

## تحلیل فضایی نمایه خشکسالی اجمالی (RDI) در ایران مرکزی (مطالعه موردی: استان یزد)

مهران فاطمی<sup>۱</sup>، محمدحسن رحیمیان<sup>۲</sup>، محمد اکرامی<sup>۳</sup>، جلال برخوردار<sup>۴</sup>

نوع مقاله: پژوهشی - کاربردی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

### چکیده:

تاکنون شاخص‌های متعددی توسط محققان مختلف برای بررسی پدیده خشکسالی معرفی و استفاده شده‌اند که هر کدام به فراخور شرایط منطقه و پارامترهای تاثیرگذار بر خشکسالی، دارای توانایی‌ها و نواقصی خواهند بود. طی سال‌های اخیر شاخص خشکسالی اجمالی (RDI) بدلیل در نظر گرفتن توام بارش و تبخیر و تعرق، با استقبال بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها روبرو بوده و گاهاً مبنای مقایسه شدت خشکسالی و برآورد خسارات بالقوه آن در سطح ملی قرار گرفته است. تحقیق حاضر به بررسی شاخص RDI، مزایا، معایب و مشکلات پهنه‌بندی و تعمیم نتایج از مقیاس ملی به استانی پرداخته است. به همین منظور از آمار و ارقام ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان یزد استفاده شد و پس از محاسبه RDI برای هر ایستگاه، با نتایج ارائه شده در نقشه RDI کشوری در دوره زمانی مشابه، مقایسه و تحلیل گردید. نتایج این پژوهش در قالب ارائه نکات و ملاحظات فنی برای محاسبه و پهنه‌بندی RDI در مقیاس ملی و نحوه تعمیم به سطوح استانی با محوریت استان یزد و پیشنهادات اجرایی مربوطه برای تدقیق مطالعات و روش‌های پهنه‌بندی خشکسالی در کشور می‌باشد که به تفصیل به هر یک از آن‌ها پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، پهنه‌بندی RDI، تبخیر و تعرق مرجع، یزد، ایران.

۱ دکترای آب و هواشناسی، استادیار دانشگاه میبد، گروه جغرافیا، [yazdfatemi@yahoo.com](mailto:yazdfatemi@yahoo.com) - شماره تماس: ۰۹۱۳۲۷۴۸۲۲۷ (نویسنده مسئول)

۲ دکترای علوم و مهندسی آب، محقق مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران [mhrahimian@gmail.com](mailto:mhrahimian@gmail.com)

۳ دانشجوی دکتری آب دانشگاه هرمزگان، محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران [Ekrami64@gmail.com](mailto:Ekrami64@gmail.com)

۴ عضو هیئت علمی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان آموزش تحقیقات و ترویج کشاورزی [jbarkhordary@yahoo.com](mailto:jbarkhordary@yahoo.com)

## مقدمه

به لحاظ اقلیمی ایران جز مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود به طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم بارش سالیانه کره زمین است. همین میزان بارش نیز به طور یکنواخت در سطح کشور پخش نمی شود. تغییرات شدت بارش و توزیع نامناسب آن از ۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی متر در سال متغیر است. میزان سرانه آب جهان ۸۰۰۰ مترمکعب در سال است، این مقدار در ایران کمتر از ۲۰۰۰ مترمکعب در سال بوده که پیش بینی می شود تا سال ۱۴۰۰ این مقدار به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب در سال کاهش پیدا کند. اگرچه ایرانیان از زمانهای گذشته با احداث قنات و بندآبها سعی در حفظ حیات در کشوری با اقلیم خشک و نیمه خشک داشته اند، اما حوادث طبیعی اخیر این روند را کاملاً برهم زده است. کل آب مصرفی ایران ۹۰ میلیارد مترمکعب در سال است که ۸۵ میلیارد مترمکعب آن وارد چرخه کشاورزی میشود. از این مقدار، حدود ۶۵ درصد به علت شیوه های غلط آبیاری هدر می رود. به عبارت دیگر میانگین بازده آبیاری در ایران حدود ۳۲ درصد است. بررسیهای انجام شده در یک دوره آماری پنجاه ساله نشان داده است که میانگین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برابر ۱۸ ± ۶۷ میلیارد مترمکعب بوده که معادل با ۵۲٪ از منابع آب تجدید پذیر کشور است. میانگین این عدد در هفت سال اخیر به ۵ ± ۷۲ میلیارد مترمکعب رسیده که معادل با ۷۱٪ از منابع آب تجدید پذیر کشور است. (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). حجم آب تجدید شونده کشور با احتساب آبهای ورودی مرزی به کشور ۱۳۰ میلیارد متر مکعب می باشد. همچنین ارزیابی راندمان های آبیاری در سه دهه اخیر نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در دو دهه ۸۰-۷۱ و ۹۰-۸۱ و نیم دهه ۹۱-۹۴ به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد است. همچنین بررسی ها نشان داده است که راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانالهای انتقال و

توزیع) نیز در دهه های مذکور به ترتیب ۵۷/۱، ۶۱/۷ و ۷۴/۶ درصد است. بدین ترتیب راندمان کل در دهه های یاد شده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۱ و ۴۳/۸ درصد برآورد می شود. بنابراین، متوسط راندمان آبیاری در کشور، با راندمان آبیاری در کشورهای در حال توسعه (۴۵٪) قابل مقایسه ولی کم تر از راندمان آبیاری در کشورهای پیشرفته (حدود ۶۰٪) است. هرچند شرایط اقلیمی کشور ما از نظر بارندگی و پتانسیل تبخیر، با خیلی از کشورهای دیگر متفاوت می باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). ایران مرکزی دلیل شرایط خاص توپوگرافی و اقلیمی حاکم بر آن، بیشتر از سایر مناطق کشور تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و خشکسالی های پی در پی قرار دارد. قرارگیری سطح وسیعی از منابع آب و خاک شور در این منطقه و همچنین سایه افکنی بحران کم آبی بر این منابع، اهمیت بررسی موضوع خشکسالی و اثرات آن بر کمیت و کیفیت منابع آب و خاک این استان را دوجندان می کند. اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (شکری کوچک و همکاران، ۱۳۹۲). برای بررسی پدیده خشکسالی از روش های متعددی استفاده می شود که محاسبه و تحلیل شاخص های خشکسالی را می توان از این بین نام برد. شاخص های خشکسالی به عنوان یکی از مهمترین بخش های سیستم پایش خشکسالی، عامل تعیین کننده در پایش وضعیت خشکسالی و کمک به فرآیند تصمیم گیری در مدیریت خشکسالی می باشد (Mishra, 2010). تاکنون شاخص های متعددی توسط محققان مختلف برای بررسی خشکسالی در دنیا معرفی و استفاده شده اند. شاخصهای پالمر، ذخیره آب سطحی، درصد نرمال، دهکها، بارش استاندارد، رطوبت محصول، رطوبت خاک، محصول ویژه، بارش سراسری، ناهنجاری بارش، خشکسالی احيایی و بارش موثر از جمله این شاخصها هستند که توسط افراد مختلف ارائه شده اند (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۸). در سالیان

