نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال نهم. شماره سی و ششم. تابستان ۱۳۹۸

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

مهران فاطمی[۱]، محمدحسن رحیمیان[۲]، محمد اکرامی[۳]، جلال برخورداری[۴]

نوع مقاله: پژوهشی – کاربردی
تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۱۰/۲۵
تاریخ بذیرش: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 دکتری آب و هواشناسی، استادیار دانشگاه میبد، گروه جغرافیا، -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

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

۴عضو هیئت علمی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان آموزش تحقیقات و ترویج کشاورزیjbarkhordary@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 می‌شود 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 می‌رود. 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 شوند کشور با احتساب آبهای ورودی مرزی به کشور ۱۳۰ میلیارد متر مکعب می‌باشد. همچنین ارزیابی راندمان های آبیاری در سه دهۀ اخیر نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در دو دهۀ ۸۰-۷۱ و ۹۰-۸۱ و نیم دهه ۹۱-۹۴ به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد است. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانالهای انتقال و توزیع) نیز در ده ههای 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 می‌باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). ایران مرکزی بدلیل 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 سایه‌افکنی بحران کم آبی بر این منابع، اهمیت بررسی موضوع خشکسالی و اثرات آن بر کمیت و کیفیت منابع آب و خاک این استان را دوچندان می‌کند. 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 روش‌های متعددی استفاده می‌شود که محاسبه و تحلیل شاخص‌های خشکسالی[1]را می‌توان 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 شاخص‌های متعددی توسط محققان مختلف برای بررسی خشکسالی در دنیا معرفی و استفاده شده‌اند. شاخصهای پالمر ، ذخیره آب سطحی ، درصد نرمال ، دهکها، بارش استاندارد، رطوبت محصول ، رطوبت خاک، محصول ویژه،، بارش سراسری، ناهنجاری بارش ، خشکسالی احیایی و بارش موثر از جمله این شاخصها هستند که توسط افراد مختلف ارائه شده‌اند (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۸). در سالیان

[1]. Drought Index

اخیر شاخص‌های جدیدتری نظیر شاخص خشکسالی اجمالی یا RDI [1]استفاده شده است. شاخص RDI در ایران و جهان سابقه طولانی نداشته، مربوط به سال ۲۰۰۴ بوده که توسط تیسکریس[2]معرفی شده است. یکی دیگر از آنها شاخص SPI [3]می باشد که توسط McKee (1993) ارائه شده است.این شاخص همانند RDI در بررسی خشکسالی‌های 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 می‌تواند 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 شاخص‌ها استفاده‌های زیادی گردیده است. به عنوان مثال شاخص RDI در تبریز برای سال‌های ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۵ محاسبه شده است و نتیجه آن نشان می‌دهد 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 می‌باشد (خوش‌نفس, 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 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 خشکسالی‌های بسیار شدید از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. 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 دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ سال، در کل استان فارس بهنجار می‌باشد، اما در دوره‌های بازگشت۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال شرایط متفاوتند. خرم‌بخت (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص‌های SPI، CZI، ZSI و RDI به شناخت ویژگی‌های مختلف خشکسالی منطقه لارستان پرداخت. پس از تحلیل آماری داده‌ها مشخص شد که دوام خشکسالی بر حسب ZSI بیش از سایر شاخص‌ها و در مقیاس ماهانه SPI مشخصه شدت را بیش از شاخص‌های دیگر نمایان می‌سازد، حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از شاخص‌های دیگر بوده است. هدف از انجام این پژوهش تحلیل و ارزیابی شاخص خشکسالی RDI برای پایش و پهنه‌بندی 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

[1]-Reconnaissance Drought Index
[2]. Tsakiris
[3]-Standardized Precipitation Index

پیشنهادات لازم برای اصلاح روش‌های پایش 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 ۱۱۹۳میلیون 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 شاخص‌برای دوره اماری(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 a0 محاسبه می‌شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \qquad (۱)$$

در این فرمول P و ET بارندگی و تبخیر و تعرق مرجع در j امین 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 جمع‌کردن 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:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\overline{a}_0} - 1 \qquad (۲)$$

که در این فرمول $\overline{a}_0$ میانگین حسابی اعداد a0 هر سال می باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDI (یا RDIs) از مقادیر سالانه a0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان yi بدست خواهد آمد. ($y_i = Ln\left(a_0^{(i)}\right)$). سپس میانگین حسابی و انحراف معیار این اعداد را محاسبه و به ترتیب $\overline{y}_k$ و $\hat{\sigma}_{yk}$ می نامیم. نهایتاً شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک معادله (۳) محاسبه خواهد شد.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \overline{y}_k}{\overline{\sigma}_{yk}} \qquad (۳)$$

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.

