در دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۱) فراهم شد (جدول ۱).

همچنین، به منظور بررسی روند نوسان‌های زمانی عنصر بارش در طیف‌های ارتفاعی مختلف، ایستگاه‌های هواشناسی در ۴ طیف ارتفاعی ($0 < 500$)، ($500 < 1000$)، ($1000 < 1500$) و ($1500 < 1500$) متر تقسیم شدند و با به کارگیری آزمون غیرپارامتری من-کندال وجود روند برای سری‌های زمانی برای سطوح معناداری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. بر پایه شاخص خشکی برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (United Nations Environment Programme) با نام مخفف یونپ (UNEP) که برای سنجش ضریب خشکی آب و هوا ارائه شده است (UNEP, 1991)، روند تغییرات ضریب خشکی ایستگاه‌های هواشناسی نیز آزمون شد. شاخص پیشنهاد شده یونپ برای مطالعات آب و هوایی کاربرد گسترده‌ای در جهان دارد به صورت غیر مستقیم بر پایه میانگین مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین دمای هوا استوار است (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که دمای هوا تعیین کننده تبخیر و تعرق پتانسیل است، بنابراین رابطه یونپ بر پایه میانگین مجموع بارندگی

قرار داده، گویای این است که بیشترین گسترش نخست در غرب و شمال غرب و سپس در جنوب شرق ایران رخ داده است (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی علل و پیامدهای تغییر ضرایب یا شاخص‌های اقلیمی در پهنه‌های آب و هوایی ایران که توسط ابطحی و خسروشاهی (۱۳۸۴)، کاشکی و همکاران (۱۳۸۴)، حسینی و همکاران (۱۳۸۲)، خسروشاهی و همکاران (۱۳۸۸)، قهرمان و بختیاری^۱ (۲۰۰۹)، احمدی و همکاران^۲ (۲۰۱۲) و همچنین یوسفی و معصوم پور سماکوش^۳ (۲۰۱۴) صورت گرفته است، نشان می‌دهد که تغییر ویژگی‌های آب و هوایی از جمله افزایش ضریب خشکی، افزایش خشکسالی‌ها و ... می‌تواند از علل و همچنین از پیامدهای تخریب منابع آب، خاک و پوشش گیاهی به شمار آید.

از آنجایی که کشور ایران در کمربند بیابانی نیمکره شمالی واقع شده است و بیشتر گستره آن زیر چتر واچرخندهای جنب حاره‌ای می‌باشد، لذا بیشتر پهنه ایران زمین را آب و هوای خشک و نیمه خشک در بر گرفته و تغییرپذیری اقلیمی به مثابه پدیده ویرانگری است که محیط زیست و زندگی اقتصادی مردم را با آسیب جدی روبرو کرده است (طاوسی، ۱۳۸۹). توجه به فاجعه زیست محیطی رخداد خشک شدن دریاچه ارومیه در گوشه شمال غربی ایران که یکی از کانون‌های بزرگ جمعیتی و کشاورزی ایران به شمار می‌رود، ضرورت آنی برای پژوهشگران، صاحب‌نظران و سیاستمداران به وجود آورده است. بنابراین با توجه به روند افزایشی گرما در سطح جهان و رویداد خشکسالی‌های پیاپی در کشور ایران این پرسش مطرح است که آیا پیامد این رویدادها به صورت افزایش ضریب خشکی آب و هوایی در گوشه شمال غربی کشور ایران بروز کرده و در آسیب پذیری منطقه به ویژه خشک شدن دریاچه ارومیه نقش داشته است؟

