

## اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3

اسداله خورانی<sup>۱</sup>  
زهرا جمالی<sup>۲</sup>

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه شدت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم در دو ایستگاه بندرعباس (خشک) و شهرکرد (نیمه خشک) است. به این منظور داده‌های روزانه بارش، ساعت آفتابی، دمای کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها به روش آماری و با مدل LARS-WG تحت سه سناریوی A1B, A2 و B1 ریزگردانی شده‌اند. سپس پارامترهای اقلیمی مذکور برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ شبیه‌سازی شده و اقدام به استخراج شاخص RDI از داده‌های پایه و داده‌های به دست آمده از مدل اقلیمی HADCM3 شده است. بر اساس تمام سناریوهای مورد مطالعه شدت خشکسالی در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد، بجز سناریوی B1 که کاهش خشکسالی را برای ایستگاه شهرکرد پیش‌بینی نموده است. در مجموع در ایستگاه بندرعباس طبق سناریوهای A1B, A2 و B1 درصد سال‌های خشک به ترتیب به میزان ۶/۷، ۱۰ و ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و در ایستگاه شهرکرد به ترتیب به میزان ۶/۷ و ۳/۳ افزایش می‌یابد در حالی که طبق سناریوی B1 در حدود ۱۰ درصد از شدت خشکسالی‌های ایستگاه شهرکرد کاسته می‌شود.

واژگان کلیدی: RDI، تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، مدل HADCM3، بندرعباس، شهرکرد.

1- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان.  
Email: khorani@hormozgan.ac.ir

2- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

## مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی تکرار شونده است که با کمبود منابع آب در دسترس در یک محدوده جغرافیایی بزرگ و در یک دوره زمانی مشخص، مرتبط است (روسی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰؛ اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۱؛ آشوک و همکاران، ۲۰۱۰). تعیین ابتدا و انتهای این پدیده مشکل و غیردقیق بوده و به واسطه اینکه اثرات آن با افزایش طول دوره خشکسالی افزایش می‌یابد به‌عنوان یک پدیده خزنده معرفی شده است (ویل‌هایت<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰). در سال‌های اخیر افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی مانند سیل و خشکسالی، همراه با شواهد گرمایش جهانی باعث افزایش توجه به پتانسیل تغییر اقلیم شده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۱).

بین وقوع خشکسالی‌های متناوب و پدیده تغییر اقلیم رابطه تنگاتنگی وجود دارد. پدیده تغییر اقلیم متأثر از تغییر در میزان تبادل و انرژی در سیستم اقلیمی می‌باشد. به‌همین دلیل بر چرخه آب‌شناسی تأثیر شدیدی می‌گذارد. گرم‌شدن کره زمین باعث افزایش تبخیر و ازدیاد تراکم بخار آب در جو می‌شود. در نتیجه میزان و الگوهای زمانی - مکانی نزولات آسمانی اعم از باران و برف تغییر می‌کند. بر اساس تحقیقات انجام گرفته، افزایش دما تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در آخر قرن حاضر به‌طور بالقوه می‌تواند منجر به تغییر در چرخه آب شده و در نتیجه ناهنجاری‌های هیدرواقليمی چون خشکسالی‌ها را تشدید کند (آرورا و کند<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱: ۳۳۳۶).

امروزه شاخص‌های متعددی برای مطالعه خشکسالی و امکان پایش کارآمد آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها با توجه به هدف متفاوت می‌باشند که از جمله آنها می‌توان نمایه خشکسالی احیایی<sup>۴</sup> را نام برد. این شاخص در سال ۱۹۹۶ میلادی توسط

1- Rossi

2- Wilhite

3- Arora

4- Reconnaissance Drought Index (RDI)

ویهرست<sup>۵</sup> ارائه شده و به‌عنوان ابزاری برای توصیف شدت و مدت خشکسالی و نیز پیش‌بینی زمان آغاز و پایان دوره خشکسالی توسعه یافته است. شاخص RDI با هر منطقه خاصی سازگار است (ونجلیس و همکاران، ۲۰۱۳) و مزیت آن این است که علاوه بر میزان آب، عوامل اقلیمی مانند تبخیر و تعرق نیز در این شاخص وارد شده‌اند (صمدی بروجنی و ابراهیمی، ۱۳۸۹: ۵۹).

