بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های خشک‌سالی (درصد نرمال، دهک‌ها، *SPI*، *SPEI*، *US Drought Monitor* و *NDVI*)

محمد افضل‌زاده[۱]، چوقی‌بایرام کمکی[۲]*، حمید نیک‌نهاد قره‌ماخر[۳]، بهنام کامکار [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
Afzal.zadeh@yahoo.com

۲- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
bkomaki@gmail.com

۳ - استادیار گروه مدیریت مرتع‌داری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
hamidniknahad@yahoo.com

۴ - استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
kamkar@gau.ac.ir

چکیده

اکوسیستم کره زمین همواره با خطرات طبیعی نظیر خشک‌سالی، سیلاب، آتش‌فشان، طوفان، زلزله، بوده است و این خطرات بخش جدایی‌ناپذیر حیات موجودات بیولوژیکی می‌باشد. در این بین خشک‌سالی به‌عنوان یک پدیده طبیعی، می‌تواند حیات و کیفیت زندگی جمعیت کثیری از ساکنان کره زمین را تحت تأثیر قرار داده و گاهی آسیب‌های غیرقابل جبرانی را به جوامع تحمیل می‌کند. بر همین اساس شناخت هر چه بهتر این پدیده ضرورت پیدا می‌کند. در مقام تعریف، خشک‌سالی به کمبود بلندمدت رطوبت در یک منطقه در یک دوره زمانی به‌خصوص گفته می‌شود. یکی از اصلی‌ترین راه‌های شناخت این پدیده، بهره‌گیری از شاخص‌های خشک‌سالی می‌باشد. از میان ۱۵۰ شاخصی که در این راستا ساخته شده است شش شاخص برجسته خشک‌سالی هواشناسی (درصد نرمال، دهک، ***SPI*** ،***SPEI*** ،***US Drought Monitor*** ،***NDVI***) ، گزینش شده و ازلحاظ تئوریک و عملیاتی بر اساس منابع تحقیقی مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند و نقاط ضعف و قوت آن‌ها را در باب پایش خشک‌سالی شناسایی گردید. نتیجه بررسی نشان داد که بسته به شرایط متفاوت شاخص‌ها توانایی‌های مختلفی را نشان می‌دهند ولی درمجموع از بین شاخص‌های موردبررسی شاخص ***SPI*** و ***SPEI*** در مقایسه با ورودی‌های اندک، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص، ***SPI*** ،***SPEI*** ،***NDVI***

مقدمه

اکوسیستم کره زمین همراه با خطرات طبیعی نظیر خشک‌سالی، سیلاب، آتش‌فشان، طوفان، زلزله، بوده است و این خطرات بخش جدایی‌ناپذیر حیات موجودات بیولوژیکی می‌باشد. در این بین خشک‌سالی به‌عنوان یک پدیده طبیعی، می‌تواند حیات و کیفیت زندگی جمعیت کثیری از ساکنان کره زمین را تحت تأثیر قرار داده و گاهی آسیب‌های غیرقابل جبرانی را به جوامع تحمیل می‌کند[۱]. به دلیل همین اثرات تخریبی شناخت خشک‌سالی از همه زوایا دارای اهمیت فوق‌العاده بالایی است چراکه شناخت هر چه بیشتر این پدیده به ما در توسعه سیستم‌های پیش‌آگاهی[۲] و مدیریت ریسک[۳]، آمادگی در برابر خطرات و کاهش هزینه‌های آن کمک می‌کند.

در بین ابزارهای شناخت خشک‌سالی از جمله برجسته‌ترین روش‌ها، استفاده از ((شاخص‌های خشک‌سالی[۱]) می‌باشد که اساساً روش‌هایی کمّی هستند که با تبدیلِ داده‌های متفاوتی نظیر بارش و تبخیروتعرق به یک ارزش عددی ما را به شناخت هر چه بیشتر و ساده‌تر این پدیده نزدیک‌تر می‌نماید. از طرفی دیگر، استفاده از این شاخص‌ها بسیار ساده‌تر از داده‌های خام می‌باشد و می‌تواند به‌طور ضمنی، منعکس‌کنندهٔ شرایط و وقایع متفاوتی باشد. به‌عنوان‌مثال، بی‌نظمی در خشکی‌های اقلیمی و یا زمان تأخیر اثرات آن بر روی بخش کشاورزی و هیدرولوژی با تأثیر بر رطوبت خاک و سطح مخازن.