بر پایه این پرسش، تلاش شده است تغییرات ضریب

1 - Ghahreman and Bakhtiari

2 - Ahmadi et al

3 - Yousefi and Masoompour Samakosh

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی همدید و کلیماتولوژی منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	طول (E)	عرض (N)	ارتفاع (متر)	ایستگاه	طول (E)	عرض (N)	ارتفاع (متر)
آستارا	۴۸ : ۵۲	۳۸ : ۲۶	۲۵	زنجان*	۴۸ : ۲۹	۳۶ : ۴۱	۱۶۶۳
اراک*	۴۹ : ۴۶	۳۴ : ۰۶	۱۷۰۸	سردشت*	۴۵ : ۳۰	۳۹ : ۰۹	۱۶۷۰
اردبیل*	۴۸ : ۱۷	۳۸ : ۱۵	۱۳۳۲	سرعین	۴۸ : ۰۵	۳۸ : ۰۹	۱۷۵۰
ارومیه*	۴۵ : ۰۵	۳۷ : ۲۳	۱۳۱۵/۹	سراب	۴۷ : ۳۲	۳۷ : ۵۶	۱۶۵۱
الیگودرز*	۴۹ : ۴۲	۳۳ : ۲۴	۲۰۲۲	سرپل ذهاب	۴۵ : ۵۲	۳۴ : ۲۷	۵۵۰
انزلی*	۴۹ : ۲۸	۳۷ : ۲۸	-۲۶/۲	سقز*	۴۶ : ۱۶	۳۶ : ۱۵	۱۵۲۲/۸
اهر	۴۷ : ۰۳	۳۸ : ۲۹	۱۱۵۷	سنندج*	۴۷	۳۵ : ۲۰	۱۳۷۳/۴
ایلام*	۴۶ : ۲۶	۳۳ : ۳۸	۱۳۳۷	شوشتر	۴۸ : ۵۰	۳۲ : ۰۳	۱۵۰
بروجرد	۴۸ : ۳۸	۳۳ : ۵۴	۱۶۰۰	قروه*	۴۷ : ۴۸	۳۵ : ۱۰	۱۹۰۶
بیجار	۴۷ : ۳۷	۳۵ : ۵۲	۱۹۴۰	کرمانشاه*	۴۷ : ۰۹	۳۴ : ۲۱	۱۳۱۸/۶
پارس آباد	۴۸ : ۰۱	۳۹ : ۳۹	۴۴	کشت و صنعت کارون	۴۸ : ۴۳	۳۲ : ۰۵	۵۹
پیرانشهر	۴۵ : ۰۸	۳۶ : ۴۲	۱۳۵۰	کنگاور	۴۷ : ۵۸	۳۴ : ۳۰	۱۵۰۰
تبریز*	۴۶ : ۱۷	۳۸ : ۰۵	۱۳۶۱	ماکو	۴۴ : ۳۱	۳۹ : ۱۸	۱۶۳۴
تکاب*	۴۷ : ۰۷	۳۶ : ۲۳	۱۷۶۵	مراغه	۴۶ : ۱۴	۳۷ : ۲۴	۱۴۱۹
جلفا	۴۵ : ۳۸	۳۸ : ۵۶	۷۰۴	ملایر	۴۸ : ۴۹	۳۷ : ۱۴	۱۷۴۰
خرم آباد*	۴۸ : ۱۷	۳۳ : ۲۶	۱۱۴۷/۸	مهاباد	۴۵ : ۴۵	۳۶ : ۵۰	۱۳۳۳
خرمدره*	۴۹ : ۱۱	۳۶ : ۱۱	۱۵۷۵	میاندوآب	۴۶ : ۰۹	۳۶ : ۵۸	۱۳۱۴
خلخال*	۴۸ : ۳۱	۳۷ : ۳۸	۱۷۹۶	میانه	۴۷ : ۴۲	۳۷ : ۲۰	۱۱۰۰
خوی*	۴۴ : ۵۸	۳۸ : ۳۳	۱۱۰۳	هفت تپه	۴۸ : ۲۱	۳۲ : ۰۵	۶۳
دزفول*	۴۸ : ۲۳	۳۲ : ۲۴	۱۴۳	همدان* (فرودگاه)	۴۸ : ۳۲	۳۴ : ۲۵	۱۷۴۱/۵
رشت*	۴۹ : ۳۶	۳۷ : ۱۵	-۶/۹	همدان* (نوزه)	۴۸ : ۴۳	۳۵ : ۱۲	۱۶۷۹/۷
روانسر*	۴۶ : ۳۹	۳۴ : ۴۳	۱۳۷۹	ارتفاع از سطح دریا به متر.			

است. روش تورنت وایت بر پایه میانگین دمای ماهانه (T) می‌باشد. در این مدل نخست دمای مؤثر ماهانه (Im) و سپس دمای مؤثر سالانه (I) محاسبه می‌شود. در صورتی که میانگین دما در یک ماه صفر یا منفی باشد برای آن ماه دمای مؤثر (Im) صفر در نظر گرفته می‌شود. از مجموع دمای مؤثر ماهانه، دمای مؤثر سالانه بدست می‌آید.

$$Im = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.51}$$

رابطه ۲:

سالانه نسبت به میانگین تبخیر و تعرق بیان شده است (Türkeş, 1999)

$$R = \frac{P}{ETP}$$

رابطه ۱:

در اینجا (R) شاخص یونپ، (P) میانگین بارش سالانه به میلیمتر و (ETP) میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل به میلیمتر است. در این پژوهش مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از شاخص تورنت وایت (علیزاده، ۱۳۸۳) محاسبه شده

خشکی از سری زمانی آماره کندال (t) استفاده شد.

$$t = \frac{4\sum H}{N(N-1)} - 1 \quad \text{رابطه ۶:}$$

در اینجا، $(\sum H)$ فراوانی تجمعی رتبه‌ها و (N) گویای دوره آماری است. آماره استاندارد من کندال (t_0)، با سطح معناداری (۰/۰۵) (\hat{a}) و یا بر پایه سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با (۱/۹۶) است. بر این اساس، مرز بحرانی، ($t = \pm 21$) تعیین شده است.

$$t_0 = \pm \hat{a} \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad \text{رابطه ۷:}$$

بنابراین اگر ($+1/96 < t_0 < -1/96$) باشد، روند سری زمانی معنادار نیست. در صورتی که ($t_0 < -1/96$) باشد، روند منفی و اگر ($t_0 > +1/96$) باشد روند مثبت در سری زمانی در سطح ۰/۰۵ درصد معنادار است.