<sup>1</sup> . Drought Index

بیش از ۹۰٪ همبستگی دارند. مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۰) به اصلاح شاخص RDI با انتخاب مناسب ترین تابع توزیع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران پرداخت. بررسی مناسب ترین تابع توزیع نشان داد که توزیع (Johnson. SB) در ۵ ایستگاه از ۶ ایستگاه مورد بررسی به عنوان مناسب ترین تابع توزیع انتخاب شد که می تواند منجر به تغییر فراوانی و یا جابجایی طبقات خشکسالی در شاخص RDI گردد. شکوهی (۱۳۹۱) به مقایسه شاخص های RDI و SPI برای تحلیل خشکسالی کشاورزی در ایستگاه های قزوین و تاکستان پرداخت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری میان دو شاخص در ارزیابی و پایش خشکسالی وجود ندارد ولی شاخص RDI در مورد خشکسالی های بسیار شدید از حساسیت بیشتری برخوردار می باشد. زندی لک و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی دوره بازگشت خشکسالی کشاورزی گندم در استان فارس بر مبنای شاخص RDI پرداختند. نتایج نشان داد که خشکسالی کشاورزی گندم در دوره های بازگشت ۲ و ۵ سال، در کل استان فارس بهنجار می باشد، اما در دوره های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال شرایط متفاوتند. خرمبخت (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص های SPI، CZI، ZSI و RDI به شناخت ویژگی های مختلف خشکسالی منطقه لارستان پرداخت. پس از تحلیل آماری داده ها مشخص شد که دوام خشکسالی بر حسب ZSI بیش از سایر شاخص ها و در مقیاس ماهانه SPI مشخصه شدت را بیش از شاخص های دیگر نمایان می سازد، حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از شاخص های دیگر بوده است. هدف از انجام این پژوهش تحلیل و ارزیابی شاخص خشکسالی RDI برای پایش و پهنه بندی وضعیت خشکسالی، بررسی مزایا و معایب آن، محاسبه شاخص RDI در نقاط مختلف استان یزد و مقایسه نتایج آن با نقشه RDI در مقیاس ملی، ارائه پیشنهادات لازم برای تدقیق محاسبات RDI در سطح کشور و نهایتاً ارائه

اخیر شاخص های جدیدتری نظیر شاخص خشکسالی اجمالی یا RDI<sup>۱</sup> استفاده شده است. شاخص RDI در ایران و جهان سابقه طولانی نداشته، مربوط به سال ۲۰۰۴ بوده که توسط تیسکریس<sup>۲</sup> معرفی شده است. یکی دیگر از آنها شاخص SPI<sup>۳</sup> می باشد که توسط (McKee, 1993) ارائه شده است. این شاخص همانند RDI در بررسی خشکسالی های یک منطقه و تعیین شدت آنها کاربرد زیادی در سطح دنیا دارد. تحقیق انجام شده توسط (Tsakiris et al., 2006) نشان داد که شاخص خشکسالی RDI می تواند بهتر از شاخص خشکسالی SPI رابطه اقلیم با خشکسالی را نشان دهد. شاخص RDI با همان ساختار SPI به علت بهره گیری از تبخیر و تعرق پتانسیل در ساختار خود برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی و هیدرولوژیکی از قابلیت های ویژه ای برخوردار می باشد (علیرضا شکوهی، ۱۳۹۱).

(Sakiris et al., 2007) در تحقیقی به مقایسه شاخص های SPI، DI و RDI در منطقه مدیترانه پرداختند. آن ها برای ارزیابی کارایی شاخص RDI همبستگی آن با شاخص SPI را ملاک قرار دادند و بیان داشتند که RDI از مشابهت رفتاری بالایی با SPI برخوردار است. در ایران نیز از این شاخص ها استفاده های زیادی گردیده است. به عنوان مثال شاخص RDI در تبریز برای سال های ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۵ محاسبه شده است و نتیجه آن نشان می دهد که پارامتر اقلیمی افزایش دما با این شاخص همخوانی دارد، به طوری که دما در ایستگاه تبریز رو به افزایش بوده و شاخص RDI آن رو به منفی شدن می باشد (خوش نفس، ۱۳۸۶). در تحقیق دیگری که توسط پورمحمدی و همکارانش (۱۳۸۷) صورت گرفته است، شاخص خشکسالی RDI برای شهر یزد (طی ۵۰ سال) و به طور مشابه برای شهرستان زابل (طی ۴۰ سال آماری) برآورد و تجزیه و تحلیل شده است. طی این تحقیقات مشخص گردید که شاخص خشکسالی RDI با شاخص خشکسالی SPI

<sup>3</sup> -Standardized Precipitation Index

<sup>1</sup> -Reconnaissance Drought Index

<sup>2</sup> . Tsakiris



$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (1)$$

در این فرمول P و ET بارندگی و تبخیر و تعرق مرجع در ژامین ماه سال i هستند. مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد نمود. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق بصورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال (یا RDIn) هر سال است که از معادله (۲) زیر محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1 \quad (2)$$

که در این فرمول  $\bar{a}_0$  میانگین حسابی اعداد  $a_0$  هر سال می باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDI (یا RDIs) از مقادیر سالانه  $a_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $y_i$  بدست خواهد آمد. (  $y_i = Ln(a_0^{(i)})$  ). سپس میانگین حسابی و انحراف معیار این اعداد را محاسبه و به ترتیب  $\bar{y}_k$  و  $\hat{\sigma}_{yk}$  می نامیم. نهایتاً شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک معادله (۳) محاسبه خواهد شد.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}} \quad (3)$$

این شاخص از برازش تابع توزیع لوگ‌نرمال بر مقادیر نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق استفاده می‌کند. تفسیر مقادیر به دست آمده از روش فوق برای RDIs، بر اساس جدول شماره ۱ خواهد بود.

پیشنهادات لازم برای اصلاح روش‌های پیش و پهنه‌بندی خشکسالی کشاورزی در نقاط مختلف ایران می‌باشد.

## مواد و روش‌ها معرفی منطقه مطالعاتی

این پژوهش در استان یزد واقع در فلات مرکزی ایران انجام شده است. استان یزد از نظر منابع آب جزء فقیرترین استانهای کشور است. متوسط مجموع بارش سالیانه در این استان ۸۲/۲ میلی‌متر و متوسط مجموع تبخیر پتانسیل سالیانه استان ۳۱۹۳ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس آمار موجود، مجموع آب استحصالی از نزولات جوی استان یزد حدود ۹۷۳ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که معادل با ۱۶/۲ درصد از نزولات جوی سالیانه در این استان می‌باشد. بخش عمده‌ای از آب‌های استحصالی استان یزد متعلق به منابع آب زیرزمینی بوده و سهم ناچیزی از آن به برداشت از رودخانه‌های سطحی اختصاص دارد. میزان تخلیه سالانه از منابع آب زیرزمینی (شامل چاه، چشمه و قنات)، حدود ۱۱۹۳ میلیون متر مکعب است که همین مساله، استان یزد را با بیلان منفی ۳۰۳ میلیون متر مکعبی منابع آب در هر سال روبرو می‌نماید و آنرا در وضعیت بحرانی قرار می‌دهد (رحیمیان، ۱۳۹۶).

محاسبه و تحلیل شاخص RDI در استان یزد: برای تعیین شاخص RDI نیاز به آمار بارندگی و تبخیر و تعرق مرجع (پتانسیل) ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. در این پژوهش محاسبه شاخص برای دوره آماری (۱۳۸۳-۹۳) و در ایستگاههای سینوپتیک استان یزد انجام شد.

روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از معادله (۱) برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود:

جدول ۱- نحوه تعریف کلاس‌های خشکسالی/ترسالی بر اساس محدوده تغییرات شاخص RDIs

محدوده تغییرات	نام	کلاس	راهنمای رنگ‌بندی کلاس‌های خشکسالی/ترسالی
بیشتر از +۲	ترسالی بسیار شدید	بسیار	سبز تیره
بین +۱/۵ تا +۲	ترسالی شدید	شدید	سبز
بین +۱ تا +۱/۵	ترسالی متوسط	ترسالی	سبز روشن
بین +۰/۵ تا +۱	ترسالی ملایم	ترسالی ملایم	سبز بسیار روشن
بین -۰/۵ تا +۰/۵	تقریباً نرمال	تقریباً نرمال	سفید
بین -۱ تا -۰/۵	خشکسالی ملایم	خشکسالی	نارنجی
بین -۱/۵ تا -۱	خشکسالی متوسط	خشکسالی	نارنجی تیره
بین -۲ تا -۱/۵	خشکسالی شدید	خشکسالی	قرمز
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی	قهوه‌ای

محاسباتی برای تبخیر و تعرق مرجع استفاده شد و به کمک آن‌ها شاخص خشکسالی RDI برای تعدادی از ایستگاه‌های یزد محاسبه گردید.