یکی از معتبرترین ابزارهای موجود جهت شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آبی، استفاده از خروجی مدل‌های جفت شده جو-اقیانوسی گردش عمومی جو هستند. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تایید شده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۶</sup> مدل‌سازی نمایند (IPCC, 1995: 878). اما ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند (ویلی، ۱۹۹۸: ۲۹۹۶). برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ریزمقیاس شوند و داده‌های اقلیمی مورد نیاز برای آینده شبیه‌سازی گردند (جانسون، ۱۹۹۶: ۱۸۷۹).

از جمله مطالعاتی که شدت خشکسالی را در شرایط تغییر اقلیم بررسی نمودند می‌توان به (دستورانی و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۵۹) اشاره نمود. آن‌ها به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی شاخص خشکسالی RDI و SPI پرداختند و داده‌های دما (دمای بیشینه و کمینه) و بارش را به‌روش تناسبی CLIMGEN ریزمقیاس نمودند و از دو سناریوی A2 و B2 استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد با استفاده از هر دو شاخص روند خشکسالی طبق سناریوی A2 در آینده منفی است و طبق سناریوی B2 مثبت است. کیرونو<sup>۷</sup> خشکسالی را در ۱۲ منطقه استرالیا به‌وسیله مدل‌های چرخش عمومی جو (GCM) و شاخص RDI پیش‌بینی کردند. نتایج نشان می‌دهد برای اکثر نقاط مورد مطالعه خشکسالی همراه با نوساناتی در

5- Weyhorst

6- Intergovernmental Panel Of Climate Change (IPCC)

7- Kirono

حال افزایش است. هر چند این افزایش برای مناطق شمال غرب، شمال کوئیزلند، ساحل شرقی کوئیزلند و کوئیزلند مرکزی معنی‌دار نیست. تغییرات خشکسالی در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال‌های قبل از آن بیش‌تر است اما عدم قطعیت‌ها نیز در پیش‌بینی‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد. وروچیدو<sup>۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هیدرولوژیکی پرداختند. آنها خروجی سه مدل گردش عمومی جو (دما و بارش) با داده‌های WFD<sup>۹</sup> را مورد اصلاح آریبی قرار دادند. سپس بر پایه سناریوی A2 و B1 خشکسالی در مقیاس حوضه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد طبق هر دو سناریو تعداد وقایع خشکسالی (سیلاب، افت آب زیر زمینی و رطوبت خاک) در دهه‌های آینده افزایش می‌یابد

در مطالعاتی که توسط محققان قبلی صورت گرفته است عملکرد سناریوهای مختلف در پیش‌بینی شدت خشکسالی در ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف مورد توجه قرار نگرفته است. از این رو هدف از این تحقیق بررسی وضعیت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم در دو ایستگاه بندرعباس (گرم و خشک) و شهر کرد (نیمه‌خشک) است.

### مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق، ایستگاه‌های سینوپتیک بندرعباس و شهرکرد می‌باشد که موقعیت جغرافیایی آن در شکل (۱)، نشان داده شده است. ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در طول جغرافیایی ۵۶ درجه شرقی و عرض ۲۷ درجه شمالی و ایستگاه شهرکرد در طول جغرافیایی ۵۰ درجه شرقی و عرض ۳۲ درجه شمالی واقع شده است.

8- Vrochidou

9- B1WATCH Forcing Data



شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد در ایران

در اولین گام داده‌های روزانه مورد نیاز ایستگاه‌های مطالعاتی در این تحقیق که شامل: میانگین دمای کمینه، میانگین دمای بیشینه، دمای متوسط و بارش می‌باشد از پایگاه اینترنتی (درگاه) سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. در گام بعدی با استفاده از شاخص RDI اقدام به استخراج وضعیت خشکسالی برای دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ گردید. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره مورد مطالعه، مقدار ابتدایی یا 0 محاسبه می‌شود:

$$(1) \quad 0 \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}$$

در این جا P و PET به ترتیب، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در زامین ماه سال i هستند. مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین RDI نرمال ( $RDI_n$ ) است که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{Y_k^{(i)}}{\bar{Y}_k} RDI_{st}^i \quad (2)$$