به دلیل متنوع بودن مفهوم خشک‌سالی ازنظر ذاتی، ویژگی‌ها و اثرات، طبیعی است که شاخص‌های متفاوتی نیز برای آن وجود داشته باشد. طبق نظر نمیر بیش از ۱۵۰ شاخص خشک‌سالی در دنیا ساخته شده است [۴]. از طرفی دیگر با پیشرفت روزافزون تکنولوژی‌های سنجش‌ازدوری، قابلیت‌های جدیدی برای بازنگری شاخص‌ها یا ترکیب آن‌ها برای افزایش کارایی و لحاظ کردن اثرات بیشتر، در سال‌های اخیر به وجود آمده است[۵].

بااین‌حال، تفاوت و تنوع در شاخص‌های خشک‌سالی به‌نوعی تغییرات بارش را منعکس می‌کند اما نوع بیان آن در کاربردهای مختلف تغییر می‌کند مثلاً در خشک‌سالی کشاورزی تغییرات محتوای رطوبتی خاک است که موضوعیت پیدا می‌کند درصورتی‌که در خشک‌سالی هیدرولوژیکی تأثیر زمان تأخیر کمبود بارش بر منابع آبی اهمیت پیدا می‌کند.

تعاریف خشک‌سالی

هرچند تعریف مفهوم خشک‌سالی بسیار پیچیده است اما نقطه اشتراک همه تعاریف ارائه شده می‌تواند این تعریف باشد: خشک‌سالی عبارت‌اند از: پایداری شدید شرایط کمبود رطوبت[۶] طی یک دوره خاص یا ناحیه‌ای به‌خصوص[۷]. علاوه بر عناصر ((پایداری))، ((کمبود شدید بارش)) و ((حدود زمانی و مکانی)) در تعریف خشک‌سالی، موارد دیگری هم از قبیل اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی نیز اخیراً به این تعریف اضافه شده است[۸]. و امروزه به وجوه اقتصادی و اجتماعی پدیده خشک‌سالی توجه می‌شود.

انواع خشک‌سالی و ویژگی‌های آن

به‌طورکلی، بر اساس تعاریف عملیاتی، سه نوع خشک‌سالی شناسایی‌شده است. خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی که ترتیب وقوع آن‌ها همین اساسی است که در اینجا آورده شده. در یک نگاه کلی‌تر، کمبود بارش سبب وقوع خشک‌سالی هواشناسی می‌شود که به‌نوبهٔ خود می‌تواند در مرحله بعد موجب کاهش محتوای رطوبتی خاک گردد(خشک‌سالی کشاورزی). درنتیجه کاهش رطوبت در خاک، آب کمتری از خاک به داخل مجراهای هیدرولوژیکی(آبراهه، دریاچه و ...) تخلیه می‌شود لذا با یک زمان تأخیر، منابع آبی نیز دچار کمبود آب می‌شوند.

علاوه بر نوع خشک‌سالی، چند بُعد دیگر نیز برای شناخت هر چه بهتر آن کمک می‌کنند: شدت، دوره و توزیع مکانی، بسامد، بزرگی، پیش‌بینی پذیری، زمان‌بندی که می‌بایست برای شناخت کامل یک واقعه خشک‌سالی همه این ابعاد تعیین و تحدید شوند.

معرف‌های خشک‌سالی[۲]:

در کنار متغیر کمبود بارش، متغیرهای دیگری را هم می‌توان برای شناخت هر چه بهتر خشک‌سالی به کاربرد از جمله این متغیرها، تبخیروتعرق و جریان‌های آبراهه‌ای است. که البته از ترکیب چنین متغیرها و نشانگرهایی با استفاده از مدل‌های مختلف (نظیر بیلان آب و مدل‌های هیدرولوژیکی) می‌توان شاخص‌های خشک‌سالی را

۱- Drought Indicies

۲ - drought indicator

ساخت. این متغیرها می‌توانند از دسته متغیرهای هواشناسی، هیدرولوژیکی و متغیرهای عرضه و تقاضا در طبیعت باشند. نشانگرهای هواشناسی شامل بارش و ابرناکی، نشانگرهای هیدرولوژیکی شامل جریان رودخانه‌ای و سطح سفره‌های آب زیرزمینی و نشانگرهای عرضه و تقاضا می‌توانند دربرگیرنده ذخایر مخزنی باشند. بااین‌حال، در عمل بعضی از نشانگرها نظیر بارش، تبخیروتعرق پتانسیل و پوشش خاک و گیاه کاربرد بیشتری دارند[۹].