۳- بحث

در این پژوهش نخست روند نوسان‌های زمانی عنصر بارش در طیف‌های ارتفاعی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش در سطح ارتفاعی (۵۰۰ < ۰۰۰) متر، به غیر از پارس‌آباد، بارندگی سالانه ایستگاه‌های دیگر دارای روند منفی است و در دزفول و کشت و صنعت کارون این روند در سطح ۰/۰۱ معنادار می‌باشد. بارندگی سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح ارتفاعی (۱۰۰۰-۵۰۰) متر روند منفی داشته و در سرپل ذهاب در سطح ۰/۵۰ معنادار است. در سطح ارتفاعی (۱۵۰۰-۱۰۰۰) متر، روند منفی در همه ایستگاه‌ها وجود دارد که در مراغه در سطح ۰/۰۱ و در ارومیه، مهاباد، ماکو در سطح ۰/۰۵ معنادار است. در ایستگاه‌های با ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر، بارندگی بیجار، سراب و سقز در سطح ۰/۰۵ معناداری نشان می‌دهد (جدول ۳).

به منظور شناخت پهنه‌های آب و هوایی در گوشه شمال غربی ایران و بررسی ضریب خشکی آب و هوایی بر پایه شاخص یونپ، نخست برای هر دهه به صورت جداگانه،

$$I = \sum_{k=1}^{12} Im \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$a = (6.27 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 - (1.792 \times 10^{-2})I - 0.492 \quad \text{رابطه ۵:}$$

رابطه (۴) تبخیر و تعرق پتانسیل هر ماه را با این گمان که هر ماه ۳۰ روزه و هر روز ۱۲ ساعت باشد، بدست می‌دهد. در صورتی که طول روز در ماه‌های سال متفاوت است. بنابراین با اعمال ضریب، اندازه تبخیر و تعرق پتانسیل هر ماه اصلاح شده است (طاوسی وهمکاران، ۱۳۸۹). بر پایه شاخص یونپ آستانه خشکی تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲: پهنه‌بندی آب و هوایی بر اساس شاخص خشکی یونپ

گونه آب و هوای	شاخص خشکی UNEP	خطر بیابانزایی
فراخشک	$R > 0.05$	بیابان واقعی
خشک	$0.05 > R > 0.2$	بسیار شدید
نیمه خشک	$0.2 > R > 0.5$	شدید
خشک نیمه مرطوب	$0.5 > R > 0.75$	متوسط
نیمه مرطوب	$0.75 > R > 0.9$	کم
مرطوب و بسیار مرطوب	$R > 0.9$	ندارد

پس از فراهم نمودن سری زمانی شاخص یونپ برای ۳۵ ایستگاه هواشناسی شمال غربی ایران، دوره ۳۰ ساله به سه دهه (۲۰۱۰-۲۰۰۱)، (۲۰۰۰-۱۹۹۱) و (۱۹۹۰-۱۹۸۱) تفکیک شد. سپس برای هر دهه به صورت جداگانه، میانگین بارندگی، تبخیر و تعرق و سرانجام شاخص خشکی یونپ برای هر ایستگاه هواشناسی محاسبه شد. سپس در محیط نرم افزاری SURFER و با استفاده از روش زمین آمار کریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس شاخص یونپ برای هر سه دهه ترسیم و با تفریق نقشه‌های دو دهه پایایی، تغییر ضریب خشکی و جابجایی پهنه‌های آب و هوایی در شمال غربی ایران مشخص شد.

سرانجام و به منظور بررسی روند دگرگونی ضریب

جدول ۳: نتایج آزمون روند بارش در ایستگاه‌های مورد بررسی در سطوح ارتفاعی مختلف

۵۰۰ < ۵۰۰							ارتفاع به متر
کشت و صنعت کارون	رشت	دزفول	پارس آباد	بندر انزلی	آستارا	Z	ایستگاه
-۳/۱۱	-۱/۱۰	-۲/۹۲	۰/۳۵	-۰/۱۰	-۰/۶۷		
**		**					معناداری
۵۰۰-۱۰۰۰							ارتفاع به متر
میانه			سرپل ذهاب			Z	ایستگاه
-۱/۳۵			-۱/۹۷				
			*				معناداری
۱۰۰-۱۵۰۰							ارتفاع به متر
خرم آباد	جلفا	تبریز	ایلام	اهر	ارومیه	اردبیل	ایستگاه
-۱/۴۳	-۱/۲۲	-۱/۲۸	-۱/۴۱	-۱/۴۴	-۲/۱۷	-۰/۸۸	Z
						*	معناداری
مهاباد	ماکو	مراغه	کنگاور	کرمانشاه	سنندج	خوی	ایستگاه
-۲/۳۴	-۲/۳۳	-۳/۰۴	-۰/۷۲	-۱/۴۳	-۱/۲۵	-۱/۴۳	Z
*	*	**					معناداری
۱۵۰۰ < ۲۰۰۰							ارتفاع به متر
خلخال	خرمدره	تکاب	بیجار	بروجرد	الیگودرز	اراک	ایستگاه
-۱/۷۹	-۱/۲۵	-۱/۹۷	-۲/۳۳	-۱/۰۷	-۰/۷۲	-۰/۷۲	Z
			*				معناداری
همدان	همدان	قروه	سقز	سردشت	سراب	زنجان	ایستگاه
-۰/۳۵	-۰/۳۶	-۱/۰۷	-۲/۱۵	-۱/۷۹	-۱/۹۷	-۱/۴۳	Z
			*			*	معناداری