#### بررسی و تفسیر نقشه RDI کشوری مربوط به سال زراعی ۹۱-۹۲ برای محدوده استان یزد

در این پژوهش نگاهی به نتایج پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی کشاورزی ایران مربوط به سال زراعی ۹۱-۹۲ و بر اساس شاخص RDI شد که توسط دبیرخانه کارگروه تخصصی خشکسالی، سرمازدگی و مخاطرات بخش کشاورزی (وزارت جهاد کشاورزی) تهیه و ارائه گردیده است (شکل ۱). بدلیل مشخص نبودن موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و مرز شهرها بر روی نقشه

در این فرمول، تاکید معرفی‌کننده شاخص RDI (تسکریس، ۲۰۰۴) بر استفاده از تبخیر و تعرق واقعی ( $ET_0$ ) به جای تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) در هر منطقه است. اما ایشان بدلیل دشواری‌های موجود بر سرراه  $ET_a$ ، تبخیر و تعرق مرجع را جایگزین مناسبی برای تبخیر و تعرق واقعی عنوان نموده و پیشنهاد کرده که یا از مشاهدات تبخیر از تشتک و یا از روش‌های تجربی نظیر تورنت‌وایت (۱۹۴۸) اقدام به محاسبه  $ET_0$  استفاده شود. معه‌ذا، به بدلیل اینکه محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به روش‌های متعدد دیگری بجز تورنت‌وایت هم امکان‌پذیر است، در این پژوهش سعی گردید که تاثیر انتخاب روش تعیین تبخیر و تعرق بر شاخص RDI بررسی و تحلیل شود. بدین منظور از روش‌های مختلف

اقدام به تفسیر این نقشه و مقایسه آن با نتایج محاسبه شاخص RDI در هر یک از ایستگاههای هواشناسی استان یزد شد.

مذکور و در اختیار نداشتن فایل رقومی آن، این نقشه دیجیت گردید و مرز استان یزد و ایستگاههای هواشناسی و شهرها بر روی آن منطبق شد. همچنین مساحت اختصاص یافته به هر کلاس خشکسالی/ترسالی در این نقشه مشخص و از نقشه استخراج شد. سپس

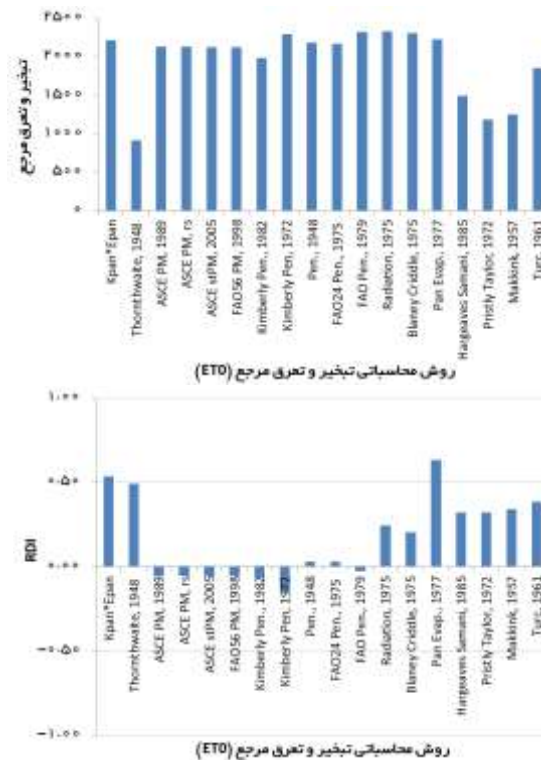


شکل ۱- پهنه بندی شاخص RDI مربوط به سال زراعی ۹۲-۹۱ (دبیرخانه کارگروه تخصصی خشکسالی، سرمازدگی و مخاطرات بخش کشاورزی، ۱۳۹۲)

که جای تامل است. به عنوان مثال، انتخاب روش تشتک تبخیر نسبت به سایر روشها منجر به ارتقای کلاس رطوبتی از نرمال به ترسالی ملایم شده است. این موضوع اگرچه در برخی سالها و یا برخی ایستگاهها ممکن است باعث جابجائی کلاسهای رطوبتی RDI نشود، اما تفاوتهای موجود در نتایج بدست آمده از روشهای مختلف تخمین  $ET_0$ ، اهمیت توجه به موضوع انتخاب روش مناسب برای  $ET_0$  را گوشزد می کند. البته با توجه به مطالعات گسترده صورت گرفته در این خصوص، امکان انتخاب مناسبترین روش تخمین  $ET_0$  برای هر منطقه و یا ایستگاه از طریق روشهای مختلف (انجام آنالیز حساسیت، تجزیه و تحلیل عاملی و ...) وجود دارد.

## نتایج و بحث

**اهمیت روش محاسباتی تبخیر و تعرق بر تغییرات RDI:** در پژوهش حاضر محاسبه  $ET_0$  به کمک ۱۸ روش مختلف (جدول ۱) انجام شد که در شکل ۲-الف نتایج آن برای یکی از ایستگاهها (ایستگاه سینوپتیک رباط پشت بادام) واقع در شمال غربی استان یزد نشان داده شده است. با توجه به مقدار  $ET_0$  محاسباتی توسط روشهای مختلف در این ایستگاه، شاخص RDI استاندارد به تفکیک هر روش محاسبه گردید که نتایج آن برای یکی از سالها در شکل ۲-ب نشان داده شده است. همانطوری که ملاحظه می گردد، با انتخاب روشهای مختلف محاسبه  $ET_0$ ، نتایج متفاوتی برای مقادیر RDI استاندارد حاصل خواهد شد



شکل ۲- تغییرات تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده به روش‌های مختلف و RDI مربوطه در ایستگاه رباط

تشخیص داده شده‌اند (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این، نتایج محاسبه  $ET_0$  به روش تورنت‌وایت (که روش پیشنهادی تعیین تبخیر و تعرق مرجع برای محاسبه RDI بوده است) می‌تواند در مناطق مختلف، تفاوت‌هایی را با سایر روش‌های محاسباتی و یا اندازه‌گیری  $ET_0$  داشته باشد. به عنوان مثال در تحقیق انجام شده توسط قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) در هشت ایستگاه سینوپتیک مشهد، گرگان، رشت، تهران، تبریز، کرمانشاه، شیراز و زاهدان مشخص شد که روش تورنت‌وایت در ایستگاه‌های مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه، شیراز و زاهدان، دارای کم‌برآورد و در ایستگاه رشت دارای بیش برآورد بوده است. این روش در ایستگاه گرگان در برخی سال‌ها دچار کم‌برآورد و در برخی دیگر از سال‌ها دچار بیش‌برآورد شده است

بنابراین باید اذعان شود که دقت در تعیین  $ET_0$  به دقت در تعیین RDI منجر خواهد شد و بالعکس. پیچیدگی محاسبات تبخیر و تعرق بدلیل تاثیر همزمان جمعی از پارامترهای هواشناسی بر روی این فرایند است؛ بطوری‌که این فرآیند در هر منطقه متأثر از پارامترهای مختلف هواشناسی (دما، سرعت باد، رطوبت، تشعشع) و با اولویت‌های مختلف است که شناسائی و اولویت‌بندی این پارامترها نقش مهمی در انتخاب روش مناسب در محاسبه  $ET_0$  ایفا خواهد کرد. به عنوان مثال در یکی از تحقیقات صورت گرفته در استان یزد، مشخص شد که از بین شش پارامتر هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی)، مهمترین و تاثیرگذارترین این پارامترها بر تبخیر و تعرق مرجع، در ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال متفاوت خواهد بود. در ایستگاه یزد و برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب پارامترهای دمای بیشینه، سرعت باد و رطوبت نسبی مهمترین پارامترهای اقلیمی تاثیرگذار بر تبخیر و تعرق مرجع





آماري موجود براي هر ايستگاه و كفايت داده‌ها از جمله محدوديت‌هايي است كه در اين مرحله بايد مدنظر قرار گيرد.