در این جا  $\bar{Y}_k$  میانگین حسابی مقادیر  $Y_k$  مربوط به هر یک از سال‌های دوره آماری می‌باشد. جهت محاسبه شاخص RDI استاندارد شده ( $RDI_{st}$ ) از مقادیر سالانه  $Y_k$  لگاریتم گرفته می‌شود.

$$Y_k \ln(a_0^i) \quad (3)$$

پسپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد محاسبه می‌شود و به ترتیب  $\bar{Y}_k$  و  $Y_k$  نامیده می‌شوند. در نهایت شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

$$\frac{Y_k^{(i)} - \bar{Y}_k}{\sigma} RDI_{st}^{(i)} \quad (4)$$

آستانه‌های طبقه‌بندی خشکسالی RDI در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) طبقه‌بندی شاخص  $RDI_{st}$  و تعریف کلاس‌های خشکسالی متناظر با آن (اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۱)

طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص RDI
به شدت مرطوب	۲ و بیش تر از آن
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰ تا ۱/۹۹
خشکسالی ملایم	۰ تا -۱/۹۹
نسبتاً خشک	-۱/۴۹ تا -۱
خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
به شدت خشک	و کم تر از آن

همان‌طور که گفته شد برای محاسبه شاخص خشکسالی احيایی (RDI)، نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق است. در این مطالعه از روش تورنوایت برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده شده است.

به‌منظور بررسی خشکسالی در دوره‌های آتی ابتدا باید پارامترهای اقلیمی مورد نیاز را با استفاده از مدل GCM مورد نظر پیش‌بینی گردد. در این تحقیق جهت ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به‌کار می‌رود. به‌طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. بر این اساس برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره سی ساله ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به‌عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی دو ایستگاه بندرعباس و شهرکرد در این دوره آماری از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین  $R^2$ ، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) موجود در دوره پایه گردید (جدول ۱). در نهایت

۱۲-

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}, MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}, MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

در این روابط  $X_i$  و  $Y_i$  به‌ترتیب آماره‌های مشاهده‌شده واقعی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های ارزیابی می‌باشند.

پس از اطمینان از صحت مدل در ریزگردانی داده‌های اقلیمی اقدام تولید داده‌های آب و هوایی آینده گردید.

قابل ذکر است که در این تحقیق از سه سناریوی A1B, A2 و B1 که به ترتیب بدبینانه، متوسط و خوشبینانه‌اند استفاده شده است. در بین این سناریوها سناریوی A2 به دنیای امروز نزدیک‌تر است.

### یافته‌ها و بحث

#### ارزیابی مدل ریزگردانی LARS-WG

نتایج مربوط به ارزیابی مدل LARS-WG به وسیله شاخص‌های خطاسنجی در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق این جدول پایین بودن نسبی شاخص‌های خطاسنجی و بالا بودن ضریب تعیین در هر دو ایستگاه بندرعباس و شهرکرد حکایت از همبستگی معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای تمامی پارامترها در هر دو ایستگاه دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل LARS-WG پارامتر کمینه و بیشینه دما را نسبت به سایر پارامترها با دقت بیشتری شبیه‌سازی کرده است.

جدول (۲) ارزیابی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دو ایستگاه بندرعباس و شهرکرد

آماره				پارامتر مورد نظر	نام ایستگاه
RMSE= جذر میانگین مربعات خطا	MBE= میانگین خطای اریبی	MAE= میانگین خطای مطلق	R <sup>2</sup> = ضریب تبیین		
۲/۹۳	-۰/۴۱	۱/۶۲	۰/۹۸	بارش	بندرعباس
۰/۱۸	-۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۹۹	میانگین کمینه دما	
۰/۱۹	۰/۷	۰/۱۶	۰/۹۹	میانگین بیشینه دما	
۰/۵۱	-۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۹۹	ساعت آفتابی	
۳/۹۲	۰/۴۶	۳/۰۳	۰/۹۸	بارش	شهرکرد
۰/۱۶	-۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۹۹	میانگین کمینه دما	
۰/۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۹	۰/۹۹	میانگین بیشینه دما	
۰/۵	-۰/۳	۰/۴۳	۰/۷۵	ساعت آفتابی	



