



مهر آتوزم و رشد تولید ۱۴۰۲

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی



موسسه آموزش و ترویج کشاورزی

معاونت علمی و فناوری

شبکه دانش کشاورزی

سلسله برنامه‌های ویدیو کنفرانس انتقال دانش به روز در گستره ملی بخش کشاورزی

عنوان:

انواع خشکسالی و شاخص های آن

سخنران:

علی اکبر دماوندی

هیأت علمی گروه منابع طبیعی موسسه آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشگر مروج ارشد کار گروه منابع طبیعی و آبخیزداری

۲۸ آبان ۱۴۰۲ - ساعت: ۱۰

# مفهوم خشکسالی

• **خشکسالی:** عبارت است از **کاهش معنی دار بارندگی نسبت به شرایط نرمال** در یک دوره زمانی طولانی که به **کمبود آب برای بخش‌هایی همچون کشاورزی، جوامع محلی و محیط‌زیست** منجر می‌گردد (مرکز ملی کاهش خشکسالی، ۲۰۱۲).

سازمان هواشناسی جهانی (WMO) **متغیرهایی را که با آن‌ها می‌توان خشکسالی را تعیین و تعریف نمود** برحسب اولویت، به صورت زیر بیان داشته است:

۱- **بارندگی**

۲- **بارندگی و میانگین درجه حرارت**

۳- **رطوبت خاک و متغیرهای میزان محصول**

۴- **شاخص‌های آب و هوایی و برآوردهای تبخیر و تعرق**

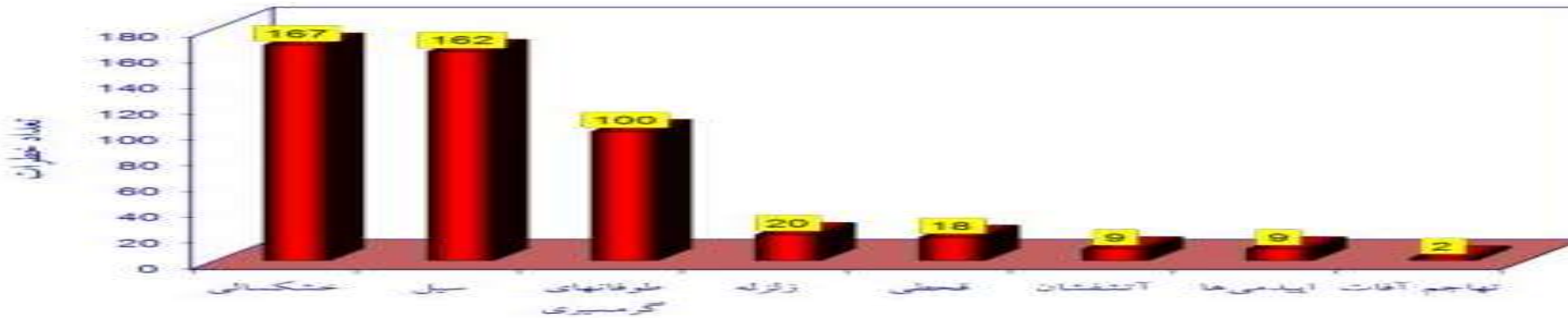
بنا بر این بطور کلی خشکسالی عبارت است از کمبود بارش در دوره ای بلند مدت به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک و سبب کاهش آبهای جاری شود و بدین طریق روند طبیعی فعالیت‌های انسانی، حیات گیاهی و زندگی جانوری بر هم زده شود

# اهمیت خشکسالی

درجه‌بندی برخی حوادث طبیعی با توجه به ویژگیها و اثرات آنها.  
(شماره (1): پراهمیت‌ترین و شماره (5): کم‌اهمیت‌ترین)

رخداد	شدت	مدت	وسعت	تلفات جانی	خسارات اقتصادی	اثر اجتماعی	اثرات شدید درازمدت
خشکسالی	1	1	1	1	1	1	1
طوفانهای حاره‌ای	1	2	2	2	2	2	1
سیل‌های منطقه‌ای	2	2	2	1	1	1	2
زلزله	1	5	1	2	1	1	2
آتش‌فشان	1	4	4	2	2	2	1
زمین‌لغزه	4	2	2	4	4	4	5
بارش‌های سیل‌آسا	3	5	4	4	4	4	5

## جایگاه خشکسالی در بین خطرات طبیعی



عمده حوادث طبیعی که بر یک درصد از جمعیت جهان تأثیر داشته‌اند (1963-92).

## اثرات خشکسالی بر جوامع



بررسی اثرات خشکسالی به ترتیب تأخیر زمانی و سطوح آسیب‌پذیری

## ویژگی های خاص خشکسالی

- در تمامی مناطق با شرایط آب و هوایی مختلف ( اعم از کم باران و پر باران ) رخ می دهد
- پدیده خزننده: توسعه به آرامی ، ادامه یافتن طولانی ، باقی ماندن اثرات پس از پایان.
- آغاز و پایان مشخص ندارد.
- کمترین قابلیت پیش گویی را داراست.
- بیشترین تلفات انسانی را در میان سایر تهدیدهای محیطی داراست.
- تعریف واحد ندارد.
- اثرات خشکسالی ساختاری نیست و در نواحی جغرافیایی بزرگ پخش می شود. در مقایسه با سیل ، طوفان ، زمین لرزه و گردباد خشکسالی ساختار منابع آبی را تهدید می کند که این خود منجر به تخریبات ساختاری می گردد.
- اقدامات انسانی می تواند مستقیماً خشکسالی را برخلاف سایر سوانح هدف قرار دهد

# اثرات خشکسالی



این نوع خشکسالی کمبود مقدار بارندگی را نسبت به شرایط میانگین درازمدت آن بررسی می‌نماید.

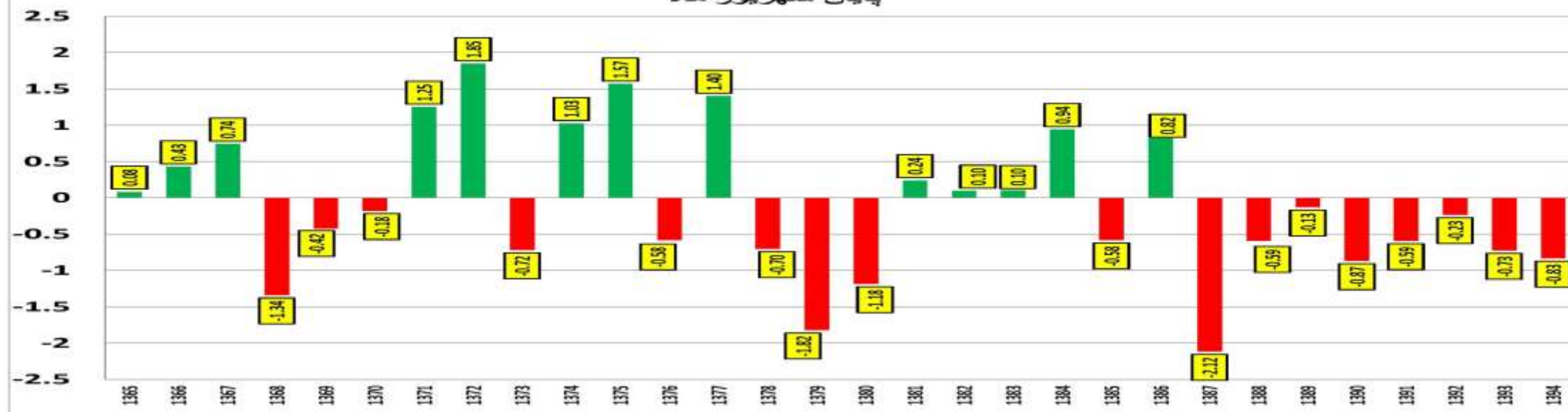
سه مفهوم مورد استفاده در تعریف خشکسالی هواشناسی:

الف- روزهای متوالی بدون بارندگی

ب- روزهای متوالی با بارندگی ناچیز

ج- بارندگی ناچیز طی یک دوره زمانی معین

روند تغییرات شاخص خشکسالی بر اساس شاخص استاندارد شده بارش - SPI در کل کشور - دوره یک ساله تا پایان شهریور ماه



## انواع خشکسالی

### خشکسالی کشاورزی

زمانی که مقدار رطوبت خاک برای محصول خاصی که در یک زمان معین که در شرایط نرمال کشت می‌گردد، کافی نباشد.

### خشکسالی هیدرولوژیکی

کاهش سریع جریان‌های سطحی و افت سطح مخازن آب زیرزمینی، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها

خشکسالی هیدرولوژیکی به کمبودهای شدیدتری از بارندگی برای نمایان شدن در اجزای سیستم هیدرولوژیکی از قبیل رطوبت خاک، جریان رودخانه و آبهای زیرزمینی نیاز دارد. در نتیجه، آثار آن در سایر بخشهای اقتصادی با آثار دو نوع دیگر (هواشناسی و کشاورزی) ناهم‌هنگ است.