ب) مشاهده اثرات مثبت يا منفي ترسالي/خشكسالي در هر منطقه، داراي زمان تاخيري است كه مي‌تواند چند روز، چند ماه و يا سال باشد. زمان تاخير مذكور وابسته به شدت و وسعت خشكسالي/ترسالي در دوره زماني مذكور، شدت و وسعت خشكسالي/ترسالي در دوره‌هاي آبي، كفايت و كميت ذخاير آبي منطقه مطالعاتي، نوع و ميزان استحصال و مصرف آب و ... است كه همگي تحليل اين موضوع را كمى پيچيده مي‌نمايند. اما بطوركلي، بايد پذيرفت كه شاخص RDI محاسبه شده در يك سال مشخص، قابل تعميم به دوره‌هاي آبي نيست. دليل اصلي اين موضوع علاوه بر موارد فوق، به ماهيت پديده خشكسالي (غيرقابل پيش‌بيني بودن و يا عدم قطعيت در پيش‌بيني‌ها) و همچنين به ماهيت شاخص RDI مربوط است. براي تحليل بيشتري مساله، مي‌توان به محاسبات انجام شده از شاخص RDI طی یک دهه اخير (سال‌هاي ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) در ايستگاه‌هاي مختلف سينوپتيك استان يزد اشاره كرد (جدول ۲). همانطوري كه ملاحظه مي‌گردد، طی این دهه، خشكسالي/ترسالي‌هاي فراگيري در سطح استان يزد (در تمامي ايستگاه‌ها) حادث شده‌اند كه به ترتيب به سال‌هاي زراعي ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ برمي‌گردند. شكل ۳- الف نيز مقايسه‌اي بين شاخص RDI در سال ۸۶-۸۷ (خشكسالي فراگير استان يزد)، سال ماقبل (۸۵-۸۶) و سال مابعد (۸۷-۸۸) در ايستگاه‌هاي مختلف استان يزد را نشان مي‌دهد. همانطوري كه در اين نمودار مشاهده مي‌شود، در ايستگاه‌هاي تحت بررسي، نمي‌توان روند خاصي را براي تغييرات RDI تصور كرد؛ بطوري كه در سال ماقبل (سال ۸۶-۸۵) و در تمامي ايستگاه‌ها، مقدار RDI مثبت بوده است، اما در سال ۸۶-۸۷ تمامي ايستگاه‌هاي استان يزد (بدون استثناء) با RDI منفي مواجه شده‌اند و منجر به بروز خشكسالي فراگير در سطح استان يزد شده‌اند كه نشان‌دهنده غيرقابل

## اهميت در نظر گرفتن تابع توزيع احتمال در محاسبات RDI

همانطوري كه در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، شاخص RDI از تابع توزيع لوگ‌نرمال براي مقادير نسبت بارندگي بر تبخير و تعرق استفاده مي‌كند. بر اساس يافته‌هاي موجود، ممكن است كه اين تابع توزيع نتواند به عنوان مناسب‌ترين تابع توزيع بر مقادير نسبت P به ET در ايستگاه‌هاي مختلف هواشناسي برازش يابد. به عنوان مثال در تحقيق صورت گرفته توسط قبائلي‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) در هشت ايستگاه سينوپتيك مشهد، گرگان، رشت، تهران، تبريز، کرمانشاه، شیراز و زاهدان مشخص شد كه مناسب‌ترين تابع توزيع الزاماً لوگ‌نرمال نيست و مي‌تواند در هر منطقه تغيير نمايد. به عنوان مثال توابع پيرسون، جانسون و لوجستيك از جمله توابعي است كه در هر منطقه مي‌تواند جايزين تابع لوگ‌نرمال شود و محاسبات RDI را تدقيق نمايد. اهميت اين مساله از آنجائي است كه اصلاح تابع توزيع، مي‌تواند به جابجائي كلاس‌هاي رطوبتي (خشكسالي/ترسالي) نيز منجر گردد. بنابر اين ضرورت دارد تا در محاسبات RDI براي مقياص ملي، اين موضوع مدنظر قرار گرفته و تاثير آن بر RDI لحاظ شود.

## اهميت انتخاب سال‌هاي آماري مناسب براي بررسي‌هاي خشكسالي/ترسالي توسط RDI:

انتخاب سال‌هاي آماري از دو ديده‌گاه قابل طرح است: الف) در تعيين بسياري از شاخص‌هاي خشكسالي و در مرحله ميانگين‌گيري و تعيين انحراف معيار داده‌ها، طول دوره آماري بسيار حائز اهميت مي‌باشد. در مورد شاخص RDI به ميانگين حسابي  $(\bar{y}_k)$  و انحراف معيار  $(\hat{\sigma}_{y_k}^{(i)})$  مقادير  $y_i = Ln(a_0^{(i)})$  نياز است و بنابر اين طول دوره آماري براي محاسبه اين مقادير حائز اهميت خواهد بود. براي اين منظور، طول دوره آماري پيشنهادي ۳۰ تا ۵۰ سال است كه منتهي به سال اخير خواهد شد. در نظر گرفتن سال تاسيس، تعداد سال‌هاي

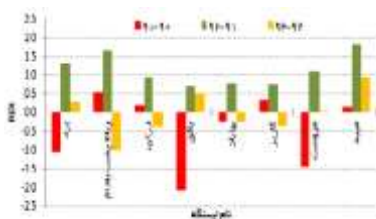


شدید مواجه بوده‌اند و وقوع یک ترسال پس از خشکسالی شدید، جبران خسارات و تبعات منفی ناشی از خشکسالی‌های قبلی را نخواهد کرد. علاوه بر این، با نگاهی به سال مابعد از ترسالی (سال ۹۲-۹۳)، در ایستگاه‌هایی نظیر رباط پشت بادام، خشکسالی شدیدی حادث شده است که اثرات مثبت ترسالی ماقبل را سریعاً محو خواهد کرد. با این توضیحات، مجدداً به غیرقابل تعمیم بودن نتایج شاخص RDI در یک سال مشخص، به سال مابعد تاکید می‌شود.

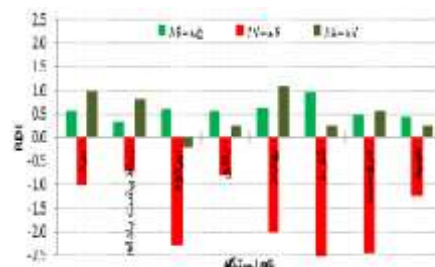
پیش‌بینی‌بودن پدیده خشکسالی و عدم تبعیت شاخص RDI از یک روند خاص می‌باشد. همین موضوع را می‌توان برای ترسالی حادث شده در سال زراعی ۹۲-۹۱ نیز بررسی کرد. شکل ۳-ب مقایسه شاخص RDIs در سال ۹۱-۹۲ (ترسالی فراگیر استان یزد)، سال ماقبل (۹۰-۹۱) و سال مابعد (۹۲-۹۳) در ایستگاه‌های مختلف استان یزد را نشان می‌دهد. در سال ماقبل از وقوع ترسالی (یعنی در سال ۹۱-۹۰)، تعدادی از ایستگاه‌ها نظیر یزد، بافق و مروست با خشکسالی

جدول ۲- محاسبه شاخص RDIs در ایستگاه‌های مختلف استان یزد طی یک دهه (۱۳۸۳-۹۳)