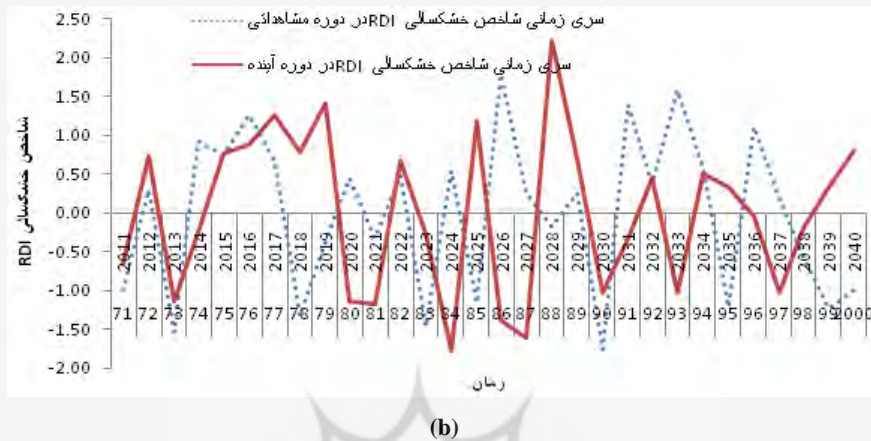
### وضعیت خشکسالی تحت سناریوی A1B

شکل (۲) وضعیت شاخص خشکسالی RDI را در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹) را در ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد تحت سناریوی A1B نشان می‌دهد. با توجه به این شکل شدت خشکسالی استخراج شده از مدل اقلیمی برای دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی در هر دو ایستگاه بیش‌تر شده است. به‌طوری که در مجموع تعداد سال‌های با شرایط خشکسالی (به‌شدت خشک، خیلی خشک و نسبتاً خشک) در این دو ایستگاه به‌ترتیب در آینده نسبت به دوره مشاهداتی به میزان ۲ و ۱ سال بیش‌تر شده است. در ایستگاه شهرکرد سال‌های به‌شدت مرطوب نیز به میزان ۱ سال کاهش یافته است.

با توجه به این سناریو در ایستگاه بندرعباس در شدیدترین خشکسالی میزان RDI به ۲/۳۵- خواهد رسید. متوالی‌ترین طول دوره خشکسالی نیز مربوط به ایستگاه بندرعباس به میزان ۳ سال است، اما در مجموع ایستگاه شهرکرد با تعداد ۹ سال دارای بیش‌ترین تعداد سال خشک نسبت به ایستگاه بندرعباس در آینده است.



(a)



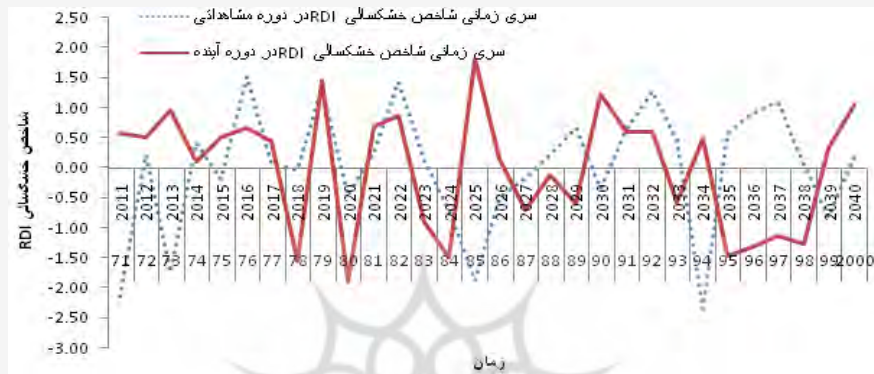
شکل (۲) مقایسه سری زمانی شاخص خشکسالی RDI استاندارد شده برای دوره پایه و دوره آینده در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های بندرعباس (a) و شهرکرد (b) تحت سناریوی A1B

