Archive of SID

دکتر سهیلا جوانمرد
استادیار پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد/ پژوهشگاه هواشناسی وعلوم جو، تهران/پژوهشکده امیرکبیر
دکتر جواد بداق جمالی
استادیار پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد/ پژوهشگاه هواشناسی وعلوم جو، تهران/پژوهشکده امیرکبیر
محمود خسروی
استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان
شماره مقاله: ۵۵۷

کاربرد سنجش از دور در مطالعات اقلیمی مناطق خشک و بیابانی

خلاصه

مناطق خشک و بیابانی وسعت قابل ملاحظه‌ای از مساحت کره زمین یعنی حدود یک سوم آن‌را می‌پوشاند. حدود ٤ درصد از مساحت کره زمین را بیابان‌های واقعی اشغال می‌کنند. هر چند در رابطه با منشاء مناطق کویری به تأثیر عوامل هیدرولوژی و ژئومورفولوژی بهای بیشتری داده می‌شود اما عوامل اقلیمی اساسی‌ترین نقش را در ایجاد مناطق بیابانی دنیا دارند. تأثیر این عوامل به گونه‌ای است که در اکثر مطالعه‌های انجام شده، عناصر اقلیمی تعیین کننده مرز مناطق خشک و بیابانی به شمار رفته‌اند. با توجه به غیر قابل سکونت بودن بخش زیادی از مناطق بیابانی و عدم استقرار شبکه‌های مناسب دیده‌بانی اقلیم، علم سنجش از دور با توجه به قابلیت‌های متعددی که در زمینه‌های بررسی هوا و اقلیم‌شناسی دارد، می‌تواند امکانات ویژه‌ای را در مطالعه‌های مناطق بیابانی فراهم کند. علاوه بر این، داده‌ای ماهواره‌هایی همچون؛ رادارست، نیمبوس، ایرس، اسپات، لندست، گواوز، متئوست، تیروس- نوا [1] و غیره با قابلیت‌های ویژه‌ای که در سنجش‌های اقلیمی و هواشناسی دارند می‌توانند به نحوه فزاینده‌ای در بررسی مختلف جنبه‌های اقلیمی مناطق بیابانی و کویری مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله سعی شده است تا اهمیت و نقش سنجش از دور در بررسی اقلیمی مناطق خشک و بیابانی مورد بررسی قرار گیرد.

مقدمه

علم سنجش از دور به صورت‌های متفاوتی تعبیر شده است ولی با توجه به جمع‌بندی تعاریف می‌توان آن را علم و هنر کسب اطلاعات در مورد اجسام، اراضی یا

1- RADARSAT, NIMBUS, IRS(Indian Remote Sensing Satellite), SPOT(Satellite Pour L' Obsercation DELA Terra – earth Observation Satellite), LANDSAT(Land – use Satellite), GEOS (Geostationary Operational Environmental Satellite), METEOSAT(Meteorological Satellite), Tiros-N/NOAA

www.SID.ir

Archive of SID

پدیده‌های مختلف به کمک جمع‌آوری اطلاعات از آن‌ها بدون تماس با آن معرفی نمود [۱].

در یک سیستم سنجش از دور، کار دریافت، ثبت و ضبط اطلاعات از طریق سنجنده‌های تعبیه شده در سکوهایی صورت می‌گیرد که این سکوها ممکن است طیف وسیعی از انواع هواپیما، هلی‌کوپتر، ماهواره، ایستگاه فضایی و غیره را در برگیرد ولی به لحاظ کیفی و کمی ماهواره‌ها از اصلی‌ترین سکوها در سنجش از دور به شمار می‌روند.

در این مقاله سعی بر آن است که پس از مروری بر فن‌آوری سنجش از دور، نقش داده‌های سنجش از دور در شناخت مناطق خشک و بیابانی، کاربرد آن در شناخت خشکی و خشکسالی و ارزیابی اثرات آن در کشاورزی و مطالعات پالئوکلیمائی و تغییرات و نوسانات اقلیمی مناطق بیابانی بررسی شود.