سال / ایستگاه	یزد	رباط پشت بادام	ابركوه	بافق	بهباد	گاریز	مروست	میبد
۸۳-۸۴	۰/۰۶	۰/۴۴	-۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۹	۰/۵۴	۰/۹۴	-۰/۴۵
۸۴-۸۵	-۰/۶۴	-۰/۳۶	-۰/۵۵	-۰/۴۷	-۰/۶۸	-۰/۱۴	۰/۲۱	-۰/۰۴
۸۵-۸۶	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۹۵	۰/۴۹	۰/۴۳
۸۶-۸۷	-۱/۰۱	-۰/۷۳	-۲/۳۰	-۰/۸۱	-۲/۰۱	-۲/۷۲	-۲/۴۶	-۱/۲۵
۸۷-۸۸	۰/۹۹	۰/۸۲	-۰/۲۱	۰/۲۵	۱/۱	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۲۷
۸۸-۸۹	-۰/۶۶	-۰/۳۱	۰/۲۹	-۰/۰۱	-۰/۲۷	-۰/۷۹	-۱/۱۱	۰/۱۵
۸۹-۹۰	-۰/۵۲	-۱/۳۸	-۰/۲	-۱/۰۹	-۱/۶۶	-۰/۰۸	-۰/۴۲	-۰/۳۷
۹۰-۹۱	-۱/۰۷	۰/۵۴	۰/۲	-۲/۰۸	-۰/۲۵	۰/۳۴	-۱/۴۵	۰/۱۵
۹۱-۹۲	۱/۲۹	۱/۶۵	۰/۹۵	۰/۷۰	۰/۷۸	۰/۷۵	۱/۱	۱/۸۲
۹۲-۹۳	۰/۲۹	-۱/۰۳	-۰/۳۸	۰/۵۲	-۰/۲۳	-۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۹۵



ب- ترسالی فراگیر



الف- خشکسالی فراگیر

شکل ۳- مقایسه شاخص RDIs در سال ۸۶-۸۷ (خشکسالی فراگیر) و سال ۹۱-۹۲ (ترسالی فراگیر)، سال‌های ماقبل و مابعد آن‌ها در ایستگاه‌های مختلف استان یزد



مربوطه و ارزیابی آماری آن قابل تشخیص است. البته استفاده از متغیرهای کمکی نظیر مدل رقومی ارتفاعات (DEM) در این روش توصیه می‌شود که بر دقت کار خواهد افزود. با نگاهی به نقشه ارائه شده RDI در مقیاس ملی (شکل ۱)، به نظر می‌رسد که تعداد و پراکنش نقاط استفاده شده برای درون‌یابی، کفایت لازم را نداشته‌اند. بطوری‌که تاثیر توپوگرافی (به عنوان اصلی‌ترین عامل دخیل در بارش و تبخیر و تعرق) در آن دیده نمی‌شود و وجود چندین لکه بر روی این نقشه در استان‌های یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان، اصفهان، همدان، گیلان، لرستان و اردبیل بیان‌گر عدم تبعیت اطلاعات نقطه‌ای از روند تغییرات مکانی RDI (سمی‌واریوگرام) است.

روش (ب) به مراتب وقت‌گیرتر و مشکل‌تر از روش (الف) است، اما نقشه‌های حاصله دقیق‌تر و قابل استنادتر خواهند بود؛ بطوری‌که بر روی نقشه خروجی پهنه‌بندی شده RDI، تاثیر توپوگرافی، کاربری اراضی و عوارض زمینی نیز مشهود خواهد بود. در این روش از روند تغییرات بارندگی با ارتفاع از سطح دریا (گرادیان بارش-ارتفاع) برای متغیر بارش در RDI استفاده خواهد شد. در مورد متغیر تبخیر و تعرق در RDI که تابع عوامل متعدد از جمله سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی (درصد ابرناکی) و دما است، تعیین روند تغییرات مکانی آن‌ها با پیچیدگی‌هایی روبرو است. با توجه به اینکه با کمک سنجش از دور (Remote sensing) و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، امکان پایش تبخیر و تعرق و عوامل موثر بر آن وجود دارد، توصیه می‌شود که در روش (ب) از این تکنیک نیز استفاده گردد تا تغییرات مکانی تبخیر و تعرق با عوارض زمینی همخوانی بیشتری داشته باشد.

- نقشه RDI استان یزد در سال زراعی ۹۱-۹۲:

شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی شده RDI استان یزد که از نقشه کشوری RDI استخراج شده است را نمایش می‌دهد. به منظور آدرس‌دهی بهتر این نقشه، مرز شهرستان‌ها و نقاط شهرهای استان یزد نیز به آن اضافه شده است. بر اساس نقشه مذکور، درصد مساحت اختصاص یافته به کلاس‌های ترسالی نرمال، ملایم،

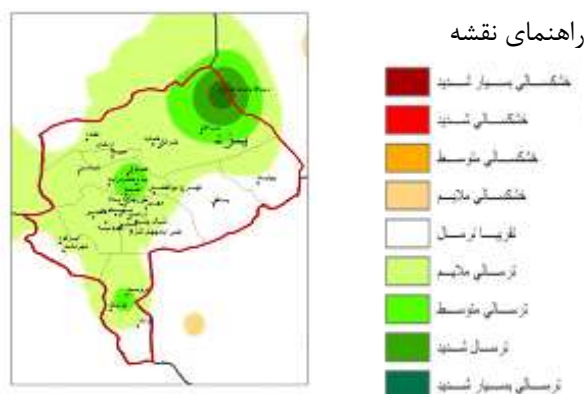
## پهنه‌بندی شاخص RDI و انتقادات وارد بر آن:

از دیدگاه تئوری و عملیاتی، پهنه‌بندی شاخص RDI به دو طریق کلی امکان‌پذیر است:  
الف) تعیین RDI در نقاط مختلف (ایستگاه‌های هواشناسی) و سپس درون‌یابی اعداد مربوطه به کمک روش‌های زمین‌آماری و طبقه‌بندی آن بر اساس حد بالا و پائین تعریف شده برای کلاس‌های مختلف خشکسالی.  
ب) پهنه‌بندی پارامترهای تشکیل‌دهنده شاخص مذکور یعنی بارندگی و تبخیر و تعرق به کمک روش‌های مختلف (از جمله استفاده از گرادیان بارش-ارتفاع و بکارگیری نقشه رقومی ارتفاعات، تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات جانبی مورد نیاز در تبخیر و تعرق) و سپس تهیه نقشه RDI با کمک تلفیق نقشه‌های بارندگی و تبخیر و تعرق.

در روش (الف) درون‌یابی مقادیر نقطه‌ای RDI به کمک روش‌های زمین‌آماری نظیر IDW, Kriging و غیره انجام می‌شود و لذا، تعیین نحوه تغییرات RDI از نظر مکانی (semi-variogram) ضرورت خواهد داشت. به عبارتی دیگر، مقادیر RDI بدست آمده در ایستگاه‌های مختلف باید با همدیگر ارتباط برقرارکنند و این ارتباط به شکل یک معادله ریاضی ارائه گردد. این معادله (سمی‌واریوگرام) دارای شعاع تاثیر (range) نیز هست؛ بطوریکه با افزایش فاصله نسبت به نقطه و خروج از شعاع تاثیر، اعتبار معادله مذکور از بین خواهد رفت و اعداد درون‌یابی/برون‌یابی شده فاقد اعتبار خواهند بود. بدیهی است که تعداد و محل قرارگیری نقاط (ایستگاه‌ها) نقش مهمی در تعیین تغییرات مکانی ایفا می‌نمایند و هر چه وسعت منطقه مورد نظر افزایش یابد و یا متغیر مربوطه (RDI) از شدت تغییرات بیشتری برخوردار باشد، تراکم و توزیع مکانی ایستگاه‌ها اهمیت بیشتری خواهد یافت. بنابراین در مقیاس ملی و با توجه به تغییرات توپوگرافی، اقلیم، بارندگی و تبخیر و تعرق، استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی RDI، نیازمند ایستگاه‌های ثبت زمینی به تعداد لازم و با پراکنش مکانی مناسب می‌باشد که باید مدنظر قرار گیرد. تعداد و پراکنش مناسب ایستگاه‌ها از طریق ارائه سمی‌واریوگرام



متوسط، شدید و بسیار شدید به ترتیب برابر با ۲۸، ۵۸، ۱۰، ۳ و ۱ درصد بوده است.