جدول (۱): نحوه تعریف کلاس‌های خشکسالی/ترسالی بر اساس محدوده تغییرات شاخص RDIs

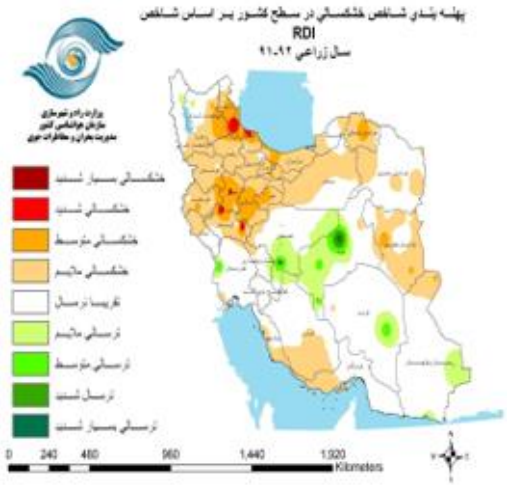
محدوده تغییرات	نام کلاس رطوبتی	راهنمای رنگ‌بندی کلاسهای خشکسالی/ترسالی
بیشتر از ۲+	ترسال بسیار شدید	
بین ۱/۵+ تا ۲+	ترسال شدید	
بین ۱+ تا ۱/۵+	ترسالی متوسط	
بین ۰/۵+ تا ۱+	ترسالی ملایم	
بین ۰/۵+ تا ۰/۵-	تقریباً نرمال	
بین ۰/۵- تا ۱-	خشکسالی ملایم	
بین ۱- تا ۱/۵-	خشکسالی متوسط	
بین ۱/۵- تا ۲-	خشکسالی شدید	
کمتر از ۲-	خشکسال بسیار شدید	

در این فرمول، تاکید معرفی‌کننده شاخص RDI (تسکریس، ۲۰۰۴) بر استفاده از تبخیر و تعرق واقعی (ET_o) به جای تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) 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_o 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 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 زراعی۹۲-۹۱ برای محدوده استان یزد

در این پژوهش نگاهی به نتایج پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی کشاورزی ایران مربوط به سال زراعی۹۲-۹۱ 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

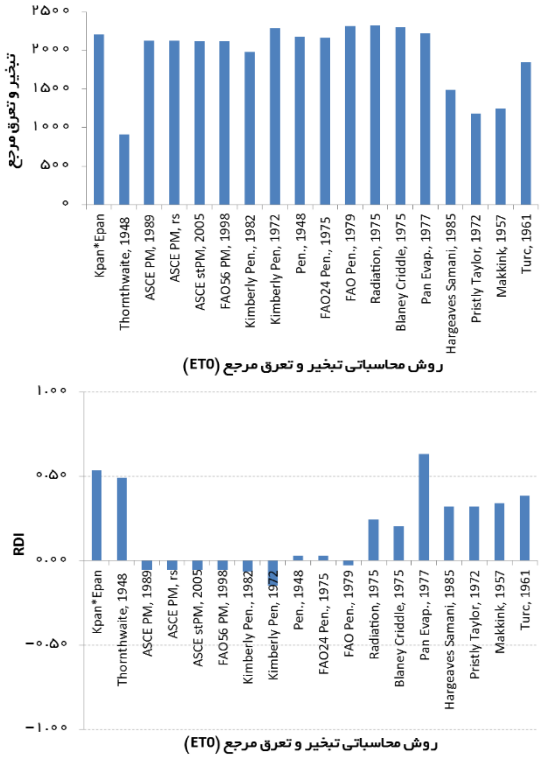
مذکور و در اختیار نداشتن فایل رقومی آن، این نقشه دیجیت گردید و مرز استان یزد و ایستگاههای هواشناسی و شهرها بر روی آن منطبق شد. همچنین مساحت اختصاص یافته به هر کلاس خشکسالی/ترسالی در این نقشه مشخص و از نقشه استخراج شد. سپس اقدام به تفسیر این نقشه و مقایسه آن با نتایج محاسبه شاخص RDI در هر یک از ایستگاههای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