مروری بر فن‌آوری سنجش از دور

اساس سنجنده‌ها ثبت و دریافت بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیس است. در این راستا اگر سنجنده‌ها، تابش میکروموج گسیلی از اشیای روی زمین را دریافت کنند و در واقع متکی به انرژی تابشی خورشیدی باشند به آن‌ها سنجنده‌های غیر فعال گفته می‌شود و در صورتی که سنجنده پس پراکندگی تراگسیلی که بر سطح زمین فرود می‌آید و منبع تولید آن خود سنجنده است را اندازه‌گیری نماید، به نام فعال نامیده می‌شود [۲].

کارائی هر سنجنده بر اساس معیارهای قدرت تفکیک فضایی، طیفی و رادیومتریک تصاویر حاصل از آن تعیین می‌گردد که در واقع تعیین کننده حداقل مساحت قابل تشخیص در روی زمین، تعداد باندهای طیفی سنجنده و قابلیت تقسیم امواج بازتاب شده هر باند به درجه‌ها و گام‌های خاکستری می‌باشد. هر یک از ویژگی‌های فوق در واقع تعیین کننده کیفیت نهایی تصاویر تهیه شده و امکان بکارگیری آن جهت مقاصد مختلف است.

با وجود آن‌که سکوهای متنوعی جهت حمل سنجنده‌ها و تهیه تصاویر در سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما در این میان ماهواره‌ها به دلیل نقش مدار زمین که در تهیه بخش اعظم داده‌ها در سنجش از دور دارند از جایگاه مهمتری برخوردارند. به طور کلی جدا از مشخصه‌های فنی و تجهیزاتی ماهواره‌ها از نظر مدار، دو گروه عمده از آن‌ها در امور هواشناسی و اقلیم‌شناسی از اهمیت بیشتری برخوردارند. گروه اول ماهواره‌هایی هستند که آهنگ گردش آن‌ها با چرخش زمین یکسان است [۳].

www.SID.ir

Archive of SID

این ماهواره‌ها در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری بر روی استوا قرار دارند و موقعیت آن‌ها نسبت به زمین همیشه ثابت است. همچنین به دلیل آن‌که حدود نیمی از کره زمین را به طور مداوم مشاهده می‌نمایند، در فواصل زمانی هر ۱۵ یا ۳۰ دقیقه یکبار تصاویر تکراری را تهیه می‌نمایند.

نمونه مشخص این ماهواره گواوز می‌باشد. هر تصویر این ماهواره به منزله یک نقشهٔ هواست که بر روی آن تمام سیستم‌های فشار بر اساس ویژگی ابرهای آن‌ها تشخیص داده می‌شود و چون هر نیم ساعت یک تصویر تهیه می‌شود عمده سیستم‌های فشار از ابتدای تشکیل تا مرگ آن‌ها به طور دقیق مشخص می‌گردد. این ماهواره‌ها بهترین وسیله برای شناسایی محل تشکیل و مسیر حرکت و نیز سرعت سیستم‌های فشار می‌باشند [۳]. علاوه بر سری ماهواره‌های گواوز که جهت طراحی دید کلی از کره زمین بکار می‌روند، ماهواره‌های دیگری همچون متئوست توسط فرانسه، GMS توسط ژاپن و اینست[2] توسط هندوستان مأموریت‌های مشابهی را انجام می‌دهند و امکان پوشش و جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی از غیر قابل دسترس‌ترین مناطق با دقت قابل قبولی را میسر می‌سازند.

گروه دوم ماهواره‌های خورشید آهنگ هستند که ارتفاع کمی دارند و به نحوی تنظیم شده‌اند که با حرکت تقریباً قطبی در هر شبانه روز چندین بار به دور زمین می‌چرخند و می‌توانند تمامی نقاط کره زمین را با دقت و قدرت تفکیک بالایی و با حفظ زاویه میل ثابت خورشیدی تصویربرداری نمایند. سری ماهواره‌های نوا[3]، لندست، اسپات و غیره از این گروه می‌باشند.