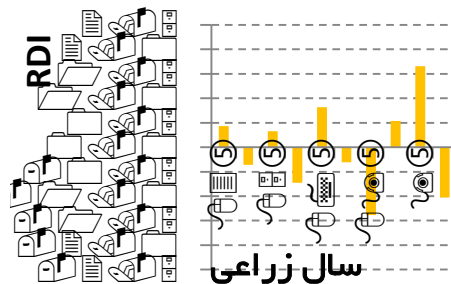


شکل ۴- استخراج نقشه پهنه‌بندی RDI استان یزد در سال زراعی ۹۱-۹۲ از نقشه کشوری

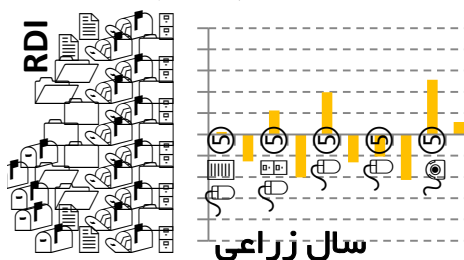
بر اساس شاخص RDI در این ایستگاه، وقوع رخداد‌های خشکسالی بر ترسالی غالب می‌باشد. ترسالی حادث شده در سال ۹۱-۹۲ نیز در این نمودار مشهود است. نقشه ارائه شده در شکل ۴ حاوی نکات دیگری نیز هست. از جمله اینکه ایستگاه‌های یزد و مروست نیز در زمره ایستگاه‌های ترسالی در سال ۹۱-۹۲ قرار گرفته‌اند. بدین منظور اقدام به بررسی تغییرات سالانه RDI در این ایستگاه‌ها گردید. شکل‌های شماره ۵-ب و ۵-ج تغییرات شاخص RDI در سال‌های مختلف زراعی در این دو ایستگاه را نشان می‌دهند. مقایسه RDI در سال زراعی مذکور با مقادیر آن در سایر سال‌ها، نشان‌دهنده عدم تبعیت شاخص RDI از یک روند خاص و غیرقابل تعمیم بودن نتایج RDI بدست آمده در یک سال به سال/سال‌های مابعد است. به عبارتی دیگر، مقدار RDI محاسبه شده در یک سال خاص، نمی‌تواند معرف خشکسالی/ترسالی آن منطقه باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که استناد به تغییرات طولانی‌مدت RDI (مثلاً برای دوره زمانی ۵ یا ۱۰ ساله اخیر) ملاک بهتری برای قضاوت در مورد وضعیت و شدت خشکسالی/ترسالی آن منطقه و انعکاس مناسب آن می‌تواند باشد.

مهمترین نکته‌ای که در این نقشه جلب توجه می‌کند، قرارگرفتن ایستگاه سینوپتیک رباط پشت‌بادام به عنوان منحصربه‌فردترین نقطه کشور از نظر مقدار عددی RDI در سال زراعی ۹۱-۹۲ است! بر اساس راهنمای نقشه، به نظر می‌رسد که مقدار RDI در ایستگاه مذکور بیشتر از ۲+ بوده و به عنوان تنهاترین نقطه در سطح کشور، آن را در کلاس "ترسالی بسیار شدید" قرار داده است. این در حالی است که بر اساس آمار موجود، میانگین بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک رباط پشت‌بادام ۱۱۸ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه آن بیش از ۳۱۶۰ میلی‌متر می‌باشد. در سال زراعی مذکور (۹۱-۹۲) بارندگی ایستگاه رباط پشت‌بادام به عدد ۱۹۸ میلی‌متر رسید که در طول دوره آماری درازمدت خود، یک استثناء بوده است و این ایستگاه هیچگاه چنین بارانی را تجربه نکرده است.

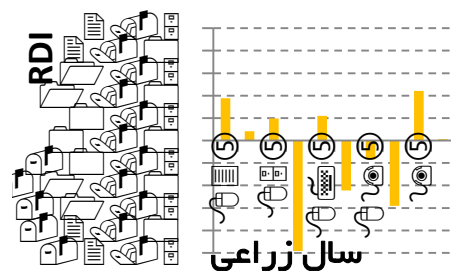
شکل ۵-الف تغییرات سالانه RDI محاسبه شده در ایستگاه مذکور را نشان می‌دهد. مقدار تبخیر و تعرق در این ایستگاه از طریق اندازه‌گیری‌های تشتک تبخیر (Epan) بدست آمده تا تاثیر روش محاسباتی ETO در آن به حداقل برسد. همان طوری که ملاحظه می‌گردد،



الف-رباط پشت بادام



ب-یزد



ج-مروست

شکل ۵- تغییرات شاخص RDI در ایستگاههای رباط پشت بادام، یزد و مروست در یک دهه اخیر

تصمیم‌گیری برای سال آینده، چندان منطقی نیست و باید مورد بازنگری قرار گیرد. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی‌های خشکسالی، پیشنهاد می‌شود که از روند تغییرات شاخص مذکور در یک دهه اخیر برای هر منطقه استفاده شود تا انعکاس مناسب‌تری از وقوع خشکسالی/ترسالی در هر منطقه صورت گیرد. یکی از موارد پیشنهادی در این زمینه، استفاده از شاخص‌های خشکی<sup>۱</sup> به جای شاخص‌های خشکسالی<sup>۲</sup> است که می‌تواند کمک زیادی به این مساله نماید و وضعیت هر منطقه از نظر فقر منابع آبی را بهتر نمایش دهد. قابل ذکر است که مقدار اولیه شاخص RDI یعنی  $a_k$  برای یک دوره ۱۲ ماهه، مشابه با شاخص خشکی UNEP عمل می‌نماید (قبائی‌سوق و مساعدی، ۱۳۹۲).

## نتیجه‌گیری

- وقوع خشکسالی/ترسالی در یک سال نمی‌تواند دلیلی بر خشکسالی/ترسالی در سال‌های آتی باشد. این موضوع جزء ماهیت خشکسالی و سایر پدیده‌های موجود در طبیعت نظیر زلزله، سیل، آتش‌سوزی، طوفان، گرد و غبار و ... است. به عبارتی دیگر داده‌های هواشناسی دارای خطر برون‌یابی (پیش‌بینی) هستند و برای برون‌یابی باید از تکنیک‌های خاص و یا از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و یا مدل‌های منطقه‌ای (RCM) استفاده کرد. البته این روش‌ها همگی عدم قطعیت داشته و دارای احتمال وقوع نیز می‌باشند که باید در پیش‌بینی‌ها مد نظر قرار گیرد. بنابراین، ارائه شاخص خشکسالی برای یک سال مشخص (مثلاً سال زراعی ۹۲-۹۱) و قراردادن آن به عنوان مبنای قضاوت و

<sup>2</sup> - Drought Indices

<sup>1</sup> - Aridity Indices



حساسیت، تعیین موثرترین فاکتورها در هر منطقه و سپس استفاده از مناسب‌ترین روش تخمین  $ET_0$ ، می‌تواند معضل انتخاب مناسب‌ترین روش برای تخمین  $ET_0$  را مرتفع نماید. بدیهی است که استفاده نامناسب از معادلات تخمین تبخیر و تعرق مرجع، زمینه خطا در محاسبه RDI و جابجائی کلاس‌های رطوبتی را ایجاد خواهد کرد. مناطق قابل تفکیک در سطح کشور می‌تواند شامل مناطق همگن اقلیمی، اکولوژیکی-زراعی و یا حوزه‌های آبریز اصلی کشور و یا بر اساس تغییرات توپوگرافی باشند. همچنین تدقیق محاسبات تبخیر و تعرق در کشور و پیشرفت به سوی استفاده از  $ET_a$  (تبخیر و تعرق واقعی) به جای  $ET_0$  (تبخیر و تعرق مرجع) در محاسبه شاخص خشکسالی RDI، از طریق بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های توازن انرژی نظیر سبال و متریک در مقیاس ملی پیشنهاد می‌شود. در تعیین بسیاری از شاخص‌های خشکسالی (نظیر RDI و SPI) و در مرحله میانگین‌گیری و تعیین انحراف معیار داده‌ها، طول دوره آماری و توزیع آماری حاکم بر داده‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. دوره آماری پیشنهادی ۳۰ سال است که منتهی به سال اخیر خواهد شد.