شکل (۱): پهنه‌بندی شاخص RDI مربوط به سال زراعی۹۲-۹۱ (دبیرخانه کارگروه تخصصی خشکسالی، سرمازدگی و مخاطرات بخش کشاورزی، ۱۳۹۳)

نتایج و بحث

اهمیت روش محاسباتی تبخیر و تعرق بر تغییرات RDI: در پژوهش حاضر محاسبه ET_o 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 ETo 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 می‌گردد، با انتخاب روش‌های مختلف محاسبه ETo، نتایج متفاوتی برای مقادیر RDI استاندارد حاصل خواهد شد 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_o، اهمیت توجه به موضوع انتخاب روش مناسب برای ET_o را گوشزد می‌کند. البته با توجه به مطالعات گسترده صورت گرفته در این خصوص، امکان انتخاب مناسب‌ترین روش تخمین ET_o برای هر منطقه و یا ایستگاه از طریق روش‌های مختلف (انجام آنالیز حساسیت، تجزیه و تحلیل عاملی و ...) وجود دارد.



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

بنابراین باید اذعان شود که دقت در تعیین ET_o 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 متاثر 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_o 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 تبخیروتعرق 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 تبخیرو تعرق مرجع تشخیص داده شده‌اند (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این، نتایج محاسبه ET_o به روش تورنت‌وایت (که روش پیشنهادی تعیین تبخیرو تعرق مرجع برای محاسبه RDI بوده است) می‌تواند در مناطق مختلف، تفاوت‌هایی را با سایر روش‌های محاسباتی و یا اندازه‌گیری ET_o 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

.

اهمیت در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال در محاسبات RDI

همانطوری که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، شاخص RDI از تابع توزیع لوگ‌نرمال برای مقادیر نسبت بارندگی بر تبخیر و تعرق استفاده می‌کند. بر اساس یافته‌های موجود، ممکن است که این تابع توزیع نتواند به عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع بر مقادیر نسبت P به ET در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی برازش یابد. به عنوان مثال در تحقیق صورت گرفته توسط قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) در هشت ایستگاه سینوپتیک مشهد، گرگان، رشت، تهران، تبریز، کرمانشاه، شیراز و زاهدان مشخص شد که مناسب‌ترین تابع توزیع الزاماً لوگ‌نرمال نیست و می‌تواند در هر منطقه تغییر نماید. به عنوان مثال توابع پیرسون، جانسون و لوجستیک از جمله توابعی است که در هر منطقه می‌تواند جایگزین تابع لوگ‌نرمال شود و محاسبات RDI را تدقیق نماید. اهمیت این مساله از آنجائی است که اصلاح تابع توزیع، می‌تواند به جابجائی کلاس‌های رطوبتی (خشکسالی/ترسالی) نیز منجر گردد. بنابراین ضرورت دارد تا در محاسبات RDI برای مقیاس ملی، این موضوع مدنظر قرار گرفته و تاثیر آن بر RDI لحاظ شود.

اهمیت انتخاب سال‌های آماری مناسب برای بررسی‌های خشکسالی/ترسالی توسط RDI:

انتخاب سال‌های آماری از دو دیدگاه قابل طرح است:

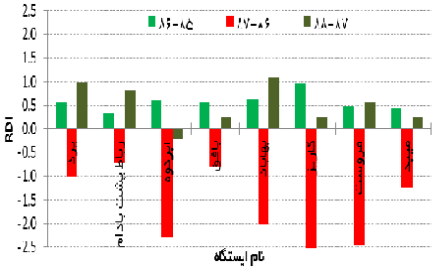
الف) در تعیین بسیاری از شاخص‌های خشکسالی و در مرحله میانگین‌گیری و تعیین انحراف معیار داده‌ها، طول دوره آماری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در مورد شاخص RDI به میانگین حسابی ($\bar{y}_k$) و انحراف معیار ($\hat{\sigma}_{yk}$) مقادیر $y_i = Ln\left(a_0^{(i)}\right)$ نیاز است و بنابراین طول دوره آماری برای محاسبه این مقادیر حائز اهمیت خواهد بود. برای این منظور، طول دوره آماری پیشنهادی ۳۰ تا ۵۰ سال است که منتهی به سال اخیر خواهد شد. در نظر گرفتن سال تاسیس، تعداد سال‌های آماری موجود برای هر ایستگاه و کفایت داده‌ها از جمله محدودیت‌هایی است که در این مرحله باید مدنظر قرار گیرد.

ب) مشاهده اثرات مثبت یا منفی ترسالی/خشکسالی در هر منطقه، دارای زمان تاخیری است که می‌تواند چند روز، چند ماه و یا سال باشد. زمان تاخیر مذکور وابسته به شدت و وسعت خشکسالی/ترسالی در دوره زمانی مذکور، شدت و وسعت خشکسالی/ترسالی در دوره‌های آتی، کیفیت و کمیت ذخایر آبی منطقه مطالعاتی، نوع و میزان استحصال و مصرف آب و ... است که همگی تحلیل این موضوع را کمی پیچیده می‌نمایند. اما بطورکلی، باید پذیرفت که شاخص RDI محاسبه شده در یک سال مشخص، قابل تعمیم به دوره‌های آتی نیست. دلیل اصلی این موضوع علاوه بر موارد فوق، به ماهیت پدیده خشکسالی (غیرقابل پیش‌بینی بودن و یا عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها) و همچنین به ماهیت شاخص RDI مربوط است. برای تحلیل بیشتر مساله، می‌توان به محاسبات انجام شده از شاخص RDI طی یک دهه اخیر (سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) در ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک استان یزد اشاره کرد (جدول۲). همانطوری که ملاحظه می‌گردد، طی این دهه، خشکسالی/ترسالی‌های فراگیری در سطح استان یزد (در تمامی ایستگاه‌ها) حادث شده‌اند که به ترتیب به سال‌های زراعی ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۱ برمی‌گردند. شکل ۳-الف نیز مقایسه‌ای بین شاخص RDIs در سال ۸۷-۸۶ (خشکسالی فراگیر استان یزد)، سال ماقبل (۸۵-۸۶) و سال مابعد (۸۷-۸۸) در ایستگاه‌های مختلف استان یزد را نشان می‌دهد. همانطوری که در این نمودار مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های تحت بررسی، نمی‌توان روند خاصی را برای تغییرات RDIs تصور کرد؛ بطوری‌که در سال ماقبل (سال ۸۶-۸۵) و در تمامی ایستگاه‌ها، مقدار RDI مثبت بوده است، اما در سال ۸۷-۸۶ تمامی ایستگاه‌های استان یزد (بدون استثناء) با RDI منفی

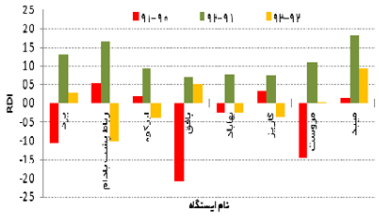
مواجه شده‌اند و منجر به بروز خشکسالی فراگیر در سطح استان یزد شده‌اند که نشان‌دهنده غیرقابل پیش‌بینی‌بودن پدیده خشکسالی و عدم تبعیت شاخص RDI از یک روند خاص می‌باشد. همین موضوع را می‌توان برای ترسالی حادث شده در سال زراعی ۹۲-۹۱ نیز بررسی کرد. شکل ۳-ب مقایسه شاخص RDIs در سال ۹۲-۹۱ (ترسالی فراگیر استان یزد)، 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 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 ۹۳-۹۲)، 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.

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

سال / ایستگاه	یزد	رباط پشت‌بادام	ابرکوه	بافق	بهاباد	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



الف-خشکسالی فراگیر



ب-ترسالی فراگیر

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

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.