سری ماهواره‌های نوا از معروف‌ترین ماهواره‌های هواشناسی هستند که خوشبختانه اطلاعات برخی از آن‌ها در ایستگاه گیرنده ایران دریافت می‌شود. وجود سنجنده بسیار پیشرفته AVHRR[4] در این ماهواره‌ها باعث شده است که اطلاعات با ارزشی از وضع جو زمین در نقاط مختلف دنیا اخذ گردد. امروزه داده‌های NOAA در ایالات متحده به طور مستقیم جهت ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرند [٤].

بالا بودن قدرت تفکیک و گستره دید وسیع این ماهواره‌ها باعث شده است که به عنوان یکی از مهمترین ابزار اندازه گیری گسترش و پیشروی بیابان‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. در پروژه تهیه نقشه‌های پیشروی بیابان در منطقه ساحل آفریقا که نیازمند به استفاده از ۱۵۰ تصویر

2- INSAT
3- NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)
4- Advanced Very High Resolution Radiometer

www.SID.ir

Archive of SID

سنجنده MSS لندست بوده با استفاده از تصاویر سنجنده A VHRR این ماهواره، با یک قطعه تصویر این مقصود برآورده شده است [۵]

به هر حال تعداد ماهواره‌های هواشناسی چه به لحاظ قدمت به کارگیری آن‌ها، چه تعداد، از سایر ماهواره‌های مطالعاتی بیشتر است. از سال ۱۹۵۹ تنها کشور آمریکا بیش از ۵۰ ماهواره هواشناسی به فضا پرتاب کرده است.

داده‌های مادون قرمز ماهواره‌ای امکان تعیین انواع ابرها، درجه حرارت بالای ابرها و ارتفاع و عوامل تعیین هدایت آن‌ها را به خوبی نشان می‌دهند. همچنین با استفاده از سنسورهای حساس، محتوای آب اتمسفر و شرایط دمای آن در سطوح متفاوت اندازه‌گیری می‌شوند [۶] داده‌های ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌های اساسی زیر، نقش عمده‌ای در مطالعه اقلیم نواحی بیابانی دارند که این ویژگی‌ها عبارتند از:

الف- گستره دید وسیع اطلاعات،

ب- تکراری بودن اطلاعات (در فواصل زمانی کوتاه مثلا هر روز)،

ج- چند طیفی بودن، د- تنوع شکل اطلاعات [۷].

نقش داده‌های سنجش از دور در شناخت مناطق خشک و بیابانی

معمولاً بیابان‌های دنیا در مناطق دور، غیرقابل دسترس و خشن هستند در حالی که مخازن هیدروکربن و سایر معادن در بیابان‌ها پنهان شده‌اند. در این محیط خشن اطلاعات و دانش ما در ارتباط با زمین شناسی مناطق خشک، اغلب وابسته به روش‌های سنجش از دور هستند. سنجش از دور مجموعه‌ای از اطلاعات درباره یک موضوع است، بدون اینکه به طور مستقیم تماس فیزیکی با آن داشته باشیم. ادوات سنجش از دور در ماهواره‌های مدار زمین رادار، نور مرئی و تشعشعات مادون قرمز را اندازه‌گیری می‌کنند. سیستم‌های تصویری رادار منبع انرژی الکترومغناطیسی خودشان را تهیه می‌کنند، بنابراین آن‌ها می‌توانند در هر زمانی از روز یا شب مورد استفاده قرار گیرند.

اولین سیستم رادار تصویری شاتل (SIR-A) [۵] توسط آمریکا به فضا پرتاب شد، شاتل کلمبیا در سال ۱۹۸۱ تصاویری را ثبت کرد که نشان‌دهنده توپوگرافی رودخانه‌های از نظر پوشانده شده، گسل‌ها و اجسام فرورفته و یا پنهان شده در زیر لایه‌های شنی و خاکریزهای بیابان غربی در مصر و سودان بودند. بیشتر این ویژگی‌ها از سطح زمین قابل رویت نیستند. سیگنال رادار درون شن‌های خشک و سست نفوذ می‌کند

5- Shuttle Imaging Radar System

www.SID.ir

Archive of SID

و تصاویر کانال‌های رودخانه‌های مدفون شده که در سطح زمین قابل رؤیت نیستند را نشان می‌دهد. این تصاویر به پیدا کردن مکان‌های جدید باستان‌شناسی و منابع آب قابل شرب در بیابان کمک می‌کنند. این رودخانه‌ها بقایای سیستم رودخانه‌ای بزرگی هستند که در سراسر آفریقا در حدود ۲۰ میلیون سال قبل از گسترش سیستم رود نیل جریان داشته و اکنون ناپدید شده‌اند. شبیه‌سازی رادار، همچنین اسباب قدرتمندی برای جستجوی معادن در مناطق خشک است.