شناخت خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی

راه و روش‌های زیادی برای شناخت خشک‌سالی وجود دارد. بااین‌حال، استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی بر سایر روش‌ها غلبه دارد[۱۰]. شاخص‌های خشک‌سالی با تبدیل چند اندیکاتور خشک‌سالی به یک ارزش ریاضی شکل می‌گیرند. شاخص‌های خشک‌سالی می‌توانند تصویری جامع برای تجزیه‌وتحلیل خشک‌سالی و تصمیم‌گیری درباره آن فراهم نماید و بدیهی است که به‌کارگیری آن‌ها در مقایسه با داده‌های خام بسیار ساده‌تر می‌باشد. تاکنون بیشتر از ۱۵۰ شاخص خشک‌سالی تولید شده است[۴]. ازلحاظ عملیاتی، استفاده از یک شاخص برای شناخت خشک‌سالی باید اهداف زیر را دنبال کند:

۱- شناسایی خشک‌سالی و پایش به بلادرنگ آن[۴] ۲-تعیین آغاز و پایان خشک‌سالی[۱۰]

۳- به مدیران این امکان را بدهد که بتوانند سطح خشک‌سالی را اعلام نمایند تا بتوانند اقدامات لازم در پاسخ به خشک‌سالی را برانگیزند،۴- ارزیابی خشک‌سالی[۴]، ۵- نمایش مفهوم خشک‌سالی در یک ناحیه[۱۰]، ۶- همبستگی با ارات کمی خشک‌سالی طی مقیاس‌های متغیر مکانی و جغرافیایی

طبقه‌بندی شاخص‌های خشک‌سالی:

به‌طورکلی، شاخص‌های خشک‌سالی بر اساس تیپ اثری که بر محیط می‌گذارند و نوع متغیرهایی که با آن ارتباط پیدا می‌کنند، طبقه‌بندی می‌شوند[۱۱]. بااین‌حال، سه نوع شناخته‌شده شاخص‌های خشک‌سالی عبارت‌اند از: شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و هیدرولوژیکی. نیمیر(۲۰۰۸) سه مورد دیگر به این فهرست اضافه کرده است که شامل: جامع[۱]، ترکیبی[۲] و سنجش‌ازدوری[۳] می‌باشند[۴]. شاخص‌های جامع به آن‌هایی اطلاق مشود که با بهره‌گیری از چند متغیر هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی تصویری جامع از وضعیت خشک‌سالی ارائه می‌نماید از جمله نمونه‌های این نوع شاخص‌ها، می‌توان به شاخص پالمر اشاره کرد. شاخص‌ها جامع که با عناوین شاخص‌های هیبریدی یا تجمعی نیز شناخته می‌شوند از شرکت اندیکاتورها و شاخص‌های مختلف در یک راستا شکل می‌گیرند. از جمله این شاخص‌ها، ***US DROUGHT MONITOR*** است[۱۲]. نوع سوم شاخص‌ها، سنجش‌ازدوری می‌باشند که با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجده ها افراد می‌توانند به تعیین حدود شرایط خشک‌سالی بپردازند از جمله مثال‌های این شاخص، ***NDVI*** می‌باشد.

مهم‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی

در این بخش درباره ۶ شاخص برجسته که در پیش‌بینی[۴]، پایش[۵] و برنامه‌ریزی عملیاتی[۶] بکار گرفته می-شوند، بحث خواهد شد. از یک زاویه، شاخص‌های خشک‌سالی ازلحاظ توانایی در انعکاس اثرات به‌خصوص و کاربردها می‌توانند باهم متفاوت باشند به این معنا که برخی از آن‌ها ممکن است فقط اثر اختصاصی از خشک‌سالی را بتوانند نشان دهند، درحالی‌که شاخص-های دیگر توانایی ارائه اثرات متفاوتی از خشک‌سالی را داشته باشند.