## انواع خشکسالی

### خشکسالی اقتصادی - اجتماعی

تأثیرات کاهش مقدار آب بر روی جوامع انسانی و همچنین عرضه و تقاضای کالاهای اقتصادی که بطور مستقیم و یا غیرمستقیم بستگی به آب دارند، **سبب** بروز خشکسالی اقتصادی - اجتماعی می‌گردد.

خشکسالی اقتصادی - اجتماعی **موقعی** بروز می‌کند که میزان تقاضای یک کالای اقتصادی بیشتر از عرضه آن باشد که این عدم تعادل میان عرضه و تقاضا می‌تواند ناشی از کمبود منابع آب در ارتباط با وضع هوا می‌باشد

این نوع از خشکسالی وابسته به نحوه استفاده از آب می‌باشد  
بدین معنا که در این نوع از خشکسالی تقاضا برای آب نیز مدنظر قرار  
می‌گیرد.

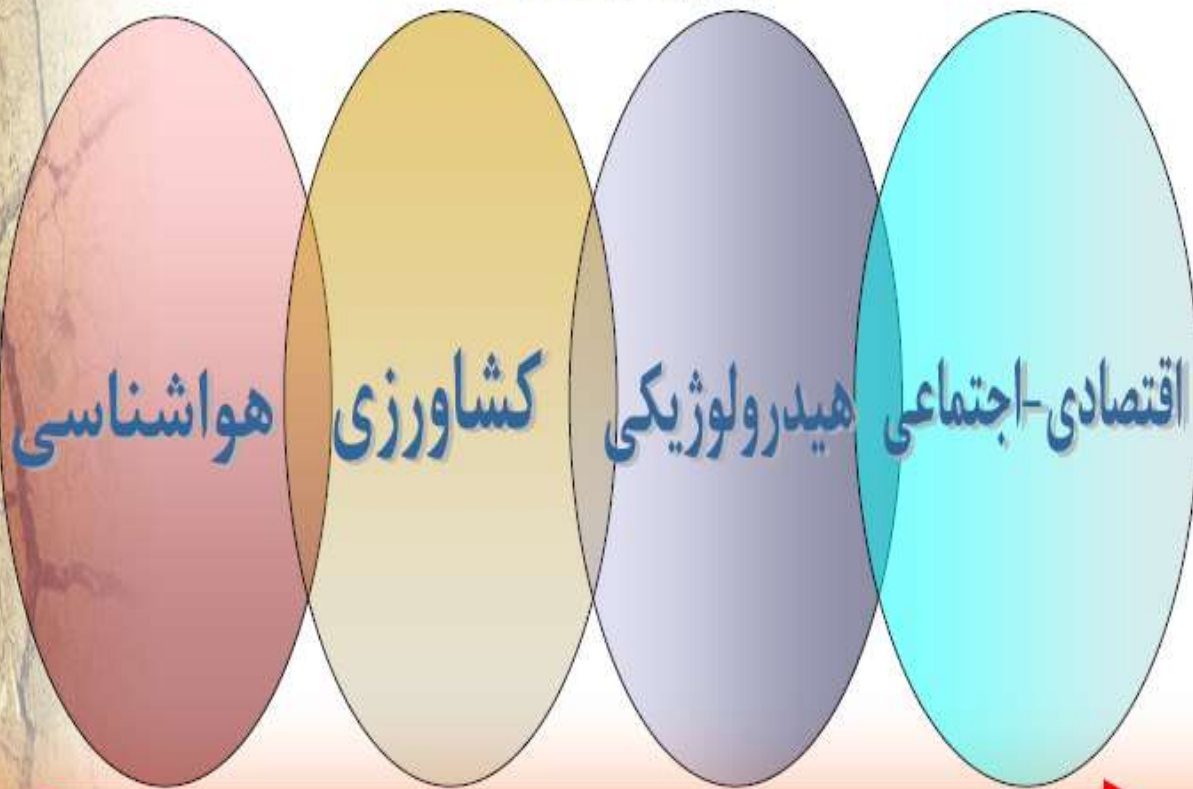


# ارتباط میان انواع خشکسالی

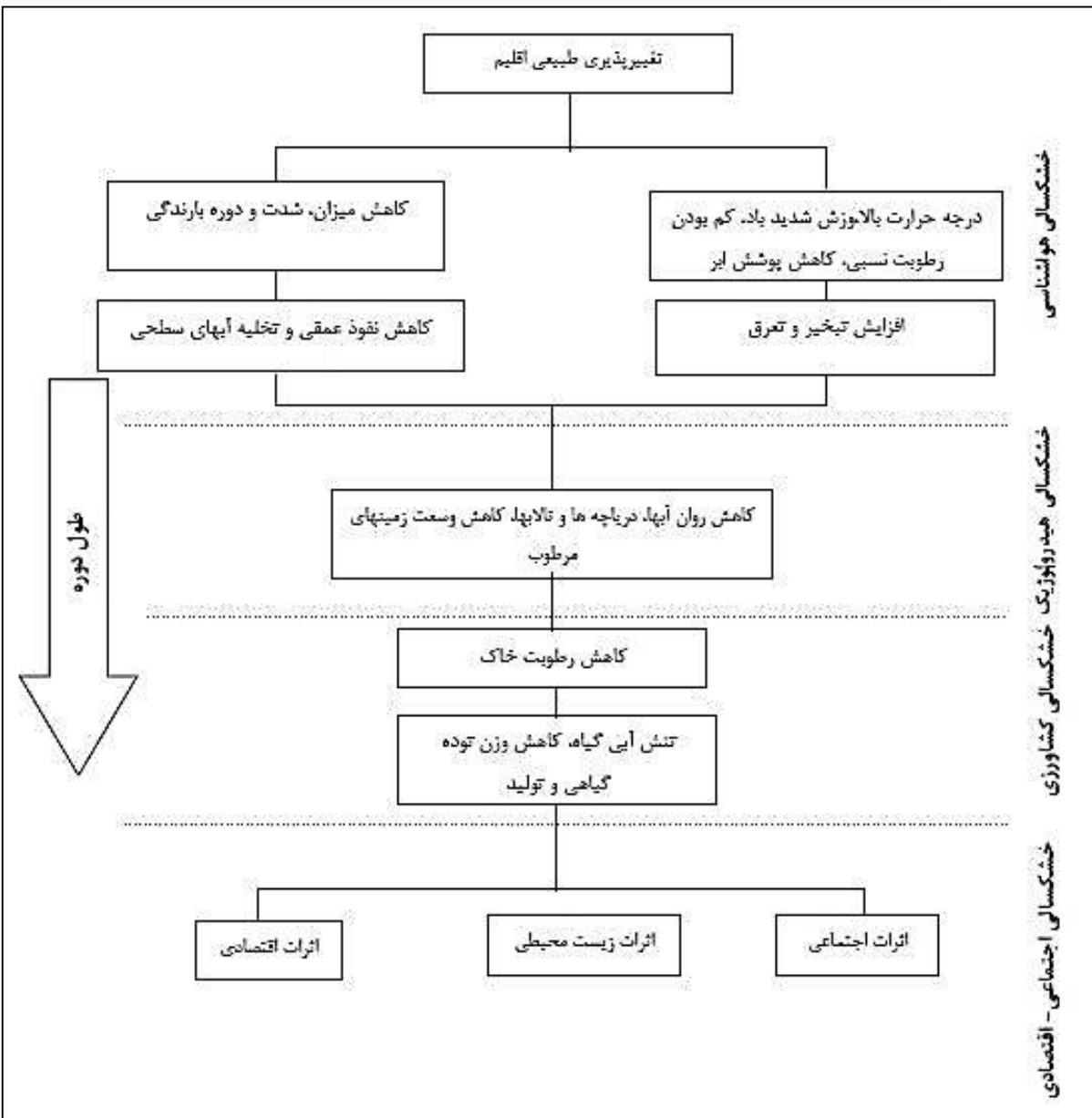
## انواع خشکسالی

کاهش طبیعی بودن اثرات (نقصان بارش)

افزایش پیچیدگی اثرات و اختلافات



زمان / مدت واقعه



خشکسالی هواشناسی

خشکسالی هیدرولوژیکی خشکسالی کشاورزی

خشکسالی اجتماعی-اقتصادی

# ابعاد مختلف رخداد پدیده خشکسالی

کاهش اهمیت رخداد طبیعی ( کاهش بارندگی )

افزایش اهمیت مدیریت منابع طبیعی / آب



دوره زمانی  
رخداد

**شما فخر های جشنکسانی**

## تعریف معیار و شاخص

**شاخص ها** معمولا جنبه های کمی و یا وضعیت کیفی معیارها را اندازه گیری یا بررسی میکنند. تغییرات شاخص ها در طول زمان مورد اندازه گیری، پایش و ارزیابی قرار می گیرند و نشان دهنده جهت گیری و روندهای موجود هستند. به عبارت دیگر شاخص ها میزان انحراف را نشان می دهند.