* در سطح ۹۵ درصد معنی دار و ** در سطح ۹۹ درصد معنی دار

معکوس با دمای سالیانه دارد. افزایش این رقم دلیل بالا بودن رطوبت و کاهش آن معرف خشکی منطقه خواهد بود» (مهروی، ۱۳۸۱).

در مجموع میانگین تغییر شاخص یونپ منطقه منفی بوده و از (۰/۶۶) در دهه نخست (۱۹۹۰-۱۹۸۱) به (۰/۵۹) در دهه سوم (۲۰۱۰-۲۰۰۱) افت کرده است، یعنی میانگین ضریب خشکی هوا در منطقه برابر با (۰/۰۷-) خشک‌تر شده است. در این میان بیشترین تغییر منفی مربوط به سنندج (۰/۲۹-)، ارومیه (۰/۱۵-) و خوی (۰/۱۴-) بوده و

میانگین بارندگی، تبخیر و تعرق و سرانجام شاخص خشکی یونپ هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه شد. در مجموع، میانگین داده‌های ایستگاه‌ها گویای کاهش میانگین بارندگی و در نتیجه کاهش شاخص یونپ و افزایش ضریب خشکی بوده است. داده‌های میانگین بارندگی سالانه، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص یونپ محاسبه شده، ایستگاه‌های همدید و میانگین ۳۵ ایستگاه هواشناسی همدید و کلیماتولوژی در جدول ۴ ارائه شده است. «ضریب خشکی نسبت مستقیم با بارندگی و نسبت

ضریب خشکی آب و هوایی و گسترش قلمرو آب و هوای خشک و نیمه خشک در این منطقه می‌باشد.

نقشه (الف) نگاره (۱) نشان می‌دهد که در دهه نخست (۱۹۹۰-۱۹۸۱)، نوار به هم پیوسته‌ای از آب و هوای خشک نیمه مرطوب توانسته است آب و هوای نیمه خشک منطقه را به دو بخش جدا سازد. این نقشه نشان می‌دهد گستره سرزمین‌های نیمه خشک منطقه مورد مطالعه در دهه اول کمتر از دهه‌های بعدی بوده است.

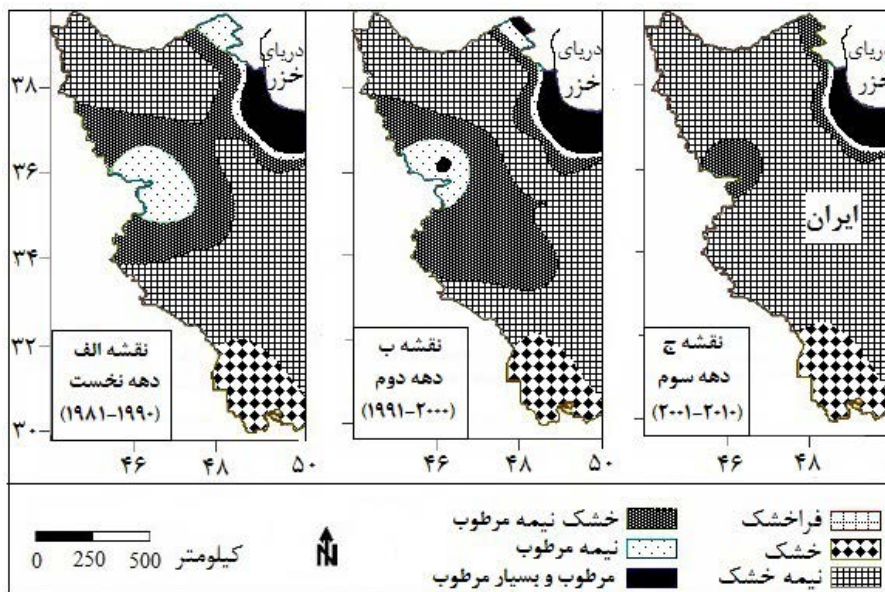
نقشه (ب) نگاره (۱) بیانگر دو رخداد متفاوت در دهه دوم (۲۰۰۰-۱۹۹۱) است. از یک سو مرز آب و هوای نیمه خشک گسترش یافته و از سوی دیگر با گسترش مرز آب و هوای نیمه خشک، این بار آب و هوای خشک نیمه مرطوب به دو بخش تقسیم شده و در مقابل، آب و هوای نیمه

خرم آباد با تغییر مثبت ناچیزی (۰/۰۱) در رتبه آخر جای می‌گیرد (جدول ۴).