بررسی روند خشکسالی در ایستگاه بندرعباس و شهرکرد نشان می‌دهد که روند خشکسالی در هر دو ایستگاه روبه افزایش است یعنی نمودار RDI رو به منفی شدن می‌باشد. روند کاهشی شاخص خشکسالی در هر دو ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰/۹۵ معنی‌دار است. همچنین طبق جدول‌های ۳ و ۴ به‌طور میانگین درصد سال‌های خشک ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد هر دو در حدود ۶/۷ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که درصد سال‌های مرطوب ایستگاه بندرعباس به میزان ۶/۷ درصد افزوده می‌شود و در ایستگاه شهرکرد به میزان ۳/۳ درصد از سال‌های مرطوب کاسته می‌شود.

#### وضعیت خشکسالی تحت سناریوی

شکل (۴) وضعیت شاخص RDI را در ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد را بر اساس سناریوی A2 نشان می‌دهد. تعداد سال‌های خشک در دوره مطالعاتی آینده نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد به ترتیب به میزان ۳ و ۱ سال افزایش یافته است. متوالی‌ترین طول دوره خشکسالی نیز مربوط به ایستگاه بندرعباس به میزان ۴ سال

است اما در مجموع ایستگاه شهرکرد با تعداد ۸ سال دارای بیش‌ترین تعداد سال خشک نسبت به ایستگاه بندرعباس در آینده است.



(a)



(b)

شکل (۴) مقایسه سری زمانی شاخص خشکسالی RDI استاندارد شده برای دوره مشاهداتی و دوره آینده در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های بندرعباس (a) و شهرکرد (b) تحت سناریوی A2.

سری زمانی شاخص خشکسالی RDI برای دوره آینده نشان می‌دهد روند خشکسالی در ایستگاه بندرعباس و شهرکرد روبه افزایش است یعنی نمودار RDI رو به منفی شدن می‌باشد. این روند افزایش خشکسالی در ایستگاه بندرعباس غیرمعنی‌دار و در ایستگاه شهرکرد در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین طبق جدول‌های ۳ و ۴ به‌طور میانگین

درصد سال‌های خشک ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد به ترتیب حدود ۱۰ و ۳/۳ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین درصد سال‌های مرطوب ایستگاه بندرعباس به میزان ۳/۳ درصد کاسته می‌شود درحالی‌که در ایستگاه شهرکرد درصد سال‌های مرطوب ثابت است.

### وضعیت خشکسالی تحت سناریوی B1

شکل (۶) وضعیت شاخص خشکسالی RDI، را در ایستگاه‌های بندرعباس و شهرکرد تحت سناریوی B1 نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در ایستگاه بندرعباس شاخص RDI به میزان ۱/۷۳ هم می‌رسد که در این شرایط در طبقه خیلی مرطوب قرار می‌گیرد. این شرایط برای ایستگاه شهرکرد در طبقه به‌شدت مرطوب قرار دارد. افزایش تعداد سال‌های خشک در دوره مطالعاتی آینده نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه بندرعباس به میزان ۳ سال است این در حالی‌است که تعداد سال‌های خشک در ایستگاه شهرکرد به میزان ۳ سال کاهش یافته است. متوالی‌ترین طول دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه بندرعباس به میزان ۴ سال خواهد بود. در مجموع ایستگاه بندرعباس با تعداد ۹ سال دارای بیش‌ترین تعداد سال خشک نسبت به ایستگاه شهرکرد در آینده است.



(a)



(b)

شکل (۶) مقایسه سری زمانی شاخص خشکسالی RDI استاندارد شده برای دوره پایه و دوره آینده در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های بندرعباس (a) و شهرکرد (b) تحت سناریوی B1

بررسی سری زمانی شاخص RDI برای دوره آینده نشان می‌دهد که روند این شاخص در ایستگاه بندرعباس کاهش است. این روند افزایش خشکسالی در سطح ۹۵ درصد غیرمعنی‌دار است. این در حالی است که روند شاخص خشکسالی در ایستگاه شهرکرد روبه کاهش است یعنی نمودار RDI روبه مثبت شدن پیش می‌رود. این روند نیز در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد غیرمعنی‌دار است. طبق جدول‌های ۳ و ۴ به‌طور میانگین در ایستگاه بندرعباس خشکسالی در حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که در ایستگاه شهرکرد در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین سال‌های مرطوب ایستگاه بندرعباس به میزان ۳/۳ درصد و ایستگاه شهرکرد در حدود ۶/۶ درصد کاسته می‌شود.

