

بسمه تعالی

شاخص های تعیین خشکسالی

تهیه و تنظیم : ماشاله جلالی فر

دبیر دبیرستانهای ناحیه ۲ آموزش و پرورش کرمان

سال تحصیلی ۸۵-۱۳۸۴

تعریف خشکسالی:

تا کنون تعاریف بسیار زیادی از خشکسالی شده است اما هر کدام از این تعاریف دیدگاه خاصی را مد نظر داشته اند به هر حال عدم وجود یک تعریف جامع و دقیق از خشکسالی و متفاوت بودن معنی آن از دیدگاههای مختلف مانع از درک مفهوم خشکسالی شده است. حال از آنجائیکه خشکسالی بر کلیه جنبه های زندگی و بخشهای مختلف جامعه خصوصاً تغییر محیط طبیعی تأثیر مستقیم و غیرمستقیمی دارد عدم درک مفهوم آن موجب تردید و رکود در بخشهای مختلف اقتصادی، مدیریتی و سیاستگذاری میشود.

از بین تعاریف خشکسالی تعریفی که مقبول تر و منطقی تر نیز می باشد عبارت است از اینکه خشکسالی را می توان معلول یک دوره شرایط خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژی یک ناحیه ایجاد شود. در دهه های اخیر در بین حوادث طبیعی که جمعیت های انسانی را تحت تأثیر قرار داده اند تعداد فراوانی پدیده خشکسالی از نظر درجه شدت، طول مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه، بیشتر از سایر بلایای طبیعی بوده است. همچنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایا این پدیده بتدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است تا حدودی آنرا یک پدیده و بلیه خزننده می دانند از سویی چون خشکسالی برخلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می شود، کمک رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده ها مثل سیل پیچیده تر و مشکل تر می باشد.

تعریف خشکسالی از دیدگاههای مختلف

۱- دیدگاه هواشناسی :

هواشناسان خشکسالی را بارش کمتر از حد معمول که منجر به تغییر الگوی آب و هوایی می گردد، تعریف کرده اند. بنابراین خشکسالی از نظر هواشناسی اساساً به حالتی از خشکی ناشی از کمبود بارندگی اطلاق میشود .

تعریف خشکسالی از دیدگاه هواشناسی در کشورهای مختلف و در زمانهای مختلف متفاوت میباشد به همین دلیل از این دیدگاه به کار بردن یک تعریف از خشکسالی که در قسمتی از جهان متداول میباشد

برای دیگر جاها مناسب نبوده بطوری که مثلاً:

۱- در ایالت متحده در سال ۱۹۴۲: بارش کمتر از ۲/۵ میلیمتر در ۴۸ ساعت .

۲- در انگلستان در سال ۱۹۳۶: پانزده روز متوالی با مجموعه بارش کمتر از ۲۵ میلیمتر .

۳- در کشور لیبی در سال ۱۹۶۴: بارش سالانه کمتر از ۱۸۰ میلیمتر .

۴- در کشور هند در سال ۱۹۶۰: کاهش بارش فصل واقعی (مونسون) بیش از دو برابر متوسط انحراف .

۵- در کشور بالی در سال ۱۹۶۴: یک دوره شش روزه بدون بارش :

بعنوان معیاری برای خشکسالی هواشناسی در نظر گرفته شده است .
بعلاوه اهمیت دیدگاه هواشناسی در این است که اندازه گیریهای هواشناسی اولین نشانه بروز خشکسالی می باشد.

۲- دیدگاه اقلیم شناسی:

از دیدگاه اقلیم شناسان خشکسالی یک پدیده طبیعی است که در اثر تغییرات الگوهای آب و هوایی ناشی از کاهش نزولات جوی کمتر از حد معمول خود به خود به وجود می آید و ادامه آن موجب عدم تعادل اکولوژیکی و هیدرولوژیکی می شود. از طرفی چون از دیدگاه جغرافیایی تعریف خشکسالی مفهومی مکانمند می باشد، شدت خشکسالی در هر محل تابعی از ضریب تغییرپذیری بارش در همان محل است بنابراین از نظر اقلیم شناسی خشکسالی قابل تعیین است به طوری که در این روش درجه خشکسالی و ترسالی تعیین می گردد.

۳- دیدگاه هیدرولوژیکی:

از دیدگاه هیدرولوژیست ها خشکسالی زمانی اتفاق می افتد که سطح تراز ذخایر آبهای سطحی و زیر زمینی از حد معمول خود پایین تر باشد. خشکسالی هیدرولوژیکی اغلب در عرضهای میانی بر اثر کمبود و فقدان بارش زمستانی اتفاق می افتد. علاوه بر بارش فاکتورهای اقلیمی دیگر مانند دماهای بالا، بادهای قوی و رطوبت نسبی کم نیز به طور قابل ملاحظه ای بر روی خشکسالی هیدرولوژیکی تأثیر دارند .
در دیدگاه هیدرولوژیکی اندازه گیری میزان آبهای جاری - رودخانه ها - دریاچه ها و آبهای زیرزمینی معیار خشکسالی میباشد و یک زمان پایه بین فقدان بارندگی و کم شدن آبهای جاری و رودخانه ها و آب دریاچه ها و آبهای زیرزمینی وجود دارد. بنابراین معیار هیدرولوژیکی نمی تواند اولین نشانگر خشکسالی باشد زیرا زمانی که کمبود بارش اتفاق بیفتد بعد از مدتی این کاهش در آبهای سطحی و زیرزمین منعکس خواهد شد.

۴- دیدگاه کشاورزی :

از دیدگاه کشاورزی زمانی که رطوبت خاک از نیاز واقعی محصول کمتر باشد و منجر به خسارت در محصول شود خشکسالی اتفاق افتاده است.

چون در محاسبه نیاز آبی گیاهان مشخص شده که نیاز آبی آنها باهم متفاوت است بنابراین مفهوم خشکسالی از دیدگاه کشاورزی برای محصولات مختلف یکسان نمی باشد. از دیدگاه کشاورزی درجه خشکسالی به روش پنمن مانیت و روش باران مؤثر انجام می شود همچنین روش پنمن مانیت از طرف FAO به عنوان بهترین روش برای تعیین درجه خشکسالی کشاورزی معرفی شده است.