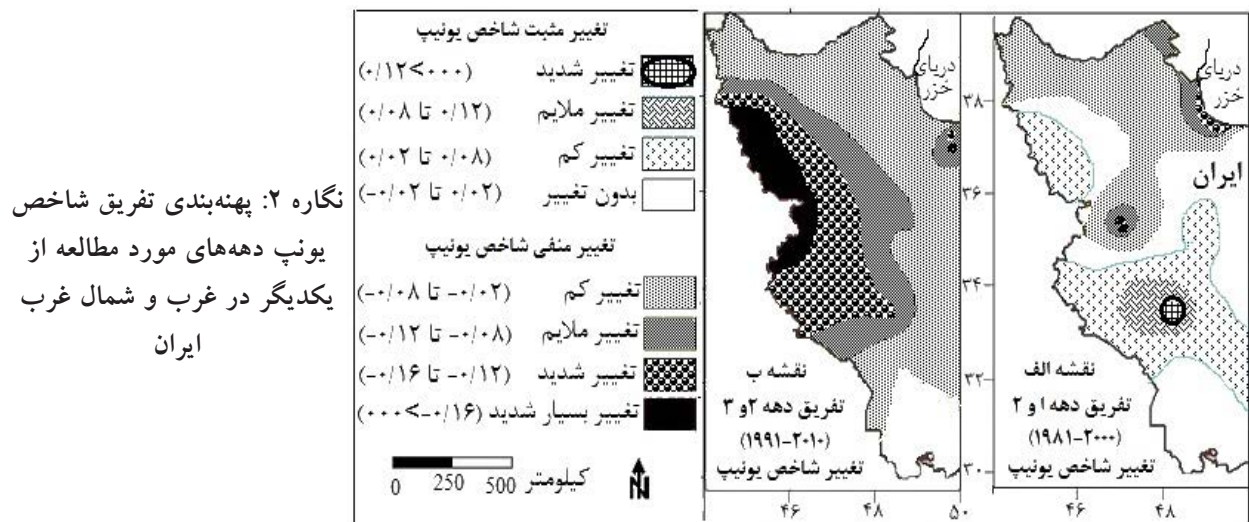
نقشه‌های ترسیم شده که بر پایه شاخص پیشنهادی برنامه محیط زیست ملل متحد (یونپ) و برای هر دهه به صورت جداگانه ترسیم شدند؛ گویای این واقعیت هستند که از شش طبقه آب و هوا که بر پایه ضریب خشکی تعریف شده است، پنج طبقه آن (به غیر از آب و هوای فراخشک) را می‌توان در شمال غرب ایران دید. اگر از آب و هوای خشک گوشه جنوب غربی نقشه نیز چشم پوشی شود (نگاره ۱)، باز هم چهار طبقه آب و هوا از نیمه خشک تا بسیار مرطوب در این بخش از کشور ایران دیده می‌شود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت، جابجایی مکانی پهنه‌های آب و هوایی در سه دهه پیاپی گویای افزایش

جدول ۴: میانگین بارندگی، تبخیر و تعرق و شاخص یونپ سالانه برای سه دهه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)