---

[۱] -comprehensive
[۲] - combined
[۳] - remote-sensing based
[۴] - Forcasting
[۵] -Monitoring
[۶] - Operational Planning

به‌عنوان‌مثال شاخص ***SPI*** که یک شاخص هواشناسی به‌حساب می‌آید که می‌تواند در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر اثرات خشک‌سالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی را هم انعکاس دهد.

درصد نرمال[۱]: یک شاخص خشک‌سالی هواشناسی شناخته می‌شود که نشان‌دهندهٔ انحراف بارش از نرمال(میانگین) است. منظور از نرمال یا میانگین، متوسط بارش ۳۰ سال قبل است. این شاخص از تقسیم مقدار بارش در هر زمان‌بر میانگین بلندمدت به دست می‌آید. مقیاس زمانی تجزیه‌وتحلیل‌ها می‌تواند از یک ماه تا یک سال تغییر کند. مزیت اصلی این شاخص سادگی و شفافیت آن است که بر اساس همین ویژگی می‌تواند برای عموم قابل‌فهم و درک باشد[۱۳]. شاخص نرمال امکان تجزیه‌وتحلیل را برای یک منطقه یا یک دوره زمانی خاص را در یک سال فراهم می‌کند. بااین‌حال ایده آماری این شاخص به خاطر بی‌ثباتی آن از دو جنبه موردنقد قرار گرفته است. اول، به دلیل عدم استفاده از تبدیل آماری برای سوابق بارش، اختلاف موجود بین میانه و میانگین داده‌ها می‌تواند از صحت نتایج بکاهد. و دوم به دلیل اینکه توزیع‌های آماری برای فصل‌ها و نواحی مختلف فرق دارند، نمی‌توان از این شاخص برای مقایسه بین فصل‌ها مناطق مختلف بهره برد. بدین ترتیب این شاخص از قوت کافی برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و عملیاتی برخوردار نمی‌باشد.

دهک‌ها: روش دهک‌ها، مبتنی بر تقسیم سوابق ماهانه بارش به بخش‌های ده‌درصدی می‌باشد. طول دوره آماری بلند برای به دست آوردن تخمین درستی از این شاخص ضروری است. دهک‌ها می‌توانند برای هر دوره دلخواه محاسبه شوند. روش دهک فقط پایین‌ترین دهک را در نظر می‌گیرد و صرفاً دو طبقه(رده) برای توصیف کمبود بارش بکار گرفته می‌شود. نیمه بالاییِ پایین‌ترین دهک، خشک‌سالی شدید(***severe***) و نیمه پایینی دهک خشک‌سالی جدی(***serious***) را به خود اختصاص می‌دهد. جدول ۱ توضیحات مربوط به مقیاس‌های زمانی شاخص ***SPI*** را نشان می‌دهد.

شاخص بارش استانداردشده(*SPI*): یک شاخصی مشهور که برای اولین توسط مک‌کی و همکاران[۲] ارائه شد، این شاخص تنها متکی به داده‌های بارش می‌باشد. این شاخص مانند شاخص درصد نرمال، بارش را با میانگین چند سال مقایسه می‌کند. ***SPI*** مشکل عدم هماهنگی که به دلیل استفاده از توزیع غیراستاندارد پیش می‌آید را با تبدیل توزیع داده‌های بارش به توزیع نرمال رفع می‌کند. در همین راستا، داده‌های بارش در ابتدا در یک توزیع گاما برازش داده می‌شوند و سپس با استفاده از تبدیل احتمالات مساوی به یک توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. میانگین برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود و بدین ترتیب، مقادیر بالای صفر دوره‌های ترسالی و مقادیر بالای صفر دوره‌های خشک‌سالی را نشان می‌دهند. درواقع عدد ***SPI*** محاسبه‌شده، نشان می‌دهد چند برابر انحراف معیار کمبود بارش تجمعی از میانگین نرمال شده فاصله ایجادشده است. اگر مقادیر شاخص به‌طور پایدار کمتر از صفر باشد به رقم ۱- برسد، آنگاه گفته می‌شود، خشک‌سالی وقوع یافته است[۱۴]. جنبه حائز اهمیت شاخص ***SPI*** توان محاسبه خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت است. شاخص می‌تواند برای هر دوره زمانی محاسبه گردد بااین‌حال، معمولاً، دوره‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ برای محاسبه بکار گرفته می‌شود. ازآنجایی‌که در طی زمان، کمبود بارش تدریجاً منابع آبی مختلفی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌توان برای پایش این تغییرات از دوره‌های متنوع ***SPI*** بهره برد. جدول ۱ کاربردهای مقیاس‌های زمانی ***SPI*** را نشان می‌دهد.