خشکسالی کشاورزی معمولاً بعد از خشکسالی هواشناسی و قبل از خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق می افتد و کشاورزی معمولاً اولین بخش اقتصادی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار میگیرد.

۵- دیدگاه اجتماعی و اقتصادی:

از دیدگاه اجتماعی و اقتصادی خشکسالی یعنی زمانی که کمبود آب برای نیازهای بشر موجب نابهنجاریهای اجتماعی و اقتصادی شود.

به منظور به حداقل رساندن خشکسالی واضح است که انتقال مدیریت بحران به مدیریت ریسک امری اجتناب ناپذیر است و نظارت و ارزیابی خشکسالی از ضروریات است و برای نظارت و ارزیابی خشکسالی نیز شاخص های خشکسالی از اهمیت بخصوصی برخوردار می باشد.

شاخصهای خشکسالی:

ابتدا باید متذکر شد که شاخصهای خشکسالی از داده های کوتاه مدت بارش، برف، روانآب و دیگر شاخصهای ذخایر آبی برای تبدیل شدن به یک نمونه بزرگ قابل فهم ساخته شده اند .

شاخصهای خشکسالی به منظور استفاده بیشتر از داده های خام جهت قابل فهم بودن آنها و همچنین ایجاد قدرت تصمیم گیری برای طراحان و برنامه ریزان معمولاً تنها به صورت یک عدد بیان می شوند.

بعضی از شاخصهای خشکسالی میزان یک دوره زمانی معین مقدار بارش را که به لحاظ تاریخی نسبت به مقدار هنجار آن انحراف دارند را اندازه گیری می کنند . اگر چه هیچ شاخص عمده ای از نظر کم و کیف بالاتر از بقیه شاخصها نیست اما بعضی از شاخصها ممکن است برای بعضی از کاربران مفیدتر و مناسبتر باشد برای مثال شاخص شدت خشکسالی پالمر به طور وسیعی توسط وزارت کشاورزی امریکا ، به منظور تعیین زمان لازم جهت کمک های بلاعوض در موقع وقوع خشکسالی شدید مورد استفاده قرار گرفته شده است . اما با این وجود شاخص شدت خشکسالی پالمر زمانی مفید تر واقع می شود که در مورد نواحی که دارای توپوگرافی همگن و یکسانی هستند به کار رود به همین دلیل ایالت های غربی امریکا که دارای سرزمینهای کوهستانی و در نتیجه میکروکلیمای ناحیه ای پیچیده ای هستند متوجه شده اند که اگر ارزش و ارقام ناشی از شاخص پالمر را توأم با دیگر شاخصها مانند شاخص ذخیره آب سطحی به کار ببرند نتیجه بهتر و مفیدتری خواهند گرفت.

مرکز بین المللی تعدیل خشکسالی نیز شاخصی تحت عنوان شاخص بارش استاندارد را برای نشان شرایط ذخیره رطوبت مورد استفاده قرار داده که از جمله ویژگیهای متمایز کننده آن، یکی شناسایی و ظاهر شدن ماههای خشکسالی زودتر از شاخص پالمر می باشد و دیگری محاسبه آن برای مقیاسهای زمانی متفاوت می باشد هر چند خود این شاخص از عیب و نقص میرا نمی باشد با وجود مطالب ذکر شده بیشتر طراحان منابع آب و برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان این مطلب را درک کرده اند که قبل از تصمیم گیری بیش از یک شاخص خشکسالی را مد نظر داشته باشند و تنها به یک شاخص اکتفا نکنند.

انواع شاخصهای خشکسالی موجود

۱- شاخص شدت خشکسالی پالمر Palmer Drought Severity Index: PDSI

این شاخص در سال ۱۹۶۵ توسط palmer ابداع شد و مفهوم اساسی آن بر اساس دما و بارش و همچنین رطوبت خاک استوار می باشد. این شاخص در مقیاس زمانی ماهیانه به کار می رود و فاکتورهای اساسی مورد نیاز جهت محاسبه این شاخص شامل دما، بارش، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق طی محاسبه فرمولهای فراوان و نسبتاً پیچیده می باشد.

۲- شاخص ذخیره آب سطحی Surface Water Supply Index : SWSI

این شاخص در سال ۱۹۸۲ توسط Shafer و dezman ارائه شد. و مفهوم اصلی آن همان مفهوم شاخص پالمر است با این تفاوت که در این شاخص ذخیره آب موجود در برف مورد توجه و تأکید قرار گرفته شده است. این شاخص نیز برای مقیاس زمانی ماهیانه به کار می رود و فاکتورهای اساسی هواشناسی و اقلیمی مورد استفاده آن بارش و پوشش برف می باشد.

۳- شاخص درصدی از نرمال Percent of Normal : PN

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط Willeke و همکارانش ارائه شد و مفهوم اساسی آن تقسیم بارش واقعی بر بارش نرمال می باشد و تنها فاکتور مورد نیاز جهت محاسبه آن بارش می باشد و همچنین در مقیاس زمانی ماهیانه به کار برده می شود.

۴- شاخص دهکها Deciles

این شاخص در سال ۱۹۶۷ توسط Gibbs و Maher ارائه شد. این شاخص اساساً از تقسیم توزیع احتمال وقوع آمار ثبت شده درازمدت بارش بر بخشی از هر یک از ده درصد توزیع به دست می آید. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص بارش می باشد و مقیاس زمانی مورد استفاده در این شاخص نیز مقیاس ماهیانه می باشد.

۵- شاخص بارش استاندارد Standardized Precipitation Index: SPI

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط Mckee و همکارانش ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می باشد. این شاخص را می توان در مقیاسهای زمانی ۳-۶-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد.

۶- شاخص رطوبت محصول Crop Moisture Index: (CMI)

این شاخص در سال ۱۹۶۸ توسط palmer ابداع شد. مفهوم این شاخص بر اساس میانگین دما و مجموع بارش هر هفته در یک تقسیم اقلیمی نسبت به مقادیر CMI هفته قبل استوار است و با توجه به زمان و مکان دارای ضرائب وزنی می باشد. فاکتورهای اساسی مورد استفاده در این شاخص دما و بارش می باشد و در مقیاس زمانی هفتگی به کار می رود.