تغییر	۲۰۰۱-۲۰۱۰			۱۹۹۱-۲۰۰۰			۱۹۸۱-۱۹۹۰			محل
	R	ETP	P	R	ETP	P	R	ETP	P	
-۰/۰۷	۰/۳۶	۸۴۸	۳۰۵	۰/۴	۷۸۸	۳۱۰	۰/۴۳	۸۲۱	۳۵۳	اراک
-۰/۰۹	۰/۴۶	۶۲۰	۲۸۵	۰/۴۸	۵۹۰	۲۸۴	۰/۵۵	۶۲۵	۳۴۴	اردبیل
-۰/۱۵	۰/۳۵	۷۰۹	۲۴۸	۰/۵۵	۶۷۲	۳۶۹	۰/۵	۶۸۴	۳۴۲	ارومیه
-۰/۱۰	۲/۱	۸۳۲	۱۷۴۸	۲	۸۳۶	۱۶۷۲	۲/۲	۸۶۰	۱۸۹۲	انزلی
-۰/۰۹	۰/۲۹	۸۰۳	۲۳۲	۰/۳۴	۷۷۶	۲۶۴	۰/۳۸	۷۸۱	۲۹۸	تبریز
۰/۰۱	۰/۴۷	۹۷۸	۴۵۶	۰/۶	۸۸۱	۵۲۸	۰/۴۶	۹۵۷	۴۴۰	خرم آباد
-۰/۱۴	۰/۳۲	۷۶۵	۲۴۳	۰/۳۸	۷۰۹	۲۶۹	۰/۴۶	۷۱۶	۳۲۸	خوی
-۰/۰۲	۰/۲	۲۲۰۰	۴۴۰	۰/۲۳	۱۸۷۰	۴۳۰	۰/۲۲	۱۸۲۱	۳۹۵	دزفول
-۰/۱۱	۱/۵۲	۸۶۸	۱۳۲۰	۱/۶۵	۸۵۶	۱۴۱۱	۱/۶۳	۸۴۵	۱۳۸۳	رشت
-۰/۰۶	۰/۳۹	۶۹۵	۲۷۰	۰/۴۵	۶۶۹	۳۰۱	۰/۴۵	۷۲۱	۳۲۴	زنجان
-۰/۱۳	۰/۶۲	۶۷۴	۴۲۰	۰/۷۹	۶۶۱	۵۲۴	۰/۷۵	۷۲۵	۵۴۱	سقز
-۰/۲۹	۰/۴۵	۸۱۲	۳۶۵	۰/۵۹	۷۸۹	۴۶۵	۰/۷۴	۷۶۰	۵۶۲	سنندج
-۰/۰۷	۰/۴۵	۸۷۸	۳۹۵	۰/۵۹	۸۱۲	۴۷۹	۰/۵۲	۸۰۸	۴۲۰	کرمانشاه
-۰/۰۴	۰/۴۲	۷۱۲	۲۹۹	۰/۴۸	۶۸۵	۳۲۹	۰/۴۶	۶۹۶	۳۲۰	همدان فرودگاه
-۰/۰۴	۰/۴۲	۷۱۷	۳۰۱	۰/۵۱	۶۹۰	۳۵۲	۰/۴۶	۶۹۳	۳۱۸	همدان نوژه
-۰/۰۷	۰/۵۹	۸۷۴	۴۸۸	۰/۶۵	۸۱۹	۵۳۳	۰/۶۶	۸۳۴	۵۵۰	میانگین



نگاره ۱: تغییر پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران با استفاده از مدل یونپ (۲۰۱۰-۱۹۸۱)



نگاره ۲: پهنه‌بندی تفریق شاخص یونپ دهه‌های مورد مطالعه از یکدیگر در غرب و شمال غرب ایران

دهه، بیشترین گستره منطقه مورد مطالعه را آب و هوای نیمه خشک فرا گرفته است؛ و به جز کناره دریای مازندران، آب و هوای نیمه مرطوب و آب و هوای مرطوب و بسیار مرطوب از منطقه رخت بر بسته است. آب و هوای خشک نیمه مرطوب نیز به شدت محدود شده است.

نقشه الف نگاره (۲) که از تفریق شاخص یونپ دهه دوم (۲۰۰۰-۱۹۹۱) از دهه نخست (۱۹۹۰-۱۹۸۱) بدست آمده است، نشان می‌دهد که در شمال منطقه تغییر منفی و در جنوب منطقه مورد مطالعه تغییر مثبت رخ داده است. حد فاصل این دو منطقه نیز توسط قلمروهای فاقد هر گونه

خشک یک پارچه شده است. علاوه بر این، در شمال شرق دشت مغان (در راستای خط مرزی ایران و کشور آذربایجان از پيله سوار تا پارس آباد) ضریب خشکی کاهش یافته و آب و هوای نیمه مرطوب به آب و هوای مرطوب و بسیار مرطوب تغییر نموده است. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در دهه دوم، ضریب خشکی در بخش‌های مرطوب‌تر کاهش یافته و در بخش‌های خشک‌تر افزایش یافته است.

در نقشه (ج) نگاره (۱) افزایش ضریب خشکی و گسترش پهنه‌های آب و هوای خشک و نیمه خشک در دهه سوم (۲۰۰۱-۲۰۰۰) به روشنی دیده می‌شود. در این

که در آن ضریب خشکی از سطح آب و هوای نیمه مرطوب (۰/۷۴) به سطح آب و هوای نیمه خشک (۰/۴۵) تغییر یافته و با خطر خشکی شدید آب و هوا روبرو شده است. ایستگاه‌های اردبیل، ارومیه و کرمانشاه با تغییر ضریب خشکی بین (۰/۰۷-) تا (۰/۱۵-) و تغییر شدت درجه خشکی از سطح آب و هوای خشک نیمه مرطوب به آب و هوای نیمه خشک، از طبقه خطر خشکی متوسط به طبقه خطر خشکی شدید جا به جا شده است. ایستگاه هواشناسی دزفول که در دهه نخست دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و با خطر خشکی شدید روبرو بوده است با کاهش شاخص یونپ برابر با (۰/۰۲-) در دهه سوم به سطح آب و هوای خشک جا به جا شده و با خطر خشکی بسیار شدید دست به گریبان شده است. سقز در دهه (۱۹۹۰-۱۹۸۱) دارای آب و هوای مرطوب بوده ولی در دهه سوم تا سطح آب و هوای نیمه مرطوب خشک‌تر شده است و به خطر خشکی بیشتر دچار شده است.