### پیشنهادات

استناد به تغییرات طولانی‌مدت RDI (مثلاً برای دوره زمانی ۵ یا ۱۰ ساله اخیر) ملاک بهتری برای قضاوت در مورد وضعیت و شدت خشکسالی/ترسالی هر منطقه و انعکاس مناسب‌تر واقعیت‌های حاکم بر آن منطقه می‌تواند باشد.

انجام آزمون نقاط پرت<sup>۱</sup> قبل از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های هواشناسی و اطمینان از صحت مقادیر حداکثر و حداقل ثبت شده در دوره‌های آماری تحت مطالعه پیشنهاد می‌شود.

اصلاح روش محاسباتی تورنت‌وایت برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) در ایستگاههای مختلف کشور از طریق اعمال ضرایب اصلاحی منطقه‌ای. مناطق قابل

-شاخص RDI با در نظر گرفتن پارامترهای بارندگی (P) و تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) در مجموع شاخص مناسبی برای پایش، پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی است. در ایران نیز استفاده از شاخص RDI پیشنهاد و استفاده زیادی شده است و بر اساس تحقیقات مختلف، این شاخص نسبت به SPI برتری‌هایی داشته است (جمشیدی و همکاران، ۲۰۱۲). نکته مهم و حائز اهمیت این است که استفاده و نتیجه‌گیری صحیح از شاخص RDI، منوط به تخمین مناسب  $ET_0$  در هر منطقه است. طبق نظر پیشنهاددهنده شاخص RDI (تسکریس و وانگلیس، ۲۰۰۵)، تبخیر و تعرق مرجع ترجیحاً یا باید به روش تجربی تورنت‌وایت (۱۹۴۸) و یا بر اساس داده‌های تشتک تبخیر (Epan) کلاس A تخمین زده شود. روش تورنت‌وایت به عنوان یک روش ساده نیازمند داده‌های میانگین درجه حرارت و ساعات آفتابی در هر ماه است، یکی از معایب روش تورنت‌وایت، بیش‌برآورد  $ET_0$  در مناطق مرطوب و کم‌برآورد  $ET_0$  در مناطق خشک است که این مساله، تعیین RDI در دو اقلیم مرطوب و خشک و مقایسه آن‌ها با یکدیگر را زیر سوال می‌برد. کم‌برآورد  $ET_0$  در مناطق خشک به معنی بیش‌برآورد RDI در این مناطق و در نتیجه ارتقاء کلاس‌های خشکسالی به سمت ترسال است. بنابراین اصلاح روش محاسباتی تورنت‌وایت برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) در ایستگاههای مختلف کشور از طریق اعمال ضرایب اصلاحی منطقه‌ای می‌تواند به حل این مساله کمک کند. در مقابل، داده‌های تشتک تبخیر بدلیل اندازه‌گیری تحت شرایط محلی، از مقبولیت و استاندارد بالاتری نسبت به روش محاسباتی تورنت‌وایت برخوردار است. چنانچه داده‌های تبخیر از تشتک (Epan) نیز در دسترس و قابل اعتماد باشد، استفاده از آمار مذکور در تعیین RDI و یا در تشخیص مناسب‌ترین معادله برای تخمین  $ET_0$  پیشنهاد می‌گردد. با توجه به تجارب و مطالعات گسترده انجام شده در زمینه تبخیر و تعرق در کشور (از جمله در استان یزد) به نظر می‌رسد که تخمین مناسب  $ET_0$  از طریق انجام آنالیز

<sup>1</sup> - outliers

در نظر گرفتن تغییرات توپوگرافی و کاربری‌های اراضی در پهنه‌بندی شاخص RDI به منظور انعکاس اثرات آنها بر نقشه نهایی RDI از طریق بکارگیری DEM، تصاویر ماهواره‌ای و سایر لایه‌های اطلاعاتی مرتبط.

در پهنه‌بندی و تهیه نقشه RDI، تعداد و محل قرارگیری نقاط (ایستگاه‌ها) نقش مهمی در تعیین روند تغییرات مکانی ایفا می‌نمایند و هر چه وسعت منطقه افزایش یابد و RDI از تنوع بیشتری برخوردار باشد، تراکم و توزیع مکانی نقاط زمینی اهمیت بیشتری خواهند یافت. استفاده از متغیرهای کمکی نظیر DEM یا تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در افزایش دقت نقشه RDI در مقیاس ملی و انطباق آن با عوارض زمینی کمک زیادی نماید. علاوه بر این، تعیین مناطق همگن در سطح کشور و تعیین شاخص‌های (های) خشکسالی را در هر یک از این مناطق و مقایسه منطقه‌ای شدت خشکسالی در کشور، می‌تواند جایگزین مناسبی برای عملیات درون‌یابی نقطه‌ای RDI یا سایر شاخص‌های خشکسالی باشد.

استفاده از شاخص‌های تلفیقی نظیر IDI که هم تاثیر عناصر هواشناسی (مثلاً بارندگی و دما) و هم تاثیر پوشش‌های گیاهی و خاک را برای تعیین اثر خشکسالی بر رطوبت خاک و تغییرات پوشش گیاهی در نظر می‌گیرد. این شاخص‌ها از طریق تلفیق داده‌های زمینی (ایستگاه‌های هواشناسی) با اطلاعات ماهواره‌ای حاصل می‌شوند که علاوه بر در نظر گرفتن وضعیت رطوبت خاک و پوشش گیاهی زمین، امکان پهنه‌بندی اثرات خشکسالی در هر مقیاسی را فراهم می‌کنند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب و همچنین دارا بودن باند حرارتی (ترمال) برای انعکاس اثر رطوبت خاک، در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

بررسی روش‌های مختلف تعیین بارش موثر (اعم از روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری، فرمولهای تجربی و توصیه شده) برای مناطق خشک و مرطوب و تفکیک درجه تاثیرگذاری بارندگی در مناطق خشک نسبت به سایر مناطق. این موضوع به تشخیص کارائی شاخص‌های مختلف خشکسالی و تاثیر آن بر نگهداری رطوبت خاک

تفکیک در سطح کشور می‌توانند شامل مناطق همگن اقلیمی، مناطق اکولوژیکی-زراعی (AEZ)، حوزه‌های آبریز اصلی کشور و یا بر اساس تغییرات توپوگرافی باشند. انتخاب مناسب‌ترین روش محاسبه  $ET_0$  برای هر منطقه از طریق انجام آنالیزهای حساسیت و تحلیل عاملی<sup>۱</sup> و شناسایی مهمترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق در هر منطقه و سپس انتخاب مناسب‌ترین روش تعیین  $ET_0$  به صورت منطقه‌ای. مناطق قابل تفکیک در این مرحله می‌توانند مناطق همگن اقلیمی، مناطق اکولوژیکی-زراعی (AEZ)، حوزه‌های آبریز اصلی کشور و یا بر اساس تغییرات توپوگرافی و یا بر اساس عوامل دسته‌بندی شده تاثیرگذار بر تبخیر و تعرق باشند. یکی از دستاوردهای استفاده از این روش اینست که به جای استفاده از روش‌های زمین‌آماری (درون‌یابی) برای پهنه‌بندی RDI و برخورد با مشکل عدم کفایت نقاط از نظر تعداد و پراکنش مکانی، می‌توان اقدام به تعیین مناطق همگن در سطح کشور نمود و با کمک ایستگاه‌های موجود در هر منطقه، شاخص‌های (های) خشکسالی این مناطق را تعیین و سپس در خصوص وضعیت حاکم خشکسالی در سطح کشور، تصمیم‌گیری نمود.