۷- شاخص خشکسالی رطوبت خاک Soil Moisture Drouyht Index:SMDI

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط Hollinyer و همکارانش ارائه شد. این شاخص بر مبنای مجموع رطوبت خاک بطور روزانه برای یک سال استوار است و تنها فاکتور اقلیمی مورد استفاده در این شاخص رطوبت خاک میباشد. این شاخص در مقیاسهای سالانه به کار می رود.

۸- شاخص خشکسالی محصول-ویژه (CSDI): Crop Specific Drought Index

این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط Meyer و همکارانش ارائه شد سپس در سال ۱۹۹۵ مجدداً توسط Meyer و Hubbard اصلاح شد. این شاخص پس از شاخص رطوبت محصول (CMI) ارائه شد. مفهوم اساسی این شاخص، مجموع ارقام محاسبه شده تبخیر و تعرق و تقسیم آن بر تبخیر و تعرقی که ممکن است در طول دوره رشد یک محصول ویژه اتفاق افتاده باشد. مهمترین فاکتور اقلیمی که در این شاخص بکار می رود تبخیر و تعرق می باشد و در مقیاس زمانی فصلی از این شاخص استفاده می شود.

۹- شاخص بارش سراسری یا کلی (RI): National Rain Fall Index

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط Petrassi و Gommes عرضه شد. این شاخص بر اساس الگوها و ناهنجاریهای بارش در یک مقیاس قاره ای استوار می باشد و تنها فاکتور مؤثر در آن بارش می باشد و در دو مقیاس زمانی سال و قرن بکار برده میشود.

۱۰- شاخص ناهنجاری یا بی نظمی بارش (RAI): Rain Fall Anomaly Index

این شاخص در سال ۱۹۶۵ توسط Rooy عرضه شد. این شاخص بر اساس محاسبه بارش مقایسه شده با ارقام تصادفی از ۳- تا ۳+ بدست می آید بطوری که به بی نظمی های بارش ۱۰ کرانه اختصاص داده شده است. تنها عامل مؤثر در محاسبه این شاخص، بارش می باشد. در ضمن این شاخص در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه بکار برده میشود.

۱۱- شاخص خشکسالی احیائی (RDI): Reclamation Drought Index

این شاخص در سال ۱۹۹۶ توسط Weyhorst ارائه شد. این شاخص شبیه به شاخص ذخیره آب سطحی می باشد و بر اساس فاکتورهای اقلیمی و هواشناسی، سطح آب رودخانه، بارش برف، جریانات سطحی، ذخائر آب و همچنین دما محاسبه می شود و در مقیاس زمانی ماهانه بکار میرود

۱۲- شاخص بارش مؤثر (ERI): Effective Rain Fall Index

این شاخص در سال ۱۹۹۹ توسط Wilhit و byun بعنوان جدیدترین شاخص خشکسالی در سالهای اخیر ارائه گردید و این شاخص بر اساس تحلیل های کمی از بارش مؤثر روزانه استوار است بنابراین تنها عامل مؤثر در آن بارش بوده و مقیاس زمانی آن روزانه می باشد.

جدول شماره ۱: انواع شاخصهای سنجش و ارزیابی خشکسالی

نام شاخص سنجش خشکسالی	علامت اختصاری	ارائه دهنده	سال ارائه	مقیاس زمانی	فاکتورهای مؤثر
۱- شاخص شدت خشکسالی پالم	PDSI	Palmer	۱۹۶۵	ماهانه	دما-بارش-رواناب-تبخیر و تعرق-رطوبت خاک
۲- شاخص ذخیره آب سطحی	SWSI	Shafer Decman	۱۹۸۲	ماهانه	بارش و پوشش برف
۳- شاخص درصدی از نرمال	PN	Willeke	۱۹۹۴	ماهانه	بارش
۴- شاخص دهکها	Deciles	Gibbs Maher	۱۹۶۷	ماهانه	بارش
۵- شاخص بارش استاندارد	SPI	Mckee	۱۹۹۵	۳-۶-۱۲-۲۴-۴۸ ماهه	بارش
۶- شاخص رطوبت محصول	CMI	Palmer	۱۹۶۸	هفتگی	بارش و دما
۷- شاخص خشکسالی رطوبت خاک	SMDI	Hollinger	۱۹۹۴	سالانه	رطوبت خاک
۸- شاخص خشکسالی محصول ویژه	CSDI	Meyer	۱۹۹۳	فصلی	تبخیر
۹- شاخص بارش کلی یا سراسری	RI	Gommes Petrassi	۱۹۹۴	قرن و سال	بارش
۱۰- شاخص نابهنجاری و بی نظمی بارش	RAI	Rooy	۱۹۶۵	ماهانه و سالانه	بارش
۱۱- شاخص خشکسالی حیائی	RDI	Weghorst	۱۹۹۶	ماهانه	سطح آب رودخانه-بارش برف-جریانات سطحی-ذخائر آب و دما
۱۲- شاخص بارش مؤثر	ERI	Wilhite Byum	۱۹۹۹	سالانه و روزانه	بارش روزانه

بررسی چند شاخص خشکسالی مهم همراه با مزایا و معایب آنها:

۱- شاخص درصدی از نرمال :

شاخص درصدی از نرمال شاخصی است که بیشتر برای درک عموم مردم جامعه استفاده می شود. این شاخص یکی از ساده ترین روشهای اندازه گیری بارش برای یک منطقه می باشد و به پیشنهاد مهندسین کونتا در ایران ساده ترین و مؤثرترین روش آگاهی از وضع خشکسالی تعیین درصد بارندگی نسبت به نرمال بصورت هفتگی و ماهانه معرفی شده است.