بر اساس تعریف آژانس زیست محیطی اروپا (EEA) یک معیار به عنوان یک پارامتر یا ارزش برگرفته از پارامترها است که اطلاعاتی درباره یک رویداد به ما می دهد، ( OECD, 1993 و EEA, 1998). معیارها نباید با اطلاعات خام که از آنها بدست می آیند، اشتباه شوند، معیارها اطلاعات کمی هستند که به چگونگی توضیح چیزهایی که در طول زمان و مکان تغییر می کنند کمک می کنند (EEA, 1998) و رویدادهای پیچیده را به طور کمی و واقعی بر اساس اطلاعات مربوطه ساده می نمایند (سازمان محیط زیست انگلستان، ۱۹۹۸، EEA, ۱۹۹۸). برای توصیف یک پدیده پیچیده یک معیار کافی نیست بلکه چندین معیار که به طور دقیق انتخاب و مدیریت شده اند لازم است، (EEA, 2001).

## خصوصیات معیارها و شاخص ها

۱. قابل کمی کردن باشند
۲. به طور عینی و عملی قابل اندازه گیری باشند
۳. نسبت به تغییرات جزئی حساس باشند
۴. در مقیاس ملی قابل اندازه گیری باشند
۵. شرایط حاضر را ارزیابی کنند
۶. اندازه گیری، جمع آوری اطلاعات و محاسبه آنها ساده و کم هزینه باشد
۷. توانایی مشخص کردن روند تغییرات را داشته باشند
۸. توانایی تفکیک اثرات ناشی از عوامل محیطی و انسانی را داشته باشد
۹. متناسب با پدیده‌های اکولوژی و تاثیر گذار باشد

جدول ۱-۲: مشخصات مورد نیاز در انتخاب شاخص‌ها

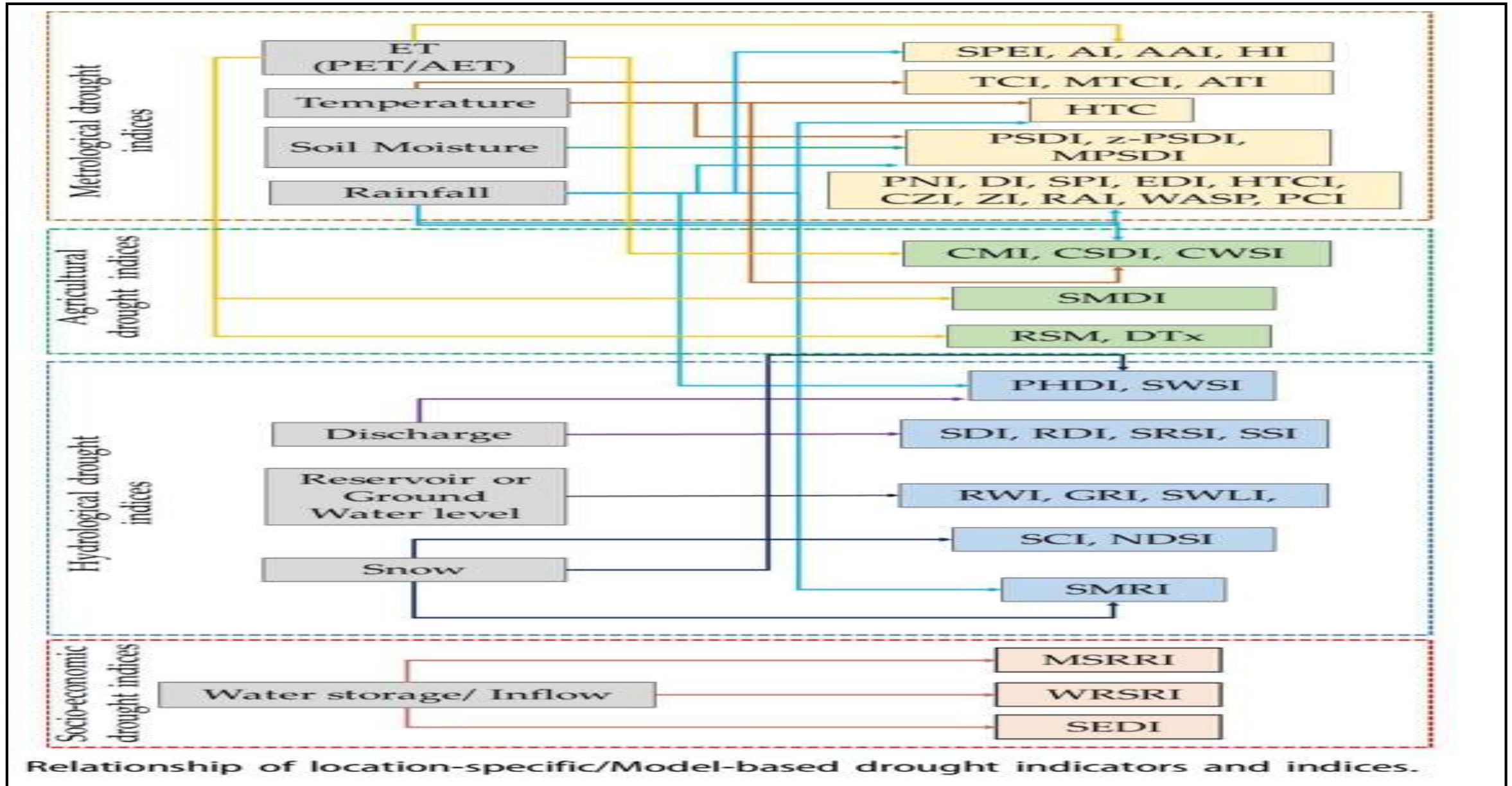
I سهولت استفاده در فرایند کار	
قابلیت اندازه‌گیری ساده	۱-۱
امکان تکرار در اندازه‌گیری میسر باشد	۱-۲
به روز بودن	۱-۳
امکان استفاده از مهارت‌ها و دانش موجود را داشته باشد	۱-۴
II صحت و دقت در فرایند	
قابلیت اطمینان، سالم و با قدرت	۲-۱
در طول زمان و مکان قابلیت معرفی تغییرات سیستم را داشته باشد	۲-۲
از نظر علمی در درجه بالایی باشد	۲-۳
در ارتباط با سیستم منطقه‌ای قابل ارزیابی باشد	۲-۴
قابلیت تنوع و معکوس شدن مشتمل بر دامنه گسترده‌ای از متغیرها	۲-۵

## مؤلفه‌های پایش خشکسالی

- ۱- پارامترهای جوی: بارندگی, درجه حرارت, جهت و سرعت باد, پوشش برف, پوشش ابر و مه مؤلفه‌های اشعه خورشیدی و غیره,
- ۲- پارامترهای کشاورزی: رطوبت خاک, تبخیر, درجه حرارت خاک و روشهای رشد محصول و غیره,
- ۳- پارامترهای هیدرولوژی: رواناب, آبهای سطحی, سطح آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها, مقدار ذخایر زیرزمینی و غیره
- ۴- پارامترهای ماهواره‌ای: پوشش گیاهی, رشد گیاه و همه انواع شاخصهای گیاهی و غیره,
- ۵- اطلاعات اقتصادی و اجتماعی: نواحی متأثر از خشکسالی, زیانهای اقتصادی, زیان به زندگی و اموال (مستعملات), نمایه‌های اقتصادی مانند: زمینهای زراعی, تولید غلات, جمعیت و غیره.



# انواع خشکسالی ها و شاخص های ارزیابی آنها



۲-۲-۱-۸- شاخص های خشکسالی هواشناسی (اقلیم شناسی)

۲-۲-۱-۸-۱- شاخص درصد نرمال (PN')

یک شاخص بسیار ساده که میانگین بارش طولانی مدت را مبنا قرار داده و وضعیت خشکی را بر مبنای درصدی از میانگین تعیین می کند. درصد نرمال می تواند برای دوره های ماهانه، فصلی و سالانه شاخص خوبی جهت ارزیابی دوره های خشک باشد (Willek et.al, 1994). این شاخص به علت سادگی، جامعیت و انعطاف پذیری زیاد، به عنوان شاخص مهمی مورد استفاده محققین بوده و به روش زیر محاسبه می شود:

$$PN(\%) = \frac{P_i}{\bar{P}} * 100 \quad (1-2)$$

$P_i$ : مقدار بارش

$\bar{P}$ : میانگین بلندمدت بارش

جدول ۱-۲ طبقه بندی دوره های خشک بر مبنای شاخص PN را نشان می دهد.