در دسامبر سال ۲۰۰۹ کارگاهی میان-منطقه‌ای با موضوع شاخص‌ها و سیستم‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی برگزار شد. یکی از اهداف این کارگاه که نمایندگانی از بیست‌ودو کشور در آن حضور داشتند، کمک به تعیین بهترین شاخص هواشناسی خشک‌سالی بود که درنهایت توصیه شد، همه سرویس‌های ملیِ هواشناسی از این

---

۱ - percent of normal

۲ - McKee et al

شاخص استفاده کنند. چراکه این شاخص قابلیت مقایسه بین شدت خشک‌سالی کشورهای مختلف در یک ناحیه تا در نواحی مختلف را فراهم می‌نماید. ازاین‌رو، ***SPI*** به‌عنوان شاخص منتخب از طرف نمایندگان قرار گرفت.
برای شاخص *SPI*، سوابق ۳۰ ساله بارش موردنیاز است هرچند که بهترین حالت داشتن آمار ۵۰ ساله است[۱۵]. اخیراً شرکت این شاخص به در سطوح تحقیقاتی و عملیاتی بسیار فراگیری شده است. مزایا و معایب این ۶ شاخص در جدول ۲ به‌اختصار آورده شده است.

جدول ۱- پدیده‌هایی که مقیاس‌های مختلف SPI می‌توانند آن‌ها را توضیح دهند

دوره SPI	مورد منعکس‌کننده	کاربرد
SPI 1	شرایط کوتاه‌مدت	رطوبت خاک و استرس گیاهی در کوتاه‌مدت (به‌ویژه طی فصل رشد)
SPI 3	شرایط رطوبتی میان‌مدت و کوتاه‌مدت	تخمین فصلی از بارش
SPI 6	روند بلندمدت در بارش	نمایش خیلی خوبی از بارش طی یک فصل مشخص
SPI 9	الگوی میان‌مدت بارش	اگر به کمتر از ۵/۱- برسد، می‌تواند نشان‌دهنده اثرات قابل‌توجه بر بخش کشاورزی باشد
SPI 12	الگوی بلندمدت بارش	مرتبط با جریان‌های آبراهه‌ای، سطح مخزن و همچنین سفره‌های آب زیرزمینی

جدول ۲- مزایا و معایب شاخص SPI

شاخص	مزایا	معایب
SPI	سادگی: داده‌های بارش کافی است	عدم ارتباط با شرایط زمینی، استفاده از تبخیروتعرق پتانسیل می‌تواند اندیکاتور خوبی باشد
	به دلیل چند مقیاس بودن در مطالعات خشک‌سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی نیز می‌توانند به کار گرفته شود	محدودیت داده‌های بارش ازنظر صحت اندازه‌گیری، تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری و طول دوره آماربرداری، امکان شناسایی مناطقی با گرایش بیشتر به خشک‌سالی را کاهش می‌دهد و برای آن نیاز به اطلاعات محلی خواهد بود
	قابلیت قیاس بارش منحرف شده از وضعیت نرمال یک منطقه با منطقه دیگری که اقلیم متفاوتی دارد	
	به‌طور برابر دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که می‌توانند در پایش دوره‌های خشک استفاده شوند	

شاخص بارش و تبخیروتعرق استانداردشده(*SPEI*): شاخص ***SPEI*** بر مبنای داده‌های بارش و دما ساخته شده است و مزیت آن، ترکیب ((ویژگیِ چند مقیاسی)) با تأثیر تغییرات دما بر خشک‌سالی است. روش محاسبه آن پیچیده است و مواردی نظیر بیلان آب، تجمع کمبود یا بیش-بود در مقیاس‌های زمانی مختلف و توزیع احتمال لوگ-لجستیک در آن دخالت داده می‌شود. ازلحاظ ریاضی، ***SPEI*** شبیه به ***SPI*** می‌باشد فقط با این تفاوت که در آن دمای هوا نیز دخالت داده می‌شود[۱۶].