استفاده از شاخص آنالیز بارش نرمال زمانی خیلی مفید است که از آن تنها برای یک ناحیه یا یک فصل استفاده شود. اما از سوئی باید توجه داشت که درصد بارش نرمال به آسانی گمراه کننده و غیر واقعی می باشد و شرایط مختلفی را با توجه به منطقه و فصل عرضه می کند. بارش نرمال بوسیله تقسیم بارش واقعی به بارش نرمال، ضرب در ۱۰۰ محاسبه میشود و معمولاً در مقیاسهای زمانی ماهانه مثلاً از یک تا چندماه که معرف یک فصل ویژه است و یا مقیاسهای ماهانه که معرف یکسال یا یکسال آبی متغییر است بکار می رود بعلاوه بارش نرمال برای یک منطقه خاص ۱۰۰٪ فرض شده است.

یکی از نقاط ضعف استفاده از بارش نرمال آن است که متوسط یا میانگین بارش با میانه یکی نیستند و ارزش آن ۵۰٪ از بارش اتفاق افتاده در گزارشات اقلیمی اتفاق افتاده انحراف دارد. دلیل این امر آن است که بارش در مقیاسهای ماهانه و سالانه توزیع نرمالی ندارد و استفاده از درصد بارش نرمال در جایی به توزیع نرمال بطور ضمنی شباهت دارد که میانه و میانگین یکسان فرض شده باشند.

مثالی از اختلال و اشتباه را که از این امر ناشی میشود را میتوان بوسیله گزارش بارش بلندمدت برای ماه ژانویه، روشن کرد. بطوریکه میانه بارش ماه ژانویه ۳۶۰ mm است به این معنی که در نیمی از سال کمتر از ۳۶۰ mm بارش گزارش شده است و در نیمه دیگر سال بیش از ۳۶۰ mm بارش گزارش شده است از سویی بارش ماهیانه ژانویه در حدود ۷۵٪ کل مجموع بارندگی نرمال است زمانی که این مقدار با میانگین مقایسه شود اغلب تحت عنوان خشکی کامل در نظر گرفته می شود

به علت تغییرات زمانی و مکانی در بارشهای ثبت شده هیچ راهی برای تعیین فراوانی انحراف از نرمال و همچنین مقایسه مکانهای مختلف وجود ندارد و این امر ارتباط دادن رقم یک انحراف را با تاثیر بخصوص یک رخداد، به عنوان نتیجه ای از انحراف مشکل می سازد و مانع از تلاش برای تعدیل خشکسالی بر اساس انحراف از نرمال در یک برنامه پاسخگو می باشد.

۲- شاخص بارش استاندارد:

شاخص بارش استاندارد شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای مقیاسهای زمانی متفاوت به کار برده می شود همچنین رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش بینی می کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک کرده و نسبت به شاخص پالمر از پیچیدگی کمتری برخوردار میباشد. به علاوه بسیاری از برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان و طراحان خشکسالی چند منظوره بودن شاخص بارش

۱- مقادیر کمی شدت خشکسالی و علامت شروع و خاتمه یک خشکسالی و یا یک ترسالی بر اساس مطالعه پالمر از Iawo مرکزی و Kansas غربی انتخابی دلخواهانه بود که از نظر علمی چندان معنی دار نمیباشد.

۲- شاخص پالمر نسبت به شرایط رطوبت نوع خاک حساسیت دارد، بنابراین به کاربردن این شاخص برای برنامه ریزان اقلیمی ممکن است بسیار معمولی و عادی باشد.

۳- دو لایه از خاک در محدوده محاسبه معادله تعادل آب ساده شده اند و ممکن است که موقعیت آنها دقیقاً نشان داده نشود.

۴- در این شاخص، بارش برف، پوشش برف و زمین یخ بسته لحاظ نشده است و تمام بارش به عنوان بارندگی فرض شده است. بنابراین ارزشهای زمانبندی PDSI یا PHSI ممکن است در ماههای زمستان و بهار در نواحی که ریزش برف رخ میدهد دقیق نباشد.

۵- فاصله طبیعی بین زمان نزول بارش و در نتیجه رواناب ناشی از آن مورد توجه قرار نگرفته است به علاوه هیچ نوع روانابی به منظور جایگزینی در مدل لحاظ نشده که بتواند ظرفیت آب خاک سطحی و لایه های خاک زیر سطحی را که منجر به برآورد رواناب می شود تعیین کند.

۶- تبخیر و تعرق بالقوه در این شاخص از طریق روش تورنت ویت ارزیابی شده است این روش پذیرش زیادی دارد و در سطح وسیعی مورد قبول واقع شده است اما هنوز خودش در حد یک تقریب و تخمین می باشد.

چندین محقق دیگر محدودیتهای دیگری را برای شاخص پالمر در نظر گرفته اند. Mckee و همکارانش در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد کردند که شاخص شدت خشکسالی پالمر برای کشاورزی مفید می باشد اما برای نشان دادن تأثیرات هیدرولوژی ناشی از خشکسالی های بلندمدت مناسب نمی باشد. همچنین شاخص پالمر در محدوده ایالات متحده امریکا کاربرد دارد و در جاهای دیگر کمتر مورد پذیرش می باشد. در سال ۱۹۹۳، Smith و همکارانش در این زمینه توضیحاتی دادند و پیشنهاد کردند که شاخص پالمر کاربرد خوبی در نواحی که تغییرات رواناب و بارش در آنها شدید است ندارد.

اشکال دیگری که در شاخص پالمر وجود دارد این است که طبقه بندی خشکسالیهای شدید با یک فراوانی بیشتری در بعضی از قسمتهای کشور نسبت به دیگر قسمتها رخ می دهد بطوری که در دشتهای بزرگ با فراوانی بیش از ۱۰٪ خشکسالیهای شدید به وقوع می پیوندد و این امر دقت و صحت مقایسه خشکسالی بین دو ناحیه را محدود میکند. علاوه عیب دیگر روش پالمر آن است که برای پیش بینی های کوتاه مدت مفید نمی باشد و نمی توان میزان آب محبوس در برف را در محاسبات در نظر گرفت و همچنین در این روش تأثیراتی که انسان از طریق آبیاری بر روی بیلان آب اعمال میکند مد نظر قرار نگرفته است.