جدول (۳) نسبت سال‌های خشکسالی به کل دوره مورد مطالعه (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در ایستگاه بندرعباس (بر حسب درصد)

دوره مطالعاتی پایه	سناریوی B1	سناریوی A2	سناریوی A1B	طبقه‌بندی خشکسالی
.....	.....	.....	.....	به شدت مرطوب
.....	.....	.....	.....	خیلی مرطوب
.....	.....	.....	.....	نسبتاً مرطوب
.....	.....	.....	.....	نرمال
.....	.....	.....	.....	نسبتاً خشک
.....	.....	.....	.....	خیلی خشک
.....	.....	.....	.....	به شدت خشک

جدول (۴) نسبت سال‌های خشکسالی به کل دوره مورد مطالعه (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در ایستگاه شهرکرد (بر حسب درصد)

طبقه‌بندی خشکسالی	سناریوی A1B	سناریوی A2	سناریوی B1	دوره مطالعاتی پایه
به شدت مرطوب	۳/۳ درصد	.....	۳/۳ درصد	.....
خیلی مرطوب	.....	۶/۶ درصد	.....	۶/۶ درصد
نسبتاً مرطوب	۱۰ درصد	۱۰ درصد	۶/۶ درصد	۱۰ درصد
نرمال	۵۶/۶ درصد	۵۶/۶ درصد	۷۶/۶ درصد	۶۰ درصد
نسبتاً خشک	۲۳/۳ درصد	۲۰ درصد	۱۰ درصد	۱۳/۳ درصد
خیلی خشک	۶/۶ درصد	۶/۶ درصد	.....	۱۰ درصد
به شدت خشک	.....	.....	۳/۳ درصد	.....

قابل ذکر است به جهت پرهیز از زیاد شدن حجم مقاله، تجزیه و تحلیل‌های مربوط به پارامترهای روزانه بارش، ساعت آفتابی، دمای کمینه و بیشینه که از سناریوهای مختلف برای آینده به‌دست آمده‌اند، آورده نشده و تنها در بخش نتیجه‌گیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### نتیجه‌گیری

شاخص RDI که از دو عنصر اقلیمی بارش و تبخیر و تعرق استفاده می‌کند، مبنای نظری قوی را برای بررسی خشکسالی فراهم کرده است (ونجلیس<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳، اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۱). همانگونه که در این مطالعه نیز بررسی شد این شاخص در شرایط مختلف اقلیمی امکان مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی را فراهم می‌کند.

از سوی دیگر مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی نیز مهم‌ترین شبیه‌سازهای اقلیم آینده بر مبنای سناریوهای مختلف اقلیمی هستند که در این مطالعه با توجه به خروجی‌های این مدل‌ها اقدام به استخراج شاخص RDI شده است. مشخص شد که مدل LARS-WG

توانایی قابل قبولی در ریزگردانی داده‌ها در هر دو ایستگاه با شرایط اقلیمی و توپوگرافی متفاوت دارد. و از این جهت کار سجاد خان و همکاران در ۲۰۰۶ را تایید می‌کند.

در این مطالعه از سه سناریو (خوش‌بینانه، بدبینانه، متوسط) برای تولید داده‌های اقلیمی آینده استفاده شده است. نتیجه بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از دو سناریو A1B و A2 در این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از تحقیق خزانه‌داری و همکاران: ۱۳۸۷، ۱۳۸۴ هم‌خوانی دارد.

با توجه به اینکه در استخراج شاخص RDI علاوه بر بارش از تبخیر و تعرق نیز استفاده می‌شود، در این تحقیق شاهد هستیم که گاهی با وجود افزایش بارش خشکسالی نیز افزایش یافته یا تشدید شده است (طبق سناریو B1 برای بندرعباس) که این امر اثر تبخیر و تعرق را در برآورد شاخص نمایان ساخته است.