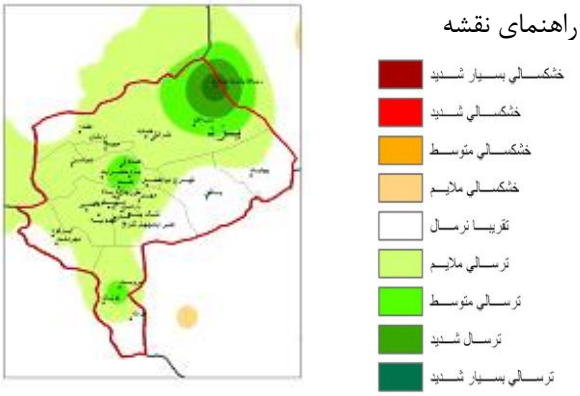
در روش (الف) درون‌یابی مقادیر نقطه‌ای RDI به کمک روش‌های زمین‌آماری نظیر Kriging، IDW و غیره انجام می‌شود و لذا، تعیین نحوه تغییرات RDI از نظر مکانی (semi-variogram) ضرورت خواهد داشت. به عبارتی دیگر، مقادیر RDI بدست آمده در ایستگاه‌های مختلف باید با همدیگر ارتباط برقرارکنند و این ارتباط به شکل یک معادله 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 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 تبخیرو 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 مشکل‌تراز 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 تبخیرو تعرق و عوامل موثر بر آن وجود دارد، توصیه می‌شود که در روش (ب) از این تکنیک نیز استفاده گردد تا تغییرات مکانی تبخیروتعرق با عوارض زمینی همخوانی بیشتری داشته باشد.

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

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،

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

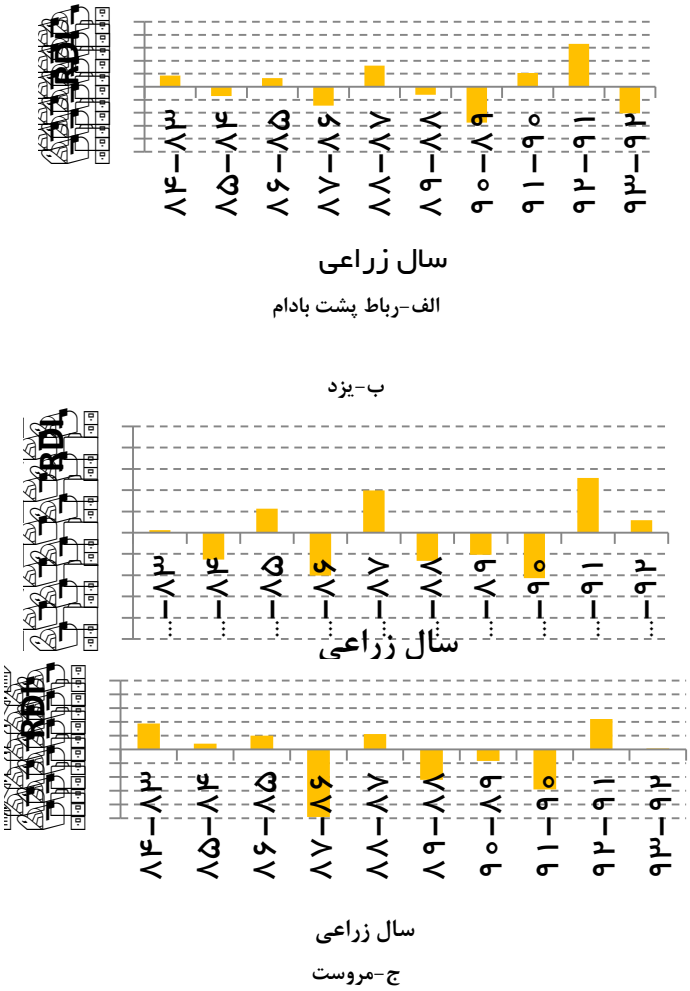


شکل (۴): استخراج نقشه پهنه‌بندی RDI استان یزد در سال زراعی۹۲-۹۱ از نقشه کشوری

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 ۹۲-۹۱ 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، آن‌را 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 ET0 در آن به حداقل برسد. همان طوری که ملاحظه می‌گردد، بر اساس شاخص RDI در این ایستگاه، وقوع رخدادهای خشکسالی بر ترسالی غالب می‌باشد. ترسالی حادث شده در سال ۹۲-۹۱ 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 ترسال در سال ۹۲-۹۱ 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.