مفاهیم اساسی و روش دقیق محاسبه فرمولهای مورد نیاز در شاخص پالمر طی مقاله ای تحت عنوان سیستم مراقبت از شدت و وسعت خشکسالی با نمایه شدت خشکسالی پالمر توسط مرکز ملی اقلیم شناسی کشور فراهم گردیده است به علاوه کلیه عوامل مؤثر در محاسبه این شاخص خشکسالی در مشهد دیده بانی می شود.

جدول شماره ۳: طبقه بندی شاخص شدت خشکسالی پالم

طبقه بندی شاخص شدت خشکسالی پالم	
۴ و بیشتر	فوق العاده مرطوب
۳ تا ۳/۹۹	خیلی مرطوب
۲ تا ۲/۹۹	مرطوب متوسط
۱ تا ۱/۹۹	تقریباً مرطوب
۰/۵ تا ۰/۹۹	آغاز دوره مرطوب
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	تقریباً نرمال
-۰/۵ تا -۰/۹۹	آغاز دوره خشک
-۱ تا -۱/۹۹	خشکسالی ملایم و خفیف
-۲ تا -۲/۹۹	خشکسالی متوسط
-۳ تا -۳/۹۹	خشکسالی شدید
-۴ و کمتر	خشکسالی فوق العاده شدید

۴- شاخص ذخیره آبی سطحی (SWSI):

شاخص ذخیره آب سطحی توسط shafer و Dezman در سال ۱۹۸۲ به منظور تکمیل شاخص پالم در منطقه Colorado امریکا طراحی شده است زیرا در این منطقه برف متراکمی که بر روی کوهها قرار دارد یک عنصر اساسی در ذخیره آب سطحی به حساب می آید بنابراین این شاخص برای حوزه آبریز مدنظر براساس شدت برف- آب جاری- بارش و ذخیره مخازن محاسبه می شود. شاخص پالم اساساً یک الگوریتم تنظیم شده برای رطوبت خاک در نواحی تقریباً متجانس بود و برای سطوحی از یک ناحیه که تنوع توپوگرافی زیادی داشت طراحی نشده بود. همچنین این شاخص توده های برف و رواناب متوالی ناشی از آن را لحاظ نکرده بود. بنا براین Shafer و Dezman شاخص ذخیره آب سطحی را که معرف شرایط آب سطحی است طراحی کردند و این شاخص را تحت عنوان شاخص وابسته به آب کوهستان در نواحی کوهستانی که بارش برف جزء اصلی ریزشهای آن است تشریح کردند.

هدف شاخص ذخیره آب سطحی این بود که خصوصیات هیدرولوژی و اقلیمی را ضمیمه هم کند و آنرا به یک شاخص واحد مشابه به ارزشها و مقادیر شاخص پالمر در رودخانه های مهم در حوضه Colorado کند. این ارقام با توجه به مقایسه بین حوضه ها استاندارد شده اند.

چهار ورودی برای شاخص ذخیره آب سطحی مورد نیاز می باشند که عبارتند از: پوشش برف، ریزش برف، ریزش باران و منابع دیگر ذخیره آب. چون این شاخص به فصل وابسته است شاخص ذخیره آب سطحی تنها با پوشش برف و ریزش باران و منابع دیگر ذخیره در زمستان محاسبه می شود در طول ماههای تابستان جریانات آب سطحی جایگزین پوشش برف می شود که یکی از محدودیتهای عادی شاخص ذخیره آب سطحی است.

روش تعیین شاخص ذخیره آب سطحی برای یک حوزه ویژه بصورت زیر میباشد:

در تمام ایستگاههای یک حوزه بارش و ذخائر و پوشش برف و جریانات سطحی بصورت داده های ماهیانه جمع آوری می شوند سپس هر بخش جمع آوری شده با استفاده از تجزیه و تحلیل مجموع فراوانی ها بصورت مجموعه ای از داده های بلندمدت نرمال می شوند. پس احتمال هر گونه خطا برای هر بخشی با استفاده از تجزیه و تحلیل فراوانی ها تعیین می شود و این امر امکان مقایسه احتمالات بین بخشهای مختلف را فراهم می کند. به هر بخش یک ارزش نسبت داده می شود که براساس توزیع آب سطحی در محدوده آن میباشد سپس ارزش عام بخشها را به منظور تعیین ارزش شاخص ذخیره آب بعنوان معرفی برای سراسر یک حوضه جمع آوری کرده اند. شاخص ذخیره آب سطحی بر روی صفر متمرکز شده و دارای دامنه ای بین $4/2$ تا $4/2+$ می باشد.

شاخص ذخیره آب سطحی تنها شاخص پالمر را مورد استفاده قرار داد و باعث فعال شدن برنامه خشکسالی در Colorado شد یکی از مزایای این شاخص این است که از نظر محاسبه ساده می باشد

و یک اندازه که بیانگر یا نماینده ذخیره آب سطحی است ارائه می دهد. بعدها این شاخص تغییراتی کرد و در ایالات غربی امریکا بخوبی بکار گرفته شد.

چندین خصوصیت از شاخص ذخیره آب سطحی کاربرد آن را محدود کرده است. از آنجائی که شاخص ذخیره آب سطحی برای هر حوضه منحصر بفرد می باشد بنابراین تثبیت مقادیر شاخص ذخیره آب سطحی بین حوضه ها دشوار می باشد به علاوه در محدوده یک حوضه تعطیل شده یک ایستگاه به این معنی است که ایستگاههای جدیدی برای اضافه شدن به سیستم مورد نیاز می باشند همچنین تغییر در مدیریت منابع آب برای یک حوضه محدودیتهائی را از طریق تغییر مسیر جریان آب یا ایجاد دریاچه پشت سدهای جدید ایجاد می کند و این بدان معنی است که کامل شدن الگوریتم شاخص ذخیره آب سطحی برای آن حوضه، بخاطر حساب کردن تغییراتی که در ارزش هر کدام از اجزاء حوضه بوجود آمده است نیازمند بازسازی می باشد بنابراین بدست آمدن یک سری زمانی متجانس و همگون از این شاخص دشوار می باشد.