طبق تمام سناریوهای مورد مطالعه، با اینکه بارندگی در ایستگاه بندرعباس بیش‌تر از ایستگاه شهرکرد افزایش یافته است اما شدت خشکسالی در ایستگاه بندرعباس بیش‌تر برآورد گردیده است. این امر نیز می‌تواند به‌خاطر اثر تبخیر و تعرق در برآورد شاخص باشد. بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که عامل بارش به‌تنهایی در خشکسالی موثر نیست بلکه خشکسالی پدیده بسیار پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی در ایجاد آن دخالت دارند از طرفی ایران بنابه موقعیت اقلیمی و جغرافیایی که دارد بارش به‌عنوان ورودی و تبخیر و تعرق به‌عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود از این‌رو عامل تبخیر و تعرق عامل مهمی در خشکسالی محسوب می‌گردد.

## منابع

- اسدی‌زارچ، امین (۱۳۸۸)، «بررسی خشکسالی اقلیمی و شدت، تداوم و وسعت آن در ایران با استفاده از شاخص RDI»، کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یزد.
- خزانه‌داری، لیلی؛ زابل عباسی، فاطمه؛ قندهاری، شهرزاد؛ کوهی، منصوره و شراره ملبوسی (۱۳۸۸)، «دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده»، *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره ۱۲، صص ۸۳-۹۹.
- صمدی بروجنی، حسین و عطالله ابراهیمی (۱۳۸۹)، «پیامدهای خشکسالی و راه‌های مقابله با آن (در استان چهارمحال و بختیاری)»، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، *مرکز تحقیقات منابع آب*، دانشگاه شهرکرد، انتشارات سروش.
- Allen, R.G., Bastiaanssen W.G.M., Wright, J.L., Morse, A., Tasumi m. and Trezza, R., (2002), Evapotranspiration from satellite Image for Water Management and Hydrologic balances , *Proceedings of the 2002 ICID Conference*, Montreal, Canada pp, 1-12.
- Arora, VK, and Boer, GJ. (2001), Effects of Simulated Climate Change on the Hydrology of Major River Basin , *J. Geophys. Res.* 106, (D4), 3335-3348.
- AsadiZarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Dastorani, M. T., Kousari, M.R. (2011), Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resour Manage*, Vol. 25, Issue 13, pp 3485-3504.
- Ashok, K., Mishra, a., Vijay, P., Singh, B., (2010), A review of drought Concepts , *Journal of Hydrology*, 391 (2010) 202-216.
- Dastorani, M.T., Massahbavani, A.R., Poormohamadi, S., Rahimian. M.H, (2011), Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (case study: Yazd station, Central Iran) , *Desert*, 16 (2011) 159-167.



- IPCC. (1995), *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis*, Cambridge University Press, 878 PP.
- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P., and Ballard E.B. (1996), Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models, *Journal of Applied Meteorology*, 35, 1878-1896.
- Kirono, D.G.C., Kent, D.M., Hennessy, K.J., Mpelasoka, F. (2011), Characteristics of Australian droughts under enhanced green house conditions: results from global climate models, *Journal of Arid Environment*, 75 (2011) 566- 575.
- Rossi G. (2000), Drought mitigation measures: a comprehensive framework In: Voght JV, Somma F (eds) *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht.
- Mohammad Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., Dibike, Y. (2006), Uncertainty analysis of statistical downscaling methods, *Journal of Hydrology*, Vol. 319, Issues 1° 4, 15 March 2006, Pages 357° 382.
- Vangelis, H. Tigkas, D. Tsakiris, G. (2013), The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation *Journal of Arid Environments*, 88 (2013) 130e140.
- Vrochidou, A.-E.K., Tsanis, I.K., Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., (2013), The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale *Journal of Hydrology*, Vol. 476 (2013) 290-301.
- Wilby R.L., Wigley T.M.L., Conway D., Jones P.D., Hewitson B.C., Main J., and Wilks D.S. (1998), Statistical downscaling of General Circulation Model output: A comparison of methods, *Water Resources Reserch*, 34, 2995° 3008.
- Wilhite D. (2000), Drought preparedness in the U.S. In: Vogt JV, Somma F (eds) *Drought and drought mitigation in Europe*, Kluwer, The Netherlands, pp 119° 132