جدول (۱-۲) طبقه بندی دوره های خشک بر مبنای شاخص درصد نرمال

شدت دوره های خشک	مقدار شاخص PN
خفیف	۷۰ تا ۸۰٪
متوسط	۵۵ تا ۷۵٪
شدید	۴۰ تا ۵۵٪
بسیار شدید	> ۴۰٪

## ۲-۲-۸-۱-۲- شاخص دهک‌ها<sup>۱</sup>

این شاخص اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط Gibson & Maher برای پایش دوره‌های خشک استفاده شد. در این روش داده‌های بارش بلندمدت از کمترین تا بیشترین مقادیر مرتب‌شده و در ۱۰ کلاس مساوی طبقه‌بندی می‌شوند. ۱۰٪ اول کمترین بارش‌ها، ۵۰٪ میانه بارش‌ها و ۱۰۰٪ حداکثر بارش‌ها را شامل می‌شوند. جدول ۲-۲، طبقه‌بندی دوره‌های خشک بر مبنای شاخص دهک‌ها را نشان می‌دهد. شاخص دهک‌ها بر مبنای توزیع فراوانی تجمعی مقادیر بلندمدت بارش، به دلیل محاسبات ساده و نیاز کم به روش‌های اندازه‌گیری و فرضیات کم در استرالیا مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد. (Coughlan 1987, Lee 1979, Gibbs & Maher 1967). نیاز به یکسری داده‌های طولانی‌مدت و عدم کار آیی لازم به‌منظور پیش‌بینی وقوع دوره‌های خشک از معایب شاخص دهک‌ها است.

جدول (۲-۲) طبقه‌بندی دوره‌های خشک بر مبنای شاخص دهک‌ها

دهک	شدت دوره‌های خشک	مقدار دهک
۱-۲	خیلی شدید	۲۰٪ کمترین مقادیر
۳-۴	شدید	۲۰٪ دوم
۵-۶	متوسط	۲۰٪ میانی
۷-۸	ضعیف	۲۰٪ چهارم
۹-۱۰	خیلی ضعیف	۲۰٪ کمترین مقادیر

## ۲-۲-۸-۱-۳- شاخص نمره Z (ZSI')

این شاخص که در سال ۱۹۶۵ توسط Palmer معرفی شده است، از مهم‌ترین شاخص‌های مورد مطالعه در تعیین تغییرات گرایش به مرکز داده‌های بارش است که بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون - هیلفرتی برآورد می‌گردد. تفاوت این شاخص با شاخص‌هایی مانند SPI این است که نیاز به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع‌هایی مانند گاما و پیرسون نوع ۳ ندارد. شاخص ZSI به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (۲-۲)$$

$P_i$ : مقدار بارش در مقیاس زمانی موردنظر

$\bar{P}$ : میانگین طولانی مدت بارش در مقیاس زمانی موردنظر

S: انحراف از معیار بلندمدت بارش در مقیاس زمانی موردنظر

جدول ۲-۳ طبقات شدت‌های خشکسالی بر اساس ZSI را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۳) طبقه‌بندی شدت‌های خشکسالی بر مبنای شاخص ZSI

شاخص ZSI	وضعیت خشکسالی
$Z > ۱/۵$	فرا مرطوب
۱/۵ تا ۰/۵۲	مرطوب
۰/۵۲ تا ۰/۲۵	نرمال
۰/۲۵ تا -۰/۲۵	خشکسالی ضعیف
-۰/۲۵ تا -۰/۵۲	خشکسالی متوسط
-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	خشکسالی شدید
$Z < -۰/۸۴$	خشکسالی خیلی شدید

## ۲-۲-۸-۱-۶- شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)

در تکمیل شاخص پالمر و به منظور پایش شرایط رطوبتی، در سال ۱۹۸۲ توسط Shafer & Dezman برای اولین بار در ایالت کلرادو ارائه گردید. اساس شاخص پالمر بر محاسبات رطوبت خاک در مناطق نسبتاً همگن است و برای مناطقی با پستی و بلندی زیاد و توپوگرافی نامنظم مناسب نیست. در مناطق کوهستانی تجمع برف و رواناب حاصل از آن در محاسبات شاخص ذخیره آب سطحی وارد می‌شود و لذا می‌توان مشخصه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی حوزه آبریز و رودخانه را به‌طور هم‌زمان در محاسبات وارد کرد. در این شاخص علاوه بر فاکتورهای بارش، دما، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک فاکتورهایی مثل رواناب، پوشش برف، جریان‌های سطحی، جریان‌های رودخانه‌ای و ذخیره منابع آبی نیز در نظر گرفته شده است. این شاخص در زمستان به‌بازارها و ذخایر برف و در تابستان جریان‌های سطحی حاصل از ذوب برف در معادلات استفاده می‌شود. دامنه تغییرات این شاخص بین  $1/4 +$  و  $1/4 -$  است. جدول ۲-۴ طبقه‌بندی دوره‌های خشک بر مبنای شاخص SWSI را نشان می‌دهد. با توجه به تغییراتی که ممکن است در وضعیت انشعاب رودها به دلایل عمرانی بیفتد، مقادیر این شاخص نیز دستخوش تغییر می‌شوند و با

توجه به اینکه این شاخص بر مبنای ویژگی‌های ذاتی حوزه محاسبه می‌گردد لذا نمی‌توان از نتایج یک حوزه برای حوزه دیگر استفاده و نتیجه‌گیری کرد (Doesken et al, 1991).

جدول (۲-۴) طبقه‌بندی دوره‌های خشک بر مبنای شاخص SWSI

شدت دوره‌های خشک	مقدار شاخص SWSI
ترسالی شدید	۱/۳ تا ۴/۱
خیلی مرطوب	۲/۱ تا ۳
ترسالی متوسط	۱/۱ تا ۲
ترسالی ضعیف	۰/۱ تا ۱
خشکسالی ضعیف	۰/۱ - تا -۱
خشکسالی متوسط	-۱/۱ تا -۲
خشکسالی شدید	-۲/۱ تا -۳
خشکسالی بسیار شدید	-۳/۱ تا -۴/۱

## ۲-۲-۸-۱-۷- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت بارش بر روی ذخایر و منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی، رطوبت خاک، پوشش‌های برفی و جریان آبراهه‌ها، Mckee و همکاران در سال ۱۹۹۳ شاخص بارش استاندارد (SPI) را به منظور پایش وضعیت خشکسالی توسعه دادند. شاخص بارش استاندارد نمایه ایست که بر احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. مشخصه اصلی SPI انعطاف‌پذیری در اندازه-گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت است زیرا خشکسالی‌ها از لحاظ مدت بسیار گسترده هستند (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به این موضوع Mckee و همکاران مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه را برای تحلیل خشکسالی مدنظر قراردادند.

$$SPI_{ijk} = \frac{P_{ijk} - \bar{P}_{ij}}{\sigma_{ij}}$$

جدول (۲-۵) طبقات مختلف نمایه بارش استاندارد شده (SPI)

مقادیر نمایه	ویژگی بارشی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۱۵ تا ۰/۹۹	ترسالی ضعیف
۰/۴۹- تا ۰/۴۹	تقریباً نرمال
۰/۱۵- تا ۰/۹۹-	خشکسالی ضعیف
۱- تا ۱/۹۹-	خشکسالی متوسط
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

اگرچه هیچ‌کدام از شاخص‌ها ذاتاً نسبت به سایر نمایه‌ها در همه شرایط خوب نمی‌باشند، بعضی از آن‌ها نسبت به سایر نمایه‌ها برای شرایط خاص مساعدتر هستند. نمایه SPI در مقایسه با سایر شاخص‌ها از عمومیت مطلوب‌تری برخوردار است. بعضی از مزایا و محدودیت‌های نمایه بارندگی استاندارد شده به شرح زیر است:

- محاسبه فوق‌العاده ساده و قابل‌اعتماد بودن آن.
- این شاخص تنها به داده‌های بارندگی نیاز دارد که معمولاً در اکثر نقاط جهان برای دوره‌های بلندمدت وجود دارد.
- از این شاخص می‌توان به صورت وسیع در کاربردهای متنوع هیدرولوژیکی، کشاورزی، اقلیم و هواشناسی به نحو مطلوبی استفاده کرد.
- به دلیل توزیع نرمال و استاندارد شده SPI، احتمال وقوع دوره‌های خشک شدید و خیلی شدید در تمام مناطق در هر مقیاس زمانی تقریباً ثابت است. با توجه طبقه‌بندی McKee و همکاران (۱۹۹۳) احتمال وقوع یک دوره خشک خیلی شدید با  $SPI \leq -2$  حدود ۲ یا ۳ درصد است که این احتمال برای برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب قابل‌قبول است.
- با استفاده از این شاخص امکان مقایسه دوره‌های خشک در سطح ملی و منطقه‌ای و در زمانه‌ای مختلف وجود دارد.
- شاخص SPI شروع دوره خشک را ۱ ماه زودتر از شاخص PDSI نشان می‌دهد.
- شاخص SPI وسیله‌ای مناسب جهت پایش شرایط مرطوب با رطوبت بیش‌ازحد طبیعی است و به‌طور کلی می‌توان شرایط سیلابی را با آن تجزیه و تحلیل کرد.
- محدودیت این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها از قبیل PDSI فوق‌العاده کمتر است.
- این شاخص به‌سادگی قابل توسعه است و می‌توان آن‌ها به کمیته‌ای تحلیلی دیگری مانند احتمال، درصد متوسط و کمبودهای بارش در مقیاس‌های متفاوت زمانی تبدیل کرد.