با توجه به موارد فوق یعنی تغییراتی که در مجموع داده های یک ایستگاه داده می شود و همچنین تغییراتی که در مدیریت منابع آب بوجود می آید. استفاده از این شاخص نیازمند الگوریتمهای جدید برای یک حوزه می باشد. اما از نکات مثبت این شاخص آن است که

شرایط منحصر بفردی را برای هر حوضه معرفی میکند اما از سوئی باید خاطر نشان کرد که این خصوصیت مثبت منجر به یک خصوصیت منفی نیز می شود و آن این که مقایسه بین حوضه ها به وسیله این شاخص امکان پذیر نمی باشد.

۵- شاخص رطوبت محصول (CMI):

شاخص رطوبت محصول از یک نگرش هواشناسی به منظور نشان دادن شرایط کشت هفته به هفته محصولات کشاورزی ناشی می شود. این روش توسط پالم در سال ۱۹۶۸ از طریق همان روال محاسبه شده در PDSI توسعه پیدا کرد. با وجودی که شاخص PDSI دوره های خشکسالی و دوره های ترسالی را نشان می داد شاخص CMI برای ارزیابی شرایط رطوبت در کوتاه مدت در نواحی عمده تولید محصول طراحی شده بود این شاخص مبتنی بر درجه حرارت متوسط و مجموع بارندگی برای هر هفته در محدوده یک منطقه می باشد. شاخص CMI سریعاً نسبت به تغییر شرایط واکنش نشان می دهد. این شاخص با توجه به زمان و مکان ارزیابی می شود بنابراین نقشه هایی که بطور متداول CMI هفتگی را در سطح ایالت متحده نشان می دهند، می توانند به منظور مقایسه شرایط رطوبت در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

چون شاخص CMI برای نشان دادن شرایط رطوبت مؤثر در رشد محصولات در کوتاه مدت طراحی شده است بنابراین ابزار خوبی برای نشان دادن خشکسالی در بلند مدت نیست از طرفی بعلاوه اینکه CMI هان نسبت به تغییرات کوتاه مدت شرایط واکنش نشان می دهند ممکن است اطلاعات گمراه کننده ای در باره شرایط بلندمدت در دسترس قرار دهند برای مثال یک بارندگی مفید در طول یک دوره خشکسالی ممکن است مقادیر CMI را برای نشان دادن شرایط رطوبت به اندازه کافی در نظر بگیرد در حالی که خشکسالی بلندمدت در آن منطقه ادامه داشته باشد.

خصوصیت دیگر شاخص رطوبت محصول که استفاده آنرا به عنوان ابزاری برای نشان دادن خشکسالی بلندمدت محدود میکند این است که شاخص رطوبت محصول معمولاً در فصل رشد نزدیک صفر شروع می شود و خاتمه می یابد. این محدودیتها مانع از استفاده از شاخص رطوبت محصول برای نشان دادن شرایط رطوبت در خارج از رشد فصلی عمومی می شود بخصوص در خشکسالی هایی که چندین سال تداوم دارند. شاخص CMI در طول رشد دانه ها در شروع فصل رشد محصولات بخصوصی مناسب باشد.

شاخص رطوبت محصول ذخیره رطوبت را در کوتاه مدت در سطح نواحی عمده تولیدات محصولات کشاورزی نشان می دهد و برای ارزیابی خشکسالی بلندمدت کاربردی ندارد از سوئی این شاخص خشکسالی بالقوه کشاورزی را شناسایی میکند.

۶- شاخص خشکسالی حیاتی:

شاخص خشکسالی حیاتی اخیراً بعنوان ابزاری در جهت تعیین شدت خشکسالی و طول دوره آن و نشان دادن آغاز و پایان دوره خشکسالی توسعه پیدا کرده است انگیزه ابداع این شاخص در امریکا بخاطر دادن کمکهای مالی به ایالت هایی بود که دچار خشکسالی شده بودند بطوری که این شاخص این امکان را به ایالت های خسارت داده میداد که به منظور جبران و تخفیف اثرات خشکسالی از دفتر اداره بازسازی کمکهای مالی دریافت کنند.

شاخص خشکسالی حیائی در سطح حوضه یک رودخانه محاسبه شده است و اجزای ذخیره آب مثل بارش، پوشش برف و جریانات سطحی و مخازن ذخیره آب را شامل میشود این شاخص از شاخص شدت خشکسالی پالمر متفاوت می باشد زیرا ساختار این شاخص براساس دما استوار میباشد. شاخص خشکسالی حیائی برای هر ناحیه ای قابل اجرا می باشد و درجه توانائی این شاخص در حدی است که میتواند هم فاکتورهای ذخیره آب و هم فاکتورهای اقلیمی را به حساب آورد. یکی از نکات ضعف این شاخص این است که چون این شاخص برای حوضه هر رودخانه منحصر بفردها میباشد مقایسه بین حوضه ها توسط آن ممکن نمیشود.

جدول شماره ۴: طبقه بندی مقادیر شاخص خشکسالی حیائی:

مقادیر شاخص خشکسالی حیائی	
۴ یا بیشتر	خیلی مرطوب
۴ تا ۱/۵	مرطوب متوسط
۱ تا ۱/۵	نرمال تا یک ترسالی خفیف
۱/۵ تا ۰	نرمال تا یک خشکسالی خفیف
۴ تا -۱/۵	خشکسالی متوسط
۴- یا کمتر	خشکسالی شدید

۷- شاخص بارش مؤثر:

شاخص بارش مؤثر جدیدترین شاخص بررسی و ارزیابی خشکسالی می باشد که در سالهای اخیر به منظور بهبود کنترل خشکسالی و حل مسائل و نقاط ضعف متداول در شاخصهایی که تا کنون بررسی کردیم، برنامه ریزی و طراحی شده است. همانطوری که آشکار است شاخص شدت خشکسالی پالمر هنوز هم بیشترین استفاده را نسبت به سایر شاخصها داشته و پیشرفت بیشتری کرده و از آنجائیکه بارشهای جوی در واقع مهمترین متغیری است که تغییرات آن می توان بطور مستقیم و غیرمستقیم تغییرات رطوبت خاک، جریانه های سطحی و مخازن زیرزمینی و غیره را تحت تأثیر قرار دهد بنابراین مهمترین فاکتوری است که در هر مطالعه خشکسالی مد نظر می باشد.