پایش خشک‌سالی ایالات‌متحده (*USDM*): شاخص ***USDM*** یک شاخص ترکیبی است***[12]***. این شاخص چند شاخص دیگر، نظیر :***SPI***، ***PDSI*** و اندیکاتورهایی همچون شرایط گیاهی و هیدرولوژیکی را در نقشه‌های هفتگی خشک‌سالی ادغام می‌نماید. سپس این اطلاعات برای پالایش و تفسیر در اختیار کارشناسان قرار می‌گیرد. این شاخص، به دلیل ترکیبی(چندبعدی) بودن، قادر است به نیازهای مختلف کاربران و بهره‌بردارانی نظیر برنامه ریزان و صنایع کشاورزی پاسخ دهد. اخیراً، از این شاخص، به شکلی گسترده‌تر در سطوح سازمانی، تحقیقاتی و حتی رسانه‌ها استفاده می‌شود. و بعلاوه آن در خارج از ایالات‌متحده به‌طور روزافزون توجهات بیشتری را به خود جلب می‌نماید.

شاخص شدت خشک‌سالی پالمر[1](۱۹۶۵): یک شاخص هواشناسی شناخته‌شده می‌باشد. این شاخص بنای مفهوم خشک‌سالی را به‌جای آنومالی‌های بارش، متغیر عرضه و تقاضای آب می‌داند. به‌عبارتی‌دیگر، تأکید این شاخص بر روی کاهش‌های غیرطبیعی میزان رطوبت می‌باشد تا بی‌نظمی‌های هواشناسی[۱۵]. شاخص پالمر از داده‌های بارش، دما و آب در دسترس(***AWC***) برای خاک بهره می‌برد. استفاده از این داده‌های ورودی شاخص را قادر می‌سازد تا چهار عنصر از عناصر معادله بیلان آب را محاسبه نماید. این چهار عنصر عبارت‌اند از: تبخیروتعرق، رواناب، نفوذ در خاک و رطوبت. توجه به جدول ۳ مزایا و معایب شاخص خشک‌سالی ***PDSI***

جدول ۳- مزایا و معایب شاخص خشک‌سالی *PDSI*

شاخص	مزایا	معایب
PDSI	جامع‌تر از شاخص‌هایی که فقط از بارش استفاده می‌کنند به دلیل استفاده از تبخیروتعرق و رطوبت خاک	انتخاب تصادفی مقادیر شروع و پایان و الگوریتم محاسبه پیچیده
		ساخته شده برای Great plain آمریکا- محدودیت در شرایط حدی اقلیمی، مناطق کوهستانی و برفی مگر اینکه کالیبره شوند.
		کارایی متغیر از یک ناحیه به ناحیه دیگر
	قابلیت استفاده از داده‌های ساده برای محاسبه بارش و دمای هوا که به این معنی است که می‌توان طول داده طولانی داشت	قابلیت استفاده در نواحی با شرایط حدی اقلیمی(بارش یا رواناب خیلی متغیر، مناطق کوهستانی)
		استفاده از برف و یخ خاک
		نادیده گرفتن زمان تأخیر بین بارش و رواناب
	بیشترین تأثیرگذاری در جایی که اثرات به رطوبت خاک حساس‌اند	استفاده از روش تورنتوایت برای تخمین تبخیروتعرق، هر چند این روش مقبولیت عام دارد ولی به‌عنوان یک تقریبی از تبخیروتعرق شناخته می‌شود
		همه شاخص‌های پالمر برای خشک‌سالی‌هایی که همراه با مدیریت سیستم‌های آبی می‌باشند مناسب نیستند چراکه از نقش مخازن آب و برف و سایر منابع و همچنین اثرات انسانی بر بیلان آب، نظیر آبیاری کشاورزی، چشم‌پوشی می‌کند.