الف-رباط پشت بادام

ب-یزد

ج-مروست

شکل (۵):تغییرات شاخص RDI در ایستگاههای رباط پشت‌بادام، یزد و مروست در یک دهه اخیر

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 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[1] به جای شاخص‌های خشکسالی[2] است که می‌تواند کمک زیادی به این مساله نماید و وضعیت هر منطقه از نظر فقر منابع آبی را بهتر نمایش دهد. قابل ذکر

[1]- Aridity Indices

[2]- Drought Indices

است که مقدار اولیه شاخص RDI یعنی a_k برای یک دوره ۱۲ماهه، مشابه با شاخص خشکی UNEP عمل می‌نماید(قبائی‌سوق و مساعدی ،۱۳۹۲).

-شاخص RDI با درنظر 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 تورنت‌ویت (۱۹۴۸) و یا بر اساس داده های تشتک تبخیر (E_{pan}) کلاس A تخمین زده شود. روش تورنت‌ویت به عنوان یک روش ساده نیازمند داده‌های میانگین درجه حرارت و ساعات آفتابی در هر ماه است، یکی از معایب روش تورنت‌ویت، 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 تورنت‌ویت 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 حساسیت، تعیین موثرترین فاکتورها در هر منطقه و سپس استفاده از مناسب‌ترین روش تخمین ET_0، می‌تواند معضل انتخاب مناسب‌ترین روش برای تخمین ET0 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 (تبخیرو تعرق مرجع) در محاسبه شاخص خشکسالی RDI، از طریق بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای و آلگوریتم‌های 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[1]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.

[1] - outliers

اصلاح روش محاسباتی تورنت‌وایت برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در ایستگاههای مختلف کشور از طریق اعمال ضرایب اصلاحی منطقه‌ای. مناطق قابل 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[1] و شناسائی 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، شاخص(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 تشتک تبخیر (Epan) و اعمال ضریب فصلی تشتک (Kpan) برای تعیین تبخیرو 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 آلگوریتم‌های 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.

درنظر 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 شاخص(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 دارابودن 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

[1] - Factor Analysis

مناطق. این موضوع به تشخیص کارآئی شاخص‌های مختلف خشکسالی و تاثیر آن بر نگهداری رطوبت خاک کمک زیادی خواهد کرد. استفاده از سری زمانی سالانه از تصاویر ماهواره‌ای، محاسبه شاخص‌های سنجش از دوری تشخیص رطوبت خاک و منطبق‌سازی آن با رخدادهای بارندگی سالانه در هر منطقه و تحلیل نتایج حاصله، کمک زیادی به موضوع خواهد نمود.

منابع

پورمحمدی، س.، رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۸. پهنه بندی خشکسالی و تعین 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 بهره وری آب کشاورزی استان یزد، گزارش فنی مرکز ملی تحقیقات شوری. یزد، ایران، ص. ۱۲۹.

زندی‌لک، ح.، فولادوند، ح.، بوستانی، ف. ۱۳۹۳. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی کشاورزی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص RDI، مجله ی مهندسی آب، سال هفتم، ۱۰-۱.

شکوهی، ع. ۱۳۹۱. مقایسه شاخص های 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.۱۲۲-۱۱۱.

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 بهره وری مصرف آب، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران، ص. ۶۸.

قبائی‌سوق ، م.، مساعدی، ا. ۱۳۹۱. طراحی فرآیند انتخاب شاخص مناسب بر مبنای پایش چند معرفه خشکسالی در محدوده تعدادی از ایستگاه های ناحیه ی خشک و نیمه خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶. شماره ۲. ۴۱۴-۴۲۶.

قبائی‌سوق ، 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. دورهٔ ۶۶ . شماره ۴. ۵۶۵ تا ۵۸۲.

مساعدی، ا.، قبائی 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.

مقیمی، 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[1] , Mohammad Hassan Rahimian[2], Mohammad Ekrami[3], Jalal barkhordari[4]

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.

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

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.

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