همچنین اولاییدو پس از مقایسه بررسی خشکسالی از دیدگاه سه شاخص (شاخص پالمر، شاخص ناهنجاری بارش و شاخص خشکسالی بالم و مولی) پیشنهاد کرده که برای خشکسالی از دیدگاه هواشناسی بهتر است از عامل بارش استفاده شود.

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده و بررسی نکات ضعف سایر شاخصهائی که تا کنون بررسی کرده بودیم شاخص بارش مؤثر که براساس داده های روزانه بارش بود ارائه شد.

از جمله نکات ضعف شاخصهای قبلی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- واحد زمان:

بیشتر شاخصهای خشکسالی که تا کنون مورد بررسی قرار دادیم دوره زمانی ماهیانه و یا طولانی تر را به کار برده اند و هیچ شاخصی از واحد زمانی روزانه استفاده نکرده است. اما از آن جایی که یک رژیم خشکسالی مؤثر تنها با استفاده از بارندگی مؤثر روزانه به شرایط نرمال پاسخ می دهد باید از واحد زمانی روزانه استفاده کرد. به علاوه استفاده از واحد زمانی روزانه شدت خشکسالی را مکرراً مورد ارزیابی قرار داده و در هر زمانی نشان میدهد که نهایتاً این امر به اذهان عمومی اجازه می دهد که بر علیه ریسک آماده باشند (مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران). همچنین باید در نظر داشت که مشکل استفاده از واحد زمانی ماهیانه این است که بطور مثال اگر دو ماه متوالی را که در نظر بگیریم واگر روز اول ماه اول و روز آخر ماه دوم بارشهای خوبی داشته باشیم و در عوض در روزهای مابین هیچگونه بارشی نداشته باشیم، از دیدگاه واحد زمانی ماهیانه ممکن است میزان بارندگی نرمال باشد اما این در حالی است که در واقع ما ۵۸ روز بدون بارندگی داشته ایم و در واقع یک دوره کمبود ۵۸ روزه بارش اتفاق افتاده است.

۲- تعیین و تعریف دوره کمبود آب:

خشکسالی با کاهش منابع آب شیرین به وقوع می پیوندد که از نظر اقلیم شناسی اهمیت دارد و اهمیت آن این است که خشکسالی نه تنها کمبود آب در یک زمان مخصوص است بلکه رخدادهای متوالی از یک کمبود است. بنابراین زمانی که دوره کمبود آب شروع می شود و مدت زمانی که ادامه دارد خیلی مهم است. اما بیشتر شاخصهای خشکسالی که تا کنون بررسی کردیم فقط کمبود آب را از دیدگاه اقلیمی در دوره های از پیش تعیین شده ارزیابی می کنند و قادر به نشان دادن دوره واقعی کمبود آب نیستند.

۳- دوره ذخیره منابع آب:

بررسی خطر خشکسالی می تواند به دو منظور طبقه بندی شود یکی بررسی خطر کمبود رطوبت در خاک و دیگری کمبود منابع آب می باشد. بطوری که خشکی خاک تحت تأثیر دوره کوتاه کمبود بارش که به تازگی اتفاق افتاده است قرار می گیرد اما کمبود آب ذخیره شده در منابع آب تحت تأثیر مجموع دوره های طولانی تر بارش قرار می گیرد. و این که ما در مورد دیگر خطرات خشکسالی که به دو طبقه مذکور مرتبط نیستند بر این اساس کار کنیم کار آسانی نیست و درست نمی باشد بنا براین یک طبقه بندی جداگانه برای هر منظور روش بهتری برای ارزیابی خشکسالی است اما با این حال مشکل میتوان شاخص خشکسالی را پیدا کرد که مثلاً هم اثرات کوتاه مدت وهم

اثرات بلندمدت خشکسالی را بطور همزمان مدنظر قرار داده باشد. اما شاخص بارش مؤثر از این مزیت برخوردار است و هم دوره کوتاه ۱۵ روزه و هم دوره ۳۶۵ روزه را در بر می گیرد.

۴- توجه به اتلاف منابع آب با گذشت زمان :

با توجه به اینکه معمولاً پس از بارندگی رطوبت موجود در خاک و منابع آب با گذشت زمان بصورت تابعی از نسبت رواناب و تبخیر و تعرق کاهش می یابد بنابراین بایستی این کاهش به هنگام بررسی ناهنجاریهای بارش در نظر گرفته شود اما تقریباً همه شاخصهای خشکسالی از جمع بارندگی ساده استفاده می کنند (نه بارندگی مؤثر).

۵- داده های مورد استفاده:

شاخصهای خشکسالی که تا کنون مورد بررسی قرار دادیم مثل شاخص پالمر علاوه بر بارش از داده های متعدد دیگری مثل رطوبت خاک- رواناب- تبخیر و تعرق و غیره نیز برای محاسبات خود استفاده می کنند اما این پارامترهای مورد استفاده را بطور مستقیم مشاهده (دیده بانی) نمی کنند بلکه آنها را از طریق محاسبه یک سری فرمولها بدست می آورند بنابراین افزایش تعداد پارامترها دلیلی بر دقت بالا نیست و این در حالی است که شاخص بارش مؤثر روزانه تنها از یک فاکتور استفاده کرده است.

۶- گوناگونی و تنوع اطلاعات :

زمانی که خشکسالی اتفاق می افتد اطلاعات مربوط به آن برای اذهان عمومی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است بنابراین شاخصهای خشکسالی می بایست طوری گویا و واضح باشند که بتوانند برای برخی از سؤالات اساسی که در اذهان عمومی مطرح می شوند جوابگو باشیم و طوری نباشند که فقط به بررسی طول دوره خشکسالی قبلی و مقدار کمبود آب اتفاق افتاده بپردازند (مدیریت بحران) بلکه باید تاریخ وقوع و طول مدت خشکسالی و خاتمه آن و همچنین مقدار بارندگی مورد نیاز برای برگشتن به شرایط نرمال را مشخص کنند (مدیریت ریسک).