نقشه‌های ترسیم شده نیز نشان داد که بیشترین گسترش مکانی آب و هوای خشک و نیمه خشک در دهه سوم روی داده است. به طوری که در غرب و شمال غرب ایران جایگزین شدن آب و هوای نیمه خشک به جای آب و هوای خشک نیمه مرطوب و آب و هوای نیمه مرطوب به روشنی دیده می‌شود.

به طور کلی، براساس طبقه‌بندی یونپ در این سه دهه، شمال غرب ایران از پتانسیل خشکی کم و متوسط به سمت پتانسیل خشکی شدید در حرکت است. در این شرایط اگر افزایش ضریب خشکی هوا با سایر رخدادهای تشدید کننده شرایط بیابانی همراه شود، می‌تواند فرآیندهای تخریب سرزمین را دو چندان سرعت بخشد.

آزمون من-کندال روی سری زمانی شاخص یونپ نشان داد که این شاخص در ۳۲ ایستگاه دارای روند کاهشی بوده است. به هر روی، این روند تنها برای ۶ ایستگاه ارومیه، تبریز، خوی، میاندوآب، پیرانشهر و سنندج در سطح ۰/۰۵ معنادار می‌باشد.

شاخص یونپ (R) در سه دهه مورد مطالعه گویای وجود ضریب همبستگی (۰/۰۴۶) است. ولی این همبستگی از نظر آماری معنادار نیست و نمی‌توان عامل اقلیمی ارتفاع را در تغییر شاخص یونپ چندان با اهمیت تلقی کرد. به هر روی، بررسی رابطه میان ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه و تبخیر و تعرق پتانسیل که نقش مهمی در تعیین شاخص یونپ دارد، نشان می‌دهد که ضریب همبستگی ارتفاع به عنوان عامل مستقل و تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان پدیده وابسته برابر با (۰/۵۳۴-) بوده و در سطح (۰/۰۵) معنادار است. در ضمن ضریب تعیین (R^2) نیز ۰/۲۸۵ است که بر اهمیت نقش ارتفاع در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل تأکید دارد. معادله رگرسیون ارتفاع (H) و تبخیر و تعرق پتانسیل (ETP) به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه نیز به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{ETP} = 1256 - 0.33 H$$

رابطه ۸:

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده بارندگی در سطح ارتفاعی (۵۰۰ < ۰۰۰) متر، ایستگاه‌های هواشناسی دزفول و کشت و صنعت کارون در سطح معناداری ۰/۰۱، در سطح ارتفاعی (۱۰۰۰-۵۰۰) متر، سرپل ذهاب در سطح ۰/۰۵، در سطح ارتفاعی (۱۵۰۰-۱۰۰۰) متر، مراغه در سطح ۰/۰۱ و ارومیه، مهاباد، ماکو در سطح ۰/۰۵ و در ایستگاه‌های با ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر، بیجار، سراب و سقز در سطح ۰/۰۵ روند منفی داشته است.

مقایسه تغییر شاخص پیشنهادی برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (یونپ) که بر پایه تغییرپذیری داده‌های دما و بارش سالانه ایستگاه‌های هواشناسی در سه دهه پیاپی در دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۱) انجام شد، گویای این است که کاهش میانگین بارندگی در این سه دهه به کاهش شاخص یونپ و یا به عبارتی دیگر افزایش ضریب خشکی هوا در منطقه مورد مطالعه منجر شده است.

در این میان بیشترین تغییر منفی مربوط به سنندج بوده

ارزیابی آماری آب و هوا براساس محاسبه شاخص (ACI) ایستگاه‌های حوضه دریاچه نمک، فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۱ شماره ۴، پیاپی ۱۷، صص ۴۷۴-۴۴۹.

۳. انصافی مقدم، طاهره، ۱۳۸۴، تعیین شاخص خشکی در حوضه دریاچه نمک به روش دمارتن، دوفصلنامه نیوار، شماره ۵۷-۵۶، صص ۵۵-۳۳.

۴. تیموری، عبدالمهی مایوان، نژادحسن، گرابی؛ مهدی، محبوبه، بتول، پرویز؛ ۱۳۹۰؛ بررسی روند شاخص خشکی در ایران، مرکز تحقیقات کم آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی، کرج: اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، صص ۸۸۸-۸۸۳.

۵. حسینی، کرمی، خسروشاهی؛ مجید، عزیز، محمد؛ ۱۳۸۲؛ توسعه روشی برای شناسایی و تفکیک مناطق بیابانی از دیدگاه اقلیم شناسی (مطالعه موردی استان تهران)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۰، صص ۵۵-۳۹.

۶. خسروشاهی، کاشکی، انصافی مقدم؛ محمد، محمدتقی، طاهره؛ ۱۳۸۸؛ قلمرو بیابان‌های اقلیم شناسی ایران، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۶، صص ۱۱۳-۹۶.

۷. سبزی پرور، میر مسعودی، ناظم السادات؛ علی اکبر، شقایق، محمدجعفر؛ ۱۳۹۰؛ بررسی تغییرات دراز مدت تبخیر و تعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۵، صص ۷۷-۶۳.