[1] - PDSI

شاخص اختلاف نرمال شده گیاهی(*NDVI*[1]): یک شاخص سنجش‌ازدوری می‌باشد که شرایط گیاهی را اندازه‌گیری می‌نماید***[17]***. این شاخص با بهره‌گیری از موج قرمز و مادون‌قرمز منعکس‌شده می‌تواند متغیرهایی نظیر شادابی، سلامت و تراکم گیاهی را اندازه‌گیری کند. شاخص ***NDVI*** طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) \quad (۱)$$

که در آن ***NIR*** مادون‌قرمز نزدیک و ***R*** قرمز مرئی می‌باشد. در شرایط سلامت گیاهی که کلروفیل ۲، با جذب نور، کربوهیدرات تولید می‌کند، از گیاهان نور قرمز کمتری منعکس می‌شود در این صورت عدد ***NDVI*** بزرگ‌تر خواهد بود که نشانه شادابی گیاهی می‌باشد. و بالعکس در شرایط پژمردگی عدد ***NDVI*** کاهش می‌یابد. این شاخص که به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است و علاوه بر آن پایه‌ای هم برای شکل‌گیری شاخص‌های دیگری نظیر شاخص شرایط گیاهی(***VCI***) [۱۸] بوده است. توجه به جدول ۴- مزایا و معایب شاخص خشک‌سالی ***NDVI***

جدول ۴- مزایا و معایب شاخص خشک‌سالی *NDVI*

شاخص	مزایا	معایب
NDVI	الگوریتم ساده	رزولوشن تصاویری NDVI که از مودیس گرفته می‌شود، ۲۵۰ متر است. این مسئله دقت در کاربردهایی نظیر پایش تغییرات نوارهای بافر و نواحی شهری را کاهش می‌دهد.
	در رزولوشن‌های بالا(۱ km) می‌تواند سطح وسیعی را در بر بگیرد	اثرات رطوبت خاک: حساسیت شاخص به پس‌زمینه‌های تیره و سیاه بیشتر است. در شرایطی که خاک مرطوب است انعکاس در هر دو باند ممکن است برابر نباشد، بدین ترتیب، NDVI ممکن است با تغییرات رطوبت خاک تغییر کند.
	الگوریتم‌های محاسبه فعلی، توانایی بالایی در حذف پارازیت‌های اتمسفری دارد که این معنای آن است که به‌خوبی می‌تواند سطوح بدون گیاه را از اراضی پوشیده از گیاه تمایز دهد	همبستگی بین استرس و رطوبت گیاه: استرس‌های گیاهی علت‌های دیگری به‌جز رطوبت نیز دارند. این عوامل می‌تواند الگوهای محلی بارش، تیپ خاک و وقایعی نظیر سیلاب، هجوم حشرات و یا آتش‌سوزی طبیعی باشد.
	درواقع این شاخص خشکی را اندازه می‌گیرد (به‌جای درون‌یابی و برون‌یابی)	آلودگی اتمسفری: تداخلات اتمسفری می‌تواند موجب آلودگی پیکسل‌ها شود. این آلودگی به سبب ابرناکی، غبارهای فصلی، آئروسل، مه. الگوریتم‌های محاسبه امروزی تا اندازه می‌توانند اثرات این عوامل را کاهش دهند.

[1] - Normalized Difference Vegetation Index

کارایی شاخص‌های خشک‌سالی

در مطالعاتی این ۶ شاخص مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. کورینگ و پاپاکریاکو در سال ۲۰۰۳ چهار شاخص پالمر، شاخص ***Z*** پالمر، ***SPI*** و ***NOAA*** را برای پیدا کردن نمایه ***Z*** پالمر که مناسب‌ترین شاخص برای خشک‌سالی کشاورزی است مقایسه کرده‌اند[۱۹]. نتایج مطالعات دیگر در جدول ۳ آورده شده است.