استانداردسازی نحوه تعیین  $ET_0$  برای محاسبه RDI از طریق بکارگیری داده‌های مشاهداتی تشکک تبخیر (Epan) و اعمال ضریب فصلی تشکک (Kpan) برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع در هر ایستگاه از کشور.

تدقیق محاسبات تبخیر و تعرق در کشور و پیشرفت به سوی استفاده از  $ET_a$  (تبخیر و تعرق واقعی) به جای  $ET_0$  (تبخیر و تعرق مرجع) در محاسبه شاخص خشکسالی RDI، از طریق بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های توازن انرژی نظیر SEBAL در مقیاس ملی.

تجهیز و نصب ایستگاه‌های جدید هواشناسی در نقاط مختلف کشور برای ایجاد تراکم و توزیع مکانی مناسب نقاط به منظور پهنه‌بندی دقیق‌تر و اصولی RDI یا سایر شاخص‌های خشکسالی در سطح کشور.

<sup>1</sup> - Factor Analysis



رخدادهای بارندگی سالانه در هر منطقه و تحلیل نتایج حاصله، کمک زیادی به موضوع خواهد نمود.

کمک زیادی خواهد کرد. استفاده از سری زمانی سالانه از تصاویر ماهواره‌ای، محاسبه شاخص‌های سنجش از دوری تشخیص رطوبت خاک و منطبق‌سازی آن با

## منابع

- پورمحمدی، س.، رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۸. پهنه بندی خشکسالی و تعیین مناطق خطر خیز استان یزد با استفاده از شاخصهای RDI و SPI. دومین همایش ملی خشکسالی و راههای مدیریت آن. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- پورمحمدی، س.، ملکی نژاد، ح.، رحیمیان، م. ۱۳۸۹. بررسی نقش عوامل فیزیوگرافیکی بر روی پارامترهای اقلیمی موثر بر تبخیر و تعرق (مطالعه موردی: استان یزد). مجله علمی پژوهشی خشکبوم، دانشگاه یزد.
- خرمبخت، ا.ع.، مشیری، ر.، مهدوی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی مشخصه‌های خشکسالی اقلیمی در منطقه لارستان. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای. سال چهارم. شماره ۱۳. ۱۲۰-۱۰۳.
- رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۶، تدوین سند بهره‌وری آب کشاورزی استان یزد، گزارش فنی مرکز ملی تحقیقات شوری. یزد، ایران، ص. ۱۲۹.
- زندلی‌لک، ح.، فولادوند، ح.، بوستانی، ف. ۱۳۹۳. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی کشاورزی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص RDI. مجله علمی مهندسی آب، سال هفتم، ۱۰-۱.
- شکوهری، ع. ۱۳۹۱. مقایسه شاخص‌های RDI و SPI برای تحلیل خشکسالی در مقیاس ایستگاهی با تکیه بر خشکسالی کشاورزی (مطالعه موردی: قزوین و تاکستان). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. سال سوم. شماره نهم. ۱۱۱-۱۲۲.
- طالبی، ع.، پورمحمدی، س.، رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۹. بررسی عوامل موثر در تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو - پنمن - مانتیث (مطالعه موردی: ایستگاههای یزد، طبس و مروست). مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران.
- عباسی ف.، ا.، ناصری، ف.، سهراب، ج.، باغانی، ن.، عباسی و م. اکبری، ۱۳۹۴، ارتقای بهره‌وری مصرف آب، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران، ص. ۶۸.
- قبنائی‌سوق، م.، مساعدی، ا. ۱۳۹۱. طراحی فرآیند انتخاب شاخص مناسب بر مبنای پایش چند معرفه خشکسالی در محدوده تعدادی از ایستگاه‌های ناحیه ی خشک و نیمه خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶. شماره ۲. ۴۱۴-۴۲۶.





قبائلی سوق، م.، مساعدی، ا. ۱۳۹۲. اصلاح شاخص خشکسالی RDI بر اساس مناسب ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و تابع توزیع احتمال. نشریه مرتع و آبخیزداری. دوره ۶۶. شماره ۴. ۵۶۵ تا ۵۸۲.

مساعدی، ا.، قبائلی سوق، م. ۱۳۹۰. اصلاح شاخص RDI با انتخاب مناسب ترین تابع توزیع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، دانشگاه تهران.

مقیم، م.م.، کوهی، ا.، زارعی، ع. ۱۳۹۷. پایش و پیش بینی وضعیت خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص RDI و مدل ریاضی زنجیره مارکوف. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۳۱، بهار ۹۷.

EVAPOTRANSPIRATION CALCULATION Allen R., 2011, Ref-ET user's manual (Ver. 3.1): SOFTWARE for FAO and ASCE Standardized Equations, University of Idaho.

Dastorani M. T., Massah Bavani A.R., Poormohammadi, S, Rahimian M. H., 2011, Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (Case study: Yazd station, Central Iran), Desert, Vol. 16, 159-167.

Jamshidi, H., Khalili, D., Zadeh, M., and Hosseinipour, E. 2011. Assessment and Comparison of SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Selected Synoptic Stations of Iran. World Environmental and Water Resources Congress 2011: pp. 1161-1173. doi: 10.1061/41173(414)120

Mishra A.K., and Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391: 202-216.

Tsakiris G, 2004. Meteorological Drought Assessment. Paper prepared for the needs of the European Research Program MEDROPLAN (Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning), Zaragoza, Spain

Tsakiris G., D. Pangalou, H. Vangelis, 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), Journal of Water Resource Management, 21:821-833

## Spatial Analysis of Reconnaissance Drought Index(RDI) in Central Iran (Case Study: Yazd Province)

Mehran Fatemi<sup>1</sup>, Mohammad Hassan Rahimian<sup>2</sup>, Mohammad Ekrami<sup>3</sup>, Jalal barkhordari<sup>4</sup>

### Abstract

Several indicators have been proposed by researchers for the study of drought, each of which having certain strengths and drawbacks depending on the regional conditions and parameters affecting drought. In recent years, RDI has received greater attention as it accounts for precipitation and evapotranspiration, and is sometimes used as the basis for comparison of drought severity and the assessment of its potential damage at the national level. The present research examines RDI index along with benefits, drawbacks and problems of zoning and generalization of findings at the national level to provinces. For this purpose, the statistics derived from synoptic stations of Yazd province was utilized and after calculating RDI for each station, a comparison was drawn with the results presented in the national RDI map for the same time period. The results of this study provide technical points and considerations for calculating and zoning RDI at the national scale and generalizing findings to provincial levels, with special emphasis on Yazd province. It also offers relevant executive suggestions for improving the precision of drought zonation studies and methods across the country, which have been discussed in details.

**Keywords:** drought, RDI zoning, reference evapotranspiration, Yazd, Iran

---

1Correspondent Author, Ph.D . in Climatology, Faculty of Member Meyod University, Yazd, Iran, Email: [yazdfatemi@yahoo.com](mailto:yazdfatemi@yahoo.com).

2 Ph.D. in Water Engineering, Researcher of National Salinity Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran., Email: [mhrahimian@gmail.com](mailto:mhrahimian@gmail.com)

3Ph.D Student of watershed management engineering in Hormozgan University & Agricultural and natural resources research- and Education center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.Email: [Ekrami64@gmail.com](mailto:Ekrami64@gmail.com).

4Faculty member of Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran. Email: [jbarkhordary@yahoo.com](mailto:jbarkhordary@yahoo.com)