**Table 1.** List of metrological drought indices.

Index	Equation	Indicators	Key Reference	Citations
Percent of Normal Index (PNI)	$PNP = \frac{P}{P_n} * 100$	P	Willeke et al. 1994	174
Deciles Index (DI)	grading of rainfall values using a specific time interval	p	Gibbs and Maher 1967	1038
Standardized Precipitation Index (SPI)	$g(x) = \frac{x^{x-1} e^{-x}}{\beta^x \Gamma(x)}$ for $x > 0$	P	McKee et al. 1993	9230
Cumulative Precipitation Anomaly (CPA)	$CPA = \sum_{i=1}^n P_i - P_x$	P	Foley 1957	259
Effective Drought Index (EDI)	$EP_i = \sum_{n=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n]$ , $EDI = \frac{DEP}{\sigma_{DEP}}$	p	Byun and Wilhite 1999	672
Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC)	$HTC = \frac{P}{\sum_{t>0} \frac{1}{T}}$	P, T	Selyaninov 1958	83
China Z Index (CZI)	$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} (\frac{C_{si}}{2} \Psi_{si} + 1)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6}$	p	Ju et al. 1997	82
Z-Score drought Index (ZI)	$Z - score = \frac{P_i - P_x}{\sigma}$	p	Akhtari et al. 2009	105
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$ , $W = -2 \ln(p)$	P, PET	Vicente-Serrano et al. 2010a	4709
Palmer drought severity index (PDSI)	$PDSI = PDIS_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i - 0.103 PDIS_{i-1}$	P,T SM	Palmer 1965	6510
Palmer Z Index	$Z = dK$ , $d = P - P'$	P,T,SM,ET, SF	Palmer 1965	6510
Reconnaissance Drought Index (RDI)	$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}$ $i = 1$ to $N$ , $RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_k^{(i)}}{\alpha_k} - 1$	P, PET	Tsakiris 2004	6
effective Reconnaissance Drought Index (eRDI)	$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}$ $i = 1$ to $N$ , $RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_k^{(i)}}{\alpha_k} - 1$	P	Zarei et al. 2019	10
Rainfall Anomaly Index (RAI)	$RAI = \pm 3 * \frac{P_i - P_x}{E - P_x}$	P	Van Rooy 1965	692
Keetch-Byram Drought Index (KBDI)	It is a modeled based approach and P and SM analyzed using water balance model	P, SM	Keetch and Bayam 1968	709
Bhalme and Mooly Drought Index	Precipitation departure monthly or annual from long-term mean.	P	Bhalme and Mooley 1980	698
Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index (sc-PDSI)	$\bar{Z} = \sum_{j=1}^{12}  \bar{d}_j  K'_j$	P,T SM	Wells et al. 2004	1108
Modified Palmer Drought Severity Index (MPDSI)	Set of complex equations applicable for the calculation, include additional parameter stream flow.	P,T, SF SM, ET	Palmer 1965,	6510
Aridity Index (AI)	$AI = (\frac{d}{n} * 100)$	P, AET and PET	Thornthwaite 1931	859
Humidity Index (HI)	$HI = (\frac{s}{m} * 100)$	P, AET and PET	Thornthwaite (1931, 1948)	859
Aridity Anomaly Index (AAI)	$AAI = \frac{AI - AI_x}{\sigma}$	AET	Gommes 2012	6
Weighted Anomaly Standardized Precipitation(WASP)	$S_n = \sum_{i=1}^n (\frac{P_i - \bar{P}_i}{\sigma_i}) * \frac{P_i}{P_A}$ , $WASP = \frac{S_n}{\sigma_s}$	P	Lyon and Barnston 2005	156

(P: Precipitation, Pi: Normal precipitation, T: Temperature, PET: Potential evapotranspiration, SF: Stream flow, ET: Evapotranspiration, N: Number,  $\alpha$ : average (mean),  $\sigma$ : Standard deviation, Cst: coefficient of skewness,  $\Psi_{si}$  : Z score, d: water deficiency, n: water need). Total number of citations are provided only up to 10 November 2021.

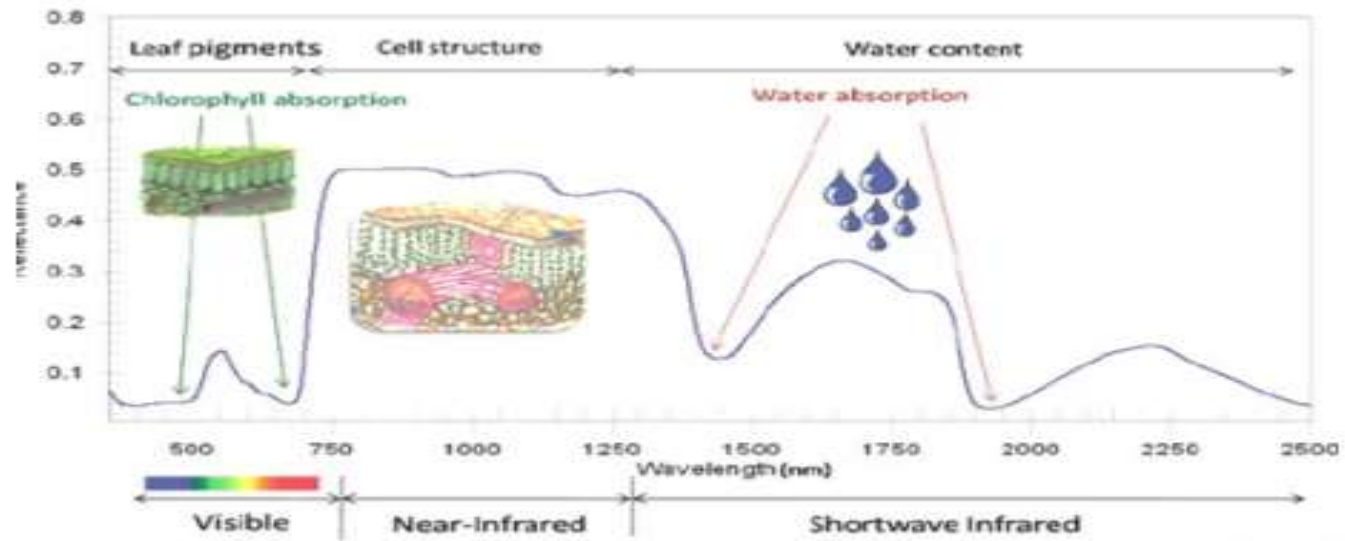


### ۲-۳-۳-۲ شاخص های گیاهی

گسترده‌گی پوشش گیاهی و تغییرات آن، مطالعه آنها را توسط روش های متداول دشوار و پرهزینه می کند. در مقابل استفاده از داده های ماهواره ای امکان مطالعه گسترده و متوالی پوشش گیاهی را فراهم می سازد. برای مطالعه پوشش گیاهی با داده های سنجش از دور شاخص های مختلفی طراحی شده اند که ویژگی های بازتاب طیفی گیاهان را در تصویر بارز می کنند.

شاخص های گیاهی عمدتاً بر اساس ویژگی اختلاف بالای بازتاب پوشش گیاهی در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک طراحی شده اند. این شاخص ها ترکیبات ساده ریاضی هستند که باندهای طیفی را ترکیب نموده و برای مشخص نمودن وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در تصاویر با استفاده از اطلاعات طیفی بکار می روند. فرض اصلی در استفاده از شاخص های گیاهی این است که ترکیب ریاضی برخی از باندهای داده های سنجش از دور می تواند اطلاعات مفیدی درباره حالت و ساختار پوشش گیاهی مثل تراکم و توزیع برگ، محتوی رطوبتی برگ، سن، مواد معدنی و بیماری های را ایجاد کند. علاوه بر پوشش گیاهی سایر پارامترها مانند خاک، تابش خورشیدی، شرایط اتمسفر و یا هندسه دید سنجنده هم روی پاسخ طیفی سطح اثر دارند، بنابراین یک شاخص مناسب گیاهی باید طوری طراحی شود که به مجموعه عوامل وابسته به پوشش گیاهی حساس باشد و در عین حال نسبت به تاثیر سایر عوامل حساسیت کمی داشته باشد (Liang , 2004).