حال با توجه به بیان موارد ذکر شده در بالا به منظور حل مشکلات مذکور و همچنین بررسی روزانه ودقیق خشکسالی شاخص بارش مؤثر ارائه گردید.

در این روش از سه شاخص برای تاریخ شروع و خاتمه خشکسالی و تعیین تداوم خشکسالی و کمبود آب استفاده شد که عبارتند از:

۱- شاخص میانگین بارش مؤثر روزانه، این شاخص خصوصیات اقلیم شناسی بارش را بعنوان منبع آب برای یک ناحیه یا یک ایستگاه نشان می دهد.

۲- شاخص انحراف از میانگین بارش مؤثر روزانه .

۳- شاخص انحراف از میانگین بارش مؤثر روزانه استاندارد شده.

همچنین پنج شاخص می توان برای کمی سازی شدت خشکسالی استفاده کرد که عبارتند از :

۱- روزهای متوالی بارندگی مؤثر روزانه منفی که میتواند نشان دهنده طول مدت کمی بارش باشد.
۲- مجموع روزهای متوالی بارندگی مؤثر روزانه منفی که هم طول دوره خشکسالی وهم شدت آن را بطور همزمان نشان میدهد.
۳- مجموع کمبود بارش که نشان دهنده انحراف مقدار بارش از نرمال در طول یک دوره معین می باشد.
۴- مقدار بارش لازم برای برگشت به دوره نرمال.
۵- یک شاخص استاندارد خشکسالی مؤثر که بتواند به منظور ارزیابی شدت خشکسالی در مقیاس جهانی مورد استفاده قرار گیرد.
شاخصهای فوق در نواحی دشتهای مرتفع ایالات متحده از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۶ مورد آزمایش قرار گرفته اند و نتایج آنها با گزارشهای تاریخی در مورد خشکسالی مقایسه شده اند بطوری که پس از تجزیه و تحلیل به این نتیجه رسیده اند که شاخصهای جدید واقع بینانه تر و معقولانه تر بوده و یک سری مزیتهای عملی نیز دارند بطوری که این شاخصها اولاً بطور دقیق تعیین کننده طول دوره خشکسالی بوده اند، ثانیاً در نشان دادن یک خشکسالی در حال جریان مؤثر بودند و ثالثاً از راههای گوناگونی خصوصیات یک خشکسالی را تشریح و توصیف می کردند.

بطور خلاصه شاخص بارش مؤثر جدیدترین شاخص بررسی خشکسالی است که از آن هم در جهت تصویر و نشان دادن خشکسالی هیدرولوژیک وهم خشکسالی هواشناسی استفاده می شود بطوری که برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیک از یک دوره ۳۶۵ روزه استفاده می کند و دلیل این امر نیز آن است که متداولترین سیکل هیدرولوژیک در همه جای جهان ۳۶۵ روز میباشد.
دوره ۱۵ روزه که برای نشان دادن وقوع خشکسالی در خاک مورد استفاده قرار می گیرد با توجه به نوع منطقه فرق میکند زیرا همانطوری که قبلاً در بررسی خشکسالی از دیدگاه هیدرولوژیک نیز مطرح کردیم طول این دوره در انگلستان مثلاً ۱۵ روز و در بالی ۶ روز و غیره می باشد.

بنابراین با استفاده از این روش می توان وضعیت خشکسالی را برای هر دوره دلخواه (با توجه به تعریفی که از خشکسالی در ناحیه می شود) بررسی نمود و وقوع خشکسالی را در منابع آب و خاک نشان داد.

بررسی خشکسالی های تاریخی با استفاده از شاخص پالمر:

همانطوری که قبلاً در بررسی شاخص شدت خشکسالی پالمر اشاره کردیم یکی از خصوصیات شاخص پالمر که باعث محبوبیت و معروفیت آن شده است آن بود که این شاخص یک تصویر زمانی و مکانی را از خشکسالیهای تاریخی فراهم میکرد در اینجا برای روشن شدن این مطلب به بررسی نمونه ای از یافته های خشکسالیهای دوران گذشته در ایالت متحده از طریق حلقه های درختان بر اساس شاخص پالمر می پردازیم .

خشکسالیها و ترسالیها معمولاً تأثیرات شدیدی بر روی منابع آب، محصولات کشاورزی، تجارت و بازرگانی و بطور کلی اقتصاد و بحرانیهای سیاسی داشته و دارد. تا کنون یافته های ما در باره چگونگی رخداد چنین حوادثی برای گسترش مدلهای مفید برای پیش بینی

امریکا می باشد از سویی دیگر زمانی که هر نقطه از شبکه ایجاد شده تقریباً ۳۰۰ سال گزارش ثبت شده داشته باشد امکان بررسی تغییرات خشکسالی در مقیاس بلند مدت وجود خواهد داشت بعلاوه این امکان نیز فراهم میشود که بتوان الگوهای ترسالی و خشکسالی قرن بیستم را با الگوهائی که در زمانهای قبلی اتفاق افتاده مقایسه کرد.

نتایج حاصل از بررسی خشکسالیهای تاریخی با استفاده از شبکه شاخص شدت خشکسالی پالم: نتایج بازگشت به گذشته نشان داد که شبکه شاخص شدت خشکسالی پالم ۹ الگوی ناحیه ای جداگانه دارد که با تجزیه و تحلیل شاخص شدت خشکسالی پالم ابزاری به خوبی توافق دارد هر یک از این نواحی مدلی از متغیرهای مخصوص به خود را دارند. در بیشتر نواحی نشانی از تأثیر الینو جریان جنوبی وجود داشته و در سایر نواحی نیز مدلهای ۱۰ تا ۲۰ ساله وجود داشته است. علت تغییر خشکسالی در مدلهای بعدی واضح نیست اما از طریق گزارشات بلند مدت مثل یافته های مبتنی بر گزارشات ابزاری که کوتاه مدت اثبات می شوند تأمین میگردد.

منابع

۱-سایت بیابانهای ایران به آدرس <http://www.persiadessert.com>

۲- سایت علمی ویکی پدیا به آدرس <http://en.wikipedia.org/wiki/Desert>

۳- کتاب مناطق خشک دکتر پرویز کردوانی

پایان