۸. طاوسی، محمودی، سرگلزایی مقدم؛ تقی، پیمان، فرزانه؛ ۱۳۸۹؛ مقایسه گسترش مکانی اقلیم خشک و نیمه خشک در ایران طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۱، صص ۱۰۵-۹۴.

۹. قلیزاده الپاوت، امینی نیا؛ حمید، کریم؛ ۱۳۹۴؛ بررسی تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل در تبریز، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۴۹، صص ۳۵-۱۹.

۱۰. کاشکی، غفوریان، خسروشاهی؛ محمدتقی، رضا، محمد؛ ۱۳۸۴؛ تهیه نقشه مناطق بیابانی استان خراسان بر

اگرچه بررسی رابطه بین ارتفاع محل با میزان تغییر شاخص یونپ (R) در سه دهه مورد مطالعه از نظر آماری معنادار نیست و نمی‌توان عامل اقلیمی ارتفاع را در تغییر شاخص یونپ چندان با اهمیت تلقی کرد. ولی ضریب همبستگی بین ارتفاع با تبخیر و تعرق پتانسیل برابر با (۰/۵۳۴-) و در سطح (۰/۰۵) معنادار است. همچنین ضریب تعیین (R^2) ۰/۲۸۵ بر اهمیت نقش ارتفاع در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل تأکید دارد.

در ضمن دستاورد پژوهش حاضر با نتایج پژوهشی که به بررسی تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل در تبریز پرداخته است نیز هماهنگی دارد. چرا که نتایج بررسی تغییرات سالیانه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل تبریز که با روش بلانی کرایدل محاسبه شده و با روش من کندال آزمون شده است، گویای کاهش نسبی تبخیر و تعرق بعد از دهه ۸۰ میلادی بود که تا اواسط دهه ۹۰ ادامه یافته است در حالی که پس از نیمه دوم دهه ۹۰، سیر صعودی تبخیر و تعرق چشمگیر است و با شیب تندی تا اواخر دهه اخیر دهه اخیر ادامه یافته است و افزایش معناداری را در تبخیر و تعرق سالانه نشان داده است (قلیزاده الپاوت و امینی نیا، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج حاصله از پژوهش حاضر و بر اساس تحقیق انجام شده در مناطق آب و هوایی گرم کشور ایران (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۰)، تأثیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر افزایش تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه تأیید می‌شود. لذا تجدید نظر در برنامه‌ریزی محیطی به منظور مدیریت منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی و سیستم‌های آبیاری در راستای احیای دریاچه ارومیه و پیشگیری از پیامدهای تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه ضرورت دارد.

منابع و مأخذ

۱. ابطحی، خسروشاهی؛ مرتضی، محمد؛ ۱۳۸۴؛ قلمرو بیابان‌های استان اصفهان از دیدگاه اقلیم شناسی، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۲، صص ۲۶۲-۲۴۹.

۲. انصافی مقدم، طاهره، ۱۳۸۳، ارائه روش بررسی و

22. Zhi-qing, C and Z. Zhen-da. 2001. Development of land desertification in Bashang area in the past 20 years. *Journal of Geographical Science*, 11(4): 433-437.

اساس پارامترهای اقلیمی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۲، صص ۱۹-۱۱. مهدوی، محمد، ۱۳۸۱، هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول، صفحه ۲۰۹.

12. Ahmadi, H., Azarnivand, H., Ekhtesasei, M.R. & Tazeh, M., 2012. A Research on Technogenic Desertification Indices (Case Study: Yazd), *Desert*, Volume 17, Issue 3: 211-214.

13. Ba, M. B., S. E. Nicholson and R. Frouin. 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.

14. Baltas, E., 2007, Spatial distribution of climatic indices in northern Greece, *Meteorological. Applications*. 14: 69-78.

15. Ghahreman; N. & Bakhtiari, B., 2009. Solar Radiation Estimation from Rainfall and Temperature Data in Arid and Semi-arid Climates of Iran, *Desert*, Volume 14, Issue 2: 141-150.

16. Hulme, M., 2001. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11: 19-29.

17. Khosroushahi, M. Kashki, M. T. & Ensafi Moghadam, T., 2009. Determination of climatological deserts in Iran, *Iranian journal of range and desert research*, Volume 16, Number 1 (34): 96-113.

18. Práválie, R., 2013, Climatic Issues on Airdity Trends of Southern Oltenia in the Last five decades, *Geographia, Technica*, No. 1, pp. 70 to 79.

19. 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.

20. UNEP, 1991. Stop Deserts Growing. Save Soils. *UNEP Calendar 1991*, UNEP, Nairobi.

21. Yousefi, Y. & Masoompour Samakosh, J., 2014. Temporal-Spatial Variability of the Severest Dry Spells in the North-West of Iran, *Desert*, Volume 19, Issue 1: 17-25.