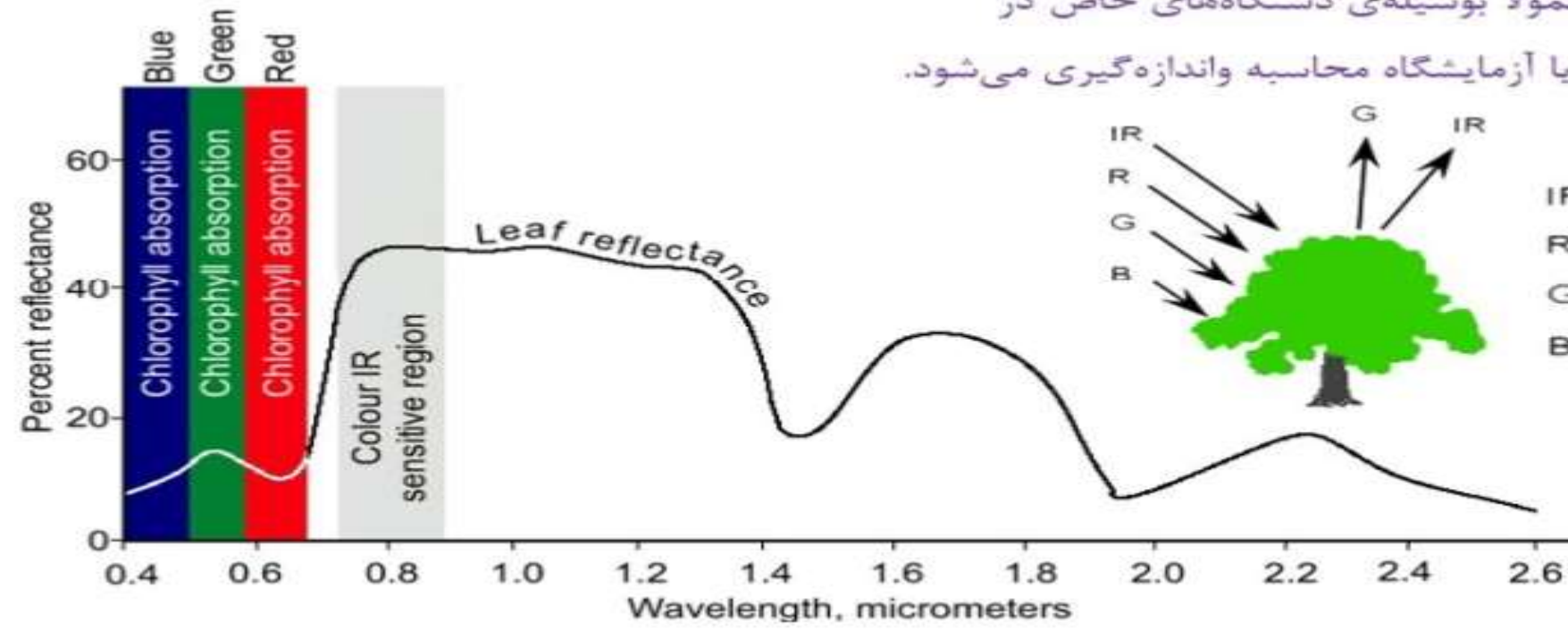
# منحنی رفتار طیفی



منحنی رفتار طیفی یک جسم، مقدار انرژی بازگشتی جسم را برای طول موج‌های مختلف بیان می‌دارد.

منحنی طیفی معمولاً بوسیله‌ی دستگاه‌های خاص در

فیلد (محیط واقعی) و یا آزمایشگاه محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود.



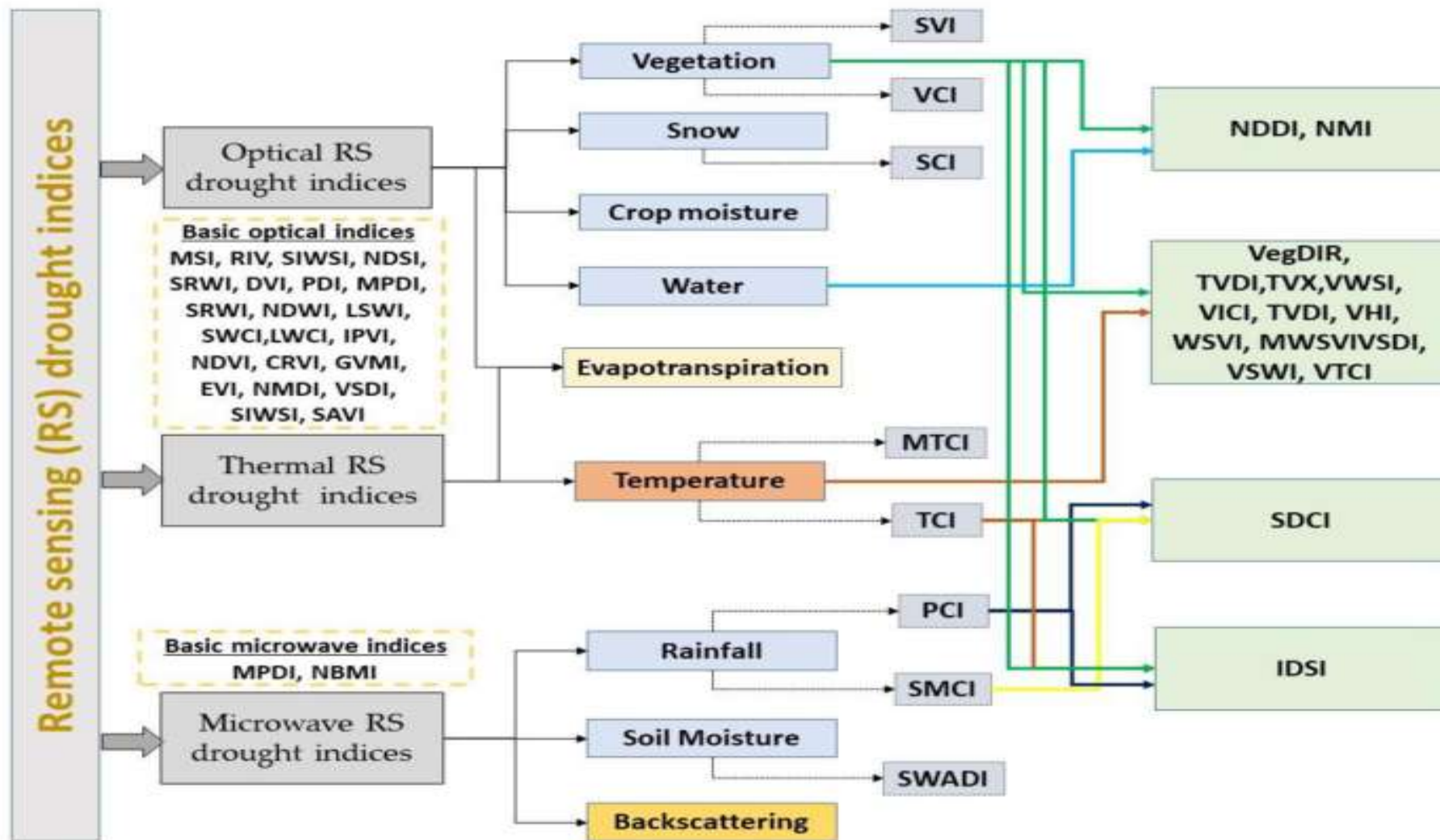


Figure 5. Relation and linkage of remote sensing-based drought indices.

### ۲.۳.۳.۲.۱ شاخص نسبتی ساده (SR)<sup>۲۲</sup>

شاخص نسبتی ساده توسط Jordan در سال ۱۹۶۹ ارائه شد. این شاخص از نسبت بازتاب باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده نموده و بصورت رابطه ۲۸ محاسبه می شود.

$$SR = \frac{NIR}{Red}$$

(۲۸)

### ۲.۳.۳.۲.۲ شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)<sup>۲۳</sup>

شاخص NDVI یکی از پر کاربردترین و شناخته شده ترین شاخص های گیاهی است. این شاخص اولین بار توسط Rouse و همکاران در سال ۱۹۷۴ ارائه شد. این شاخص بر اساس برآورد میزان تابش فتوسنتزی جذب شده توسط پوشش گیاهی استوار است و یکی از محکمترین مبانی تئوریک در بین شاخص های سنجش از دور را دارد. این شاخص توسط رابطه ۲۹ محاسبه می شود.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

(۲۹)

که  $R_{RED}$  بازتاب در ناحیه قرمز و  $R_{NIR}$  بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک می باشد. از نظر تئوری مقدار این شاخص در محدوده  $[-1, +1]$  متغیر است ولی در عمل محدوده آن کمتر از یک و بیشتر از -۱ می باشد.

این شاخص میزان بازتاب در نواحی قرمز و مادون قرمز نزدیک را به پارامترهای گیاهی نظیر شاخص سطح برگ و مجموع میزان کلروفیل تاج پوشش مرتبط می کند (Gitelson et al, 1996).