به‌طورکلی، طبق تحقیقی که توسط اشتاینمن در سال ۲۰۰۵ انجام شده است، انتخاب یک شاخص مناسب برای اندازه‌گیری خشک‌سالی تحت تأثیر عواملی نظیر: تناسب با نوع خشک‌سالی، فراهمی داده، هزینه‌ها، کیفیت و عملیاتی بودن، شفافیت، اعتبار علمی، حساسیت زمانی و مکانی(که هم‌دوره و تغییرپذیری فضایی آر لحاظ می‌کند)، داشتن آستانه و معیارهایی برای شروع و پایان و داشتن انسجام آماری(در سطوح خشک‌سالی و بین سایر شاخص‌ها) قرار دارند[۲۰]. در تحقیق کورینگ[۲۱]، کیانتاش و دارکوپ[۱۳] و ناراسیمان و سیرینیواسان[۲۲] شش معیار را برای ارزیابی شاخص خشک‌سالی هواشناسی در نظر گرفتند. از جمله این معیارها: استحکام، سادگی کاربرد، شفافیت، پیشرفته بودن، تعمیم‌پذیری و فراموني[۱].

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

چنانچه که اشاره شد، شناخت خشک‌سالی برای مدیریت عملیاتی آن، امری ضروری ست. در همین راستا استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی به‌عنوان ابزارهایی که داده‌های پراکنده و خام را تبدیل به یک عدد قائل مقایسه می‌کند، می‌تواند بسیار سودمند باشد. از میان شاخص‌های هواشناسی بررسی‌شده هر یک مزایا و معایب خاص خود را داشت و درنهایت نمی‌توان شاخصی بی‌نقص و ایده آل را معرفی نمود. البته برای انتخاب بهترین شاخص در هر موقعیت معیارهایی وجود دارد که درباره آن بحث شد. بهتر است کاربر متناسب با شرایطی که دران قرار دارد بر اساس این معیارها به انتخاب بهترین شاخص اقدام نماید. بااین‌حال شاخص ***SPI*** و ***SPEI*** از بین این ۶ شاخص به نسبت به‌سادگی و در دسترس بودن و گستردگی در کاربرد در رتبه بالاتری قرار می‌گیرند.

منابع

[1] Wilhite, D.A. 1993. The enigma of drought. In: Drought assessment, management, and planning: Theory and case studies. pp. 3–15. Springer
[2] Lohani, V.K., Loganathan, G.V. 1997. An early warning system for drought management using the Palmer drought index. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 33, 1375–1386
[3] Wilhite, D.A., Hayes, M.J., Knutson, C., Smith, K.H. 2000. Planning for drought: Moving from crisis to risk management. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 36, 697–710
[4] Niemeyer, S. 2008. New drought indices. Options Méditerranéennes Sér. Sémin. Méditerranéens. 80, 267–274
[5] Brown, J.F., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Hayes, M.J., Reed, B.C. 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. GIScience Remote Sens. 45, 16–46
[6] González, J., Valdés, J.B. 2006. New drought frequency index: Definition and comparative performance analysis. Water Resour. Res. 42,
[7] Beran, M.A., Rodier, J.A. 1985. Hydrological aspects of drought: a contribution to the International Hydrological Programme. Unesco
[8] Tsakiris, G., Vangelis, H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. Water Resour. Manag. 18, 1–12
[9] Tsakiris, G., Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. Eur. Water. 9, 3–11
[10] Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., Cancelliere, A. 2007. Drought characterization. Drought Manag. Guidel. Tech. Annex. 85–102
[11] Steinemann, A.C., Hayes, M.J., Cavalcanti, L. 2005. Drought indicators and triggers. CRC Press: Boca Raton

۱- Dimentionality

[12] Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D. 2002. The drought monitor. Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1181–1190
[13] Keyantash, J., Dracup, J.A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1167–1180
[14] McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. pp. 179–183. American Meteorological Society Boston, MA
[15] Guttman, N.B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 35, 311–322
[16] Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. J. Clim. 23, 1696–1718
[17] Rouse Jr, J.W. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.
[18] Kogan, F.N. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. Int. J. Remote Sens. 11, 1405–1419
[19] Quiring, S.M., Papakryiakou, T.N. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. Agric. For. Meteorol. 118, 49–62
[20] Steinemann, A. 2003. Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 39, 1217–1233
[21] Quiring, S.M. 2009. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. Geogr. Compass. 3, 64–88
[22] Narasimhan, B., Srinivasan, R. 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. Agric. For. Meteorol. 133, 69–88