مقدار NDVI برای پوشش گیاهی متراکم به عدد یک نزدیک می شود و ابرها، برف و آب NDVI منفی خواهند داشت و سنگها و خاک بایر که واکنشهای طیفی مشابهی در دو باند مورد استفاده دارند می توانند مقادیر کوچک مثبت یا منفی نزدیک به صفر داشته باشند. درپوشش های گیاهی پراکنده و تنک شاخص NDVI به دلیل تاثیرپذیری زیاد از بازتاب خاک زمینه، فاقد کارایی

### ۲,۳,۳,۲,۳ شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک $SAVI$ <sup>۲۴</sup>

شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک در سال ۱۹۸۸ توسط Huete ارائه شد. برای محاسبه این شاخص پارامتر  $L$  به صورت آزمون و خطا تعیین شد بدین صورت که مقدار فاکتور تا زمانیکه میزان شاخص برای خاک های تیره و روشن یکسان گردد تغییر داده شد (رابطه ۳۰).

$$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + L} (1 + L) \quad (30)$$

فاکتور  $L$  برای تصحیح اثرات خاک زمینه است و مقدار آن از صفر برای تراکم بالای پوشش گیاهی تا یک برای پوشش گیاهی کم تراکم تغییر می کند. بطور معمول مقدار  $0.5$  را برای فاکتور  $L$  در نظر می گیرند که متناسب با پوشش گیاهی با تراکم متوسط است. مقدار  $(L+1)$  اضافه شده به فرمول  $SAVI$  سبب می شود مقدار شاخص بین  $-1$  و  $+1$  قرار بگیرد.

#### ۴-۳-۲-۱ شاخص‌های ماهواره‌ای خشکسالی

به غیر از روش‌های تعیین رطوبت خاک، شاخص‌های خشکسالی که از داده‌های سنجش از دور استفاده می‌کنند را می‌توان به ۳ گروه تقسیم نمود:

- شاخص‌های بر اساس بازتاب
- شاخص‌های بر اساس باند حرارتی
- شاخص‌هایی بر اساس ترکیب بازتاب و باند حرارتی

#### ۴.۳.۲.۱.۱.۲ شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI

شاخص وضعیت گیاهی VCI<sup>۸۹</sup> اولین بار توسط Kogan در سال ۱۹۹۵ ارائه شد و بوسیله دامنه‌ای از مقادیر NDVI طولانی مدت محاسبه و نرمال می‌شود. این شاخص بمنظور حذف اثر تفاوت‌های آب و هوایی و توپوگرافی از روی نتایج شاخص NDVI طراحی شده است. بازه تغییرات این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است و مقادیر کم، تنش گیاهی را نشان می‌دهد. بطوریکه اگر مقدار VCI به صفر نزدیک شود، خشکسالی شدید می‌باشد. این شاخص طبق رابطه ۵۶ تعریف می‌شود.

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad (56)$$

که در آن  $NDVI_{min}$ ،  $NDVI_{max}$  و  $NDVI_i$  به ترتیب  $NDVI$  میانگین حداقل طولانی مدت، میانگین حداکثر طولانی مدت و ماه مورد نظر برای هر پیکسل می‌باشد. VCI در مناطقی که از نظر جغرافیایی ناهمگون هستند نتایج بهتری را نسبت به شاخص NDVI ارائه می‌دهند. از این شاخص می‌توان برای مدل سازی تغییرات پوشش گیاهی و مدل سازی خشکسالی متأثر از اثرات کوتاه مدت بارش استفاده کرد. (Kogan, 1995a)

### ۴,۳,۲,۱,۱,۳ شاخص NDVIA

شاخص ناهنجاری‌های NDVI،  $(NDVIA)^{90}$ ، شاخصی است که اختلاف بین مقدار NDVI از میانگین آن در یک دوره زمانی را بیان می‌کند. این شاخص در سال ۲۰۰۱ توسط Anyamba ارائه شده و بصورت رابطه ۵۷ تعریف می‌شود.

$$NDVIA = \overline{NDVI} - NDVI \quad (57)$$

که در آن  $\overline{NDVI}$  میانگین NDVI در دوره زمانی مورد نظر است. این شاخص تأثیرات بلند مدت بارش را بر روی محصولات را نمایش می‌دهد و برای مدل سازی خشکسالی و تأثیرات بلند مدت بارش مناسب می‌باشد.

### ۴,۳,۲,۱,۱,۴ شاخص SVI

شاخص گیاهی استاندارد شده  $SVI^{91}$  به بررسی تغییرات شاخص NDVI نسبت به میانگین می‌پردازد که این تغییرات با تقسیم کردن آن به انحراف معیار، بصورت استاندارد در می‌آید. این شاخص در سال ۲۰۰۱ توسط Negron-Juarez & liu ارائه شد که بصورت رابطه ۵۸ تعریف می‌شود.

$$SVI = \frac{\overline{NDVI} - NDVI}{\sigma_{NDVI}} \quad (58)$$

که در آن  $\overline{NDVI}$  و  $\sigma_{NDVI}$ ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار NDVI در دوره زمانی مورد نظر است. این شاخص نیز تأثیرات بلند مدت بارش را بر روی محصولات را نمایش می‌دهد و برای مدل سازی خشکسالی و تأثیرات بلند مدت بارش مناسب می‌باشد.

## ۴.۳.۲.۱.۱.۵ شاخص TVI

شاخص  $TVI^{92}$  نسخه‌ای اصلاح شده از NDVI است که بصورت رابطه ۵۹ تعریف می‌شود.

## ۴.۳.۲.۱.۱.۶ شاخص RVI

شاخص  $RVI^{93}$  بصورت رابطه ۶۰ تعریف می‌شود.

$$RVI = NIR/RED$$

(۶۰)

## ۴.۳.۲.۱.۱.۷ شاخص PDI

شاخص عمودی خشکسالی  $PDI^{94}$  توسط Ghulam در سال ۲۰۰۶ ارائه شده که بر پایه بازتاب در ناحیه قرمز و مادون قرمز طراحی شده است. این شاخص از فاصله عمودی هر نقطه در فضای طیفی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تا خطی که از مبدأ مختصات می‌گذرد و بر خط خاک عمود است (شکل ۳۵)، محاسبه می‌شود که بصورت رابطه ۶۱ است.

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + 1}} + (RED + \alpha NIR)$$

(۶۱)

که در آن  $\alpha$  شیب خط خاک، منظور از NIR و RED به ترتیب بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد. در این فضای طیفی جسم سیاه در مبدأ مختصات قرار می‌گیرد. خاک‌های مرطوب دارای مقدار کم PDI و خاک‌های خشک دارای PDI بالا هستند (Ghulam, 2006).



در سال ۲۰۰۷ GU و همکاران شاخص تفاضلی نرمال شده خشکسالی را ارائه کردند. این شاخص به خشکی تابستانه و خشکسالی در علفزارها حساسیت بیشتری نسبت به شاخص NDVI و یا تفاضل NDVI و NDWI نشان داده است. شاخص NDDI از رابطه ۶۹ محاسبه می شود.

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI} \quad (۶۹)$$

#### ۴.۳.۲.۱.۲.۱ شاخص شرایط حرارتی TCI

در سال ۱۹۹۵، Kogan شاخص شرایط حرارتی  $TCI^{98}$  را با استفاده از باندهای حرارتی AVHRR برای تشخیص تنش گیاهی مرتبط با دما و نیز تنش ناشی از رطوبت مازاد توسعه داد. شاخص TCI بر مبنای دمای روشنایی که از باند حرارتی (باند ۴) سنجنده AVHRR ارائه شده است. این شاخص برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی استفاده می شود و بصورت رابطه ۷۲ محاسبه می شود.

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}} \times 100 \quad (۷۲)$$

که در آن  $BT_{min}$ ،  $BT_{max}$  و  $BT$  به ترتیب میانگین کمینه دمای روشنایی طولانی مدت، میانگین بیشینه دمای روشنایی طولانی مدت و دمای روشنایی ماه مورد مطالعه است (Kogan, 1995b).

### ۴.۳.۲.۱.۳.۱ ۶-۷-۴-۵-۲-۱-۳-۱ شاخص VTCI

شاخص  $VTCI^{100}$  بر اساس رابطه منفی بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین می‌باشد و علاوه بر NDVI، دمای سطحی زمین را نیز در محاسبه شدت خشکسالی در نظر می‌گیرد. شاخص VTCI بطور فیزیکی بصورت نسبت تفاوت دما بین پیکسل‌ها تعریف می‌شود. دامنه مقادیر این شاخص بین صفر تا ۱ است که مقادیر پائین شاخص نشان دهنده احتمال وقوع خشکسالی است. این شاخص بوسیله رابطه ۷۴ تعریف می‌شود.

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI.max} - LST_{NDVI_i}}{LST_{NDVI.max} - LST_{NDVI.min}} \quad (74)$$

$$LST_{NDVI.max} = a + bNDVI_i \quad (75)$$

$$LST_{NDVI.min} = a' + b'NDVI_i \quad (76)$$

$LST_{NDVI.max}$  و  $LST_{NDVI.min}$  به ترتیب محدوده‌های ماکزیمم و مینیمم دمای سطح زمین با مقادیر NDVI یکسان در منطقه می‌باشند و  $LST_{NDVI_i}$  دمای سطح زمین هر پیکسل با شاخص پوشش گیاهی  $NDVI_i$  ضرایب مربوط به معادلات فوق را می‌توان از ترسیم نمودار دمای سطح زمین در برابر NDVI بدست آورد (Wang et al., 2001).

#### ۴.۳.۲.۱.۳.۵ شاخص DSI

شاخص  $DSI^{104}$  بر اساس اطلاعات حاصل از بازتاب طیفی و حرارتی توسط Bayarjargal ارائه شده که تفریق حالت استاندارد شده LST و NDVI است. این شاخص با استفاده از رابطه ۸۰ محاسبه می‌شود.

$$DSI = \Delta LST - \Delta NDVI \quad (80)$$

$$\Delta LST = \frac{\overline{LST} - LST}{\sigma_{LST}} \quad (81)$$

$$\Delta NDVI = \frac{\overline{NDVI} - NDVI}{\sigma_{NDVI}} \quad (82)$$

$\overline{LST}$  میانگین دمای سطح زمین،  $\sigma_{LST}$  انحراف معیار دمای سطح زمین،  $\overline{NDVI}$  میانگین شاخص NDVI و  $\sigma_{NDVI}$  انحراف معیار شاخص NDVI است.

#### ۴.۳.۲.۱.۳.۶ VHI

$$VHI = a * VCI + (1 - a) * TCI \quad (83)$$

مقدار این شاخص بین صفر تا صد تغییر می‌کند و مقدار صفر نشان دهنده شرایط خشکی شدید و ۱۰۰ برابر شرایط مناسب می‌باشد.

**Table 4.** List of optical remote sensing-based simple drought indices.

Index	Equation	Drought Type	Key Reference	Citations
Moisture Stress Index (MSI)	$MSI = \frac{R_{swir}}{R_{nir}}$	H	Hunt and Rock 1989	1166
Vegetation Index Number (VIN)	$VIN = \frac{R_{nir}}{R_{red}}$	A	Pearson and Miller 1972	755
Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = \frac{R_{red}}{R_{nir}}$	A	Pearson and Miller 1972	755
Shortwave Infrared Water Stress Index (SIWSI)	$SIWSI = \frac{R_{swir} - R_{nir}}{R_{swir} + R_{nir}}$	H	Fensholt and Sandholt 2003	450
Normalized Difference Snow Index (NDSI)	$NDSI = \frac{R_{green} - R_{swir}}{R_{green} + R_{swir}}$	H	Valovcin 1978	25
Simple Ratio Water Index (SRWI)	$SRWI = \frac{R_{nir}}{R_{swir1}}$	A	Zarco-Tejada et al. 2003	606
Difference Vegetation Index (DVI)	$DVI = R_{nir} - R_{red}$	A	Lillesand and Kiefer (1987)	451
Perpendicular Drought Index (PDI)	$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2+1}} (R_{red} + M * R_{nir})$	A	Ghulam et al. 2008	110
Modified Perpendicular Drought Index (MPDI)	$MPDI = \frac{R_{red} + MR_{swir} - f_v (R_{red} + R_{swir})}{1 - f_v \sqrt{M^2+1}}$	A	Ghulam et al. 2007	279
Simple Ratio Water Index (SRWI)	$RVI = \frac{R_{red}}{R_{swir}}$	A	Zarco-Tejada and Ustin 2001	88
Normalize Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$	A	Gao 1996	4761
Land surface water Index (LSWI) NDII	$LSWI = \frac{R_{swir1} - R_{swir2}}{R_{swir1} + R_{swir2}}$	H/A	Gao, 1996	4761
Surface water Capacity Index (SWCI)	$SWCI = \frac{R_{swir1} - R_{swir2}}{R_{swir1} + R_{swir2}}$	H	Zhang et al. 2013	19
Leaf Water Content Index (LWCI)	Classify RS observed leaf water content to define the plant health	A	Hunt et al. 1987	375
Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)	$IPVI = \frac{R_{nir}}{R_{nir} + R_{red}}$	A	Crippen 1990	578
Tasseled Cap Wetness (TCW)	$TCW = 0.1509 (\text{band } 1) + 0.1973 (\text{band } 2) + 0.3279 (\text{band } 3) + 0.3406 (\text{band } 4) - 0.7112 (\text{band } 5) - 0.4572 (\text{band } 7)$	A	Crist and Cicone 1984	1483
Normalize difference vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$	A	Tucker, 1979	9443
Cubed Ratio Vegetation Index (CVI)	$CRVI = \left(\frac{R_{nir}}{R_{nir}}\right)^3$	A	Thenkabail et al. 1994	119
Global Vegetation Moisture Index (GVMI)	$GVMI = \frac{(R_{nir} + 0.1) - (R_{swir} + 0.2)}{(R_{nir} + 0.1) + (R_{swir} + 0.2)}$	A	Ceccato et al. 2002	652
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = G * \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + C1 + R_{red} - C2 + R_{blue} + L}$	A	Liu and Huete 1995	968
Normalized Multiband Drought Index (NMDI)	$NMDI = \frac{R_{nir} - (R_{swir1} - R_{swir2})}{R_{nir} + (R_{swir1} + R_{swir2})}$	A	Wang and Qu 2007	325
Visible and Shortwave Drought Index (VSDI)	$VSDI = 1 - \left[\frac{R_{swir2} - R_{blue}}{R_{red} + R_{blue}}\right]$	A	Zhang et al. 2013	54
Shortwave Infrared Water Stress Index (SIWSI)	$SIWSI = \frac{R_{swir1,2} - R_{nir}}{R_{swir1,2} + R_{nir}}$	A	Fensholt and Sandholt 2003	450
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)		A	Huete 1988	6973

(continued)

**Table 2.** List of hydrological drought indices.

Index	Equation	Data	Key Reference	Citations
Streamflow drought index (SDI)	$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)}$ for $x > 0$	Discharge	Nalbantis and Tsakiris 2009	654
Regional streamflow deficiency index (RDI)	$RDI_c(t) = \frac{1}{n} \sum_{G=1}^n DI_G(t)$	Discharge	Stahl 2001	185
Surface Water Supply Index (SWSI)	$WSI = \frac{aP_{snow} + bP_{pre} + cP_{strm} + dP_{res} - 50}{12}$	Snow, R, Discharge, reservoir water storage	Shafer and Dezman 1982	823
Groundwater Resource Index (GRI)	$GRI = \frac{Gi - G\sigma}{G\sigma}$	Groundwater level	Mendicino et al. 2008	222
Plamer Hydrological Drought Index PHDI	This index is based on the original PDSI calculation, but changed taking into account water storage, surface water flow and groundwater parameters.	P, T, Available Water Amount	Palmer 1965	6510
Water Balance Derived Drought Index	Use the water balance model outputs to estimate the drought	Water balance system	Vasiliades et al. 2011	151
Standardize water level index (SWLI)	$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)}$ for $x > 0$	Water level	Bhuiyan 2004	156
Standardized Reservoir Supply Index (SRSI)	$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)}$ for $x > 0$	Inflow	Gusyeve et al. 2015	13
Standardized Streamflow Index (SSFI)/SSI	$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)}$ for $x > 0$	Discharge	Liu et al. 2016	8
Aggregate Drought Index (ADI)	$ADI_{i,k} = \frac{Z_{nk}}{\sigma}$		Keyantash & Dracup 2004	304
Standardized Snowmelt and Rain Index (SMRI)	$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)}$ for $x > 0$	P, Snow	Staudinger et al. 2015	73
Reclamation drought Index (RDI)	$RDA = \text{Supply} + \text{demand}$	Water supply and demand	Weghorst 1996	105

( $X_{\alpha}$ : Long term mean,  $X_{\sigma}$ : Long term standard deviation, DI – Discharge, Gi: Groundwater level, Wi: Reservoir water level, a, d, c, d are constants). Total number of citations are provided only up to 10 November 2021.

پاس!



مشارکت‌آموزم و رشد تولید ۱۴۰۲

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی



موسسه آموزش و ترویج کشاورزی

معاونت علمی و فناوری

شبکه دانش کشاورزی

سلسله برنامه‌های ویدیو کنفرانس انتقال دانش به روز در گستره ملی بخش کشاورزی

عنوان:

انواع خشکسالی و شاخص های آن

سخنران:

علی اکبر دماوندی

هیأت علمی گروه منابع طبیعی موسسه آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشگر مروج ارشد کار گروه منابع طبیعی و آبخیزداری

۲۸ آبان ۱۴۰۲ - ساعت: ۱۰