در سال ۱۹۷۲ آمریکا اولین گروه از ماهواره‌های بدون سرنشین را که به لندست معروف بود به فضا پرتاب کرد. ماهواره‌های لندست سنسورهایی را حمل می‌کنند که نور یا بخشی از طیف الکترومغناطیس را ثبت و سپس آن را به زمین منعکس می‌کند و لندست داده‌های دیجیتالی که تبدیل به تصویر می‌شوند را به دست می‌آورد.

کمبود پوشش گیاهی، طیف معینی از سنجش از دوری را ایجاد می‌کند که به ویژه در زمین‌های خشک آشکار است. سنگ‌های محتوی لیمونیت[6] (نوعی اکسید آهن آبدار)، ممکن است از داده‌های سنجنده‌های چند طیفی لندست شناسایی شوند. نقشه‌های مربوطه به(TM)[7] لندست توانایی ما را برای تعیین نقشه توزیع معادن در صخره‌های آتشفشانی (و مرتبط با معادن) در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌دهد.

بیش از یک میلیون تصویر از زمین توسط ماهواره‌های لندست به دست آمده‌است. یک تصویر لندست ممکن است به عنوان یک باند سیگنال سفید و سیاه یا ترکیبی از سه رنگ ترکیبی دیده‌شود. وسیع‌ترین تصویر رنگی لندست که به کار برده می‌شود یک رنگ کاذب[8] مرکب نامیده می‌شود زیرا آن باند مادون قرمز، (غیر قابل رؤیت با چشم غیر مسلح را مانند قرمز، باند قرمز را مانند سبز و باند سبزر را مانند باند آبی تولید می‌کند). گیاه سالم در رنگ کاذب مرکب، قرمز است.

مطالعات بیابانی هنوز در بسیاری از مناطق به دلیل فقدان داده‌های آماری دقیق دچار مشکل است. بیشتر ایستگاه‌های آب و هوایی بیابان توسط درختان و ساختمان‌ها محاصره شده‌اند و در معرض تغییرات مکانی و ارتفاع قرار دارند. این داده‌ها شرایط بیابانی اطراف را منعکس نمی‌کنند. نوعی ادوات که برای ثبت اندازه‌گیری‌های تغییرات طول زمان در فرمت‌های متفاوت بکار برده می‌شود، تفسیر و مقایسه داده‌ها را پیچیده می‌کنند.

6-Limonite
7- The LANDSAT Thematic System
8-Falsecolor

www.SID.ir

Archive of SID

برای غلبه برچنین مشکلاتی در بیابان‌های جنوب غربی آمریکا، بررسی زمین‌شناسی امریکا[9] (USGS) پروژه بادهای بیابان را برای اندازه‌گیری چندین خصوصیت کلیدی هواشناسی مناطق خشک در یک فرمت استاندارد، ایجاد کرده است. محققین این پروژه ایستگاه‌هایی را مجهز به ادواتی برای اندازه‌گیری سرعت باد، شامل قله تند باد تاسیس کردند. یک ایستگاه، طوفان را در نزدیکی ویکسبرگ [10] آریزونا [11] برای مثال با قله تند باد تقریباً ۱۵۰ کیلومتر در ساعت ثبت کرد. استفاده از سنسورهای خورشیدی و خودکار سبب شده است که در هر ایستگاه جهت باد، بارندگی، رطوبت، دمای خاک و هوا و فشار بارومتریک در هر ارتفاع خاصی از بالای سطح زمین قابل اندازه‌گیری باشد. داده‌ها در فاصله ٦ دقیقه نمونه برداری شده و هر ۳۰ دقیقه به ماهواره GOES ارسال می‌شود. از UGOES داده‌ها به آزمایشگاه USGS در فلگ استاف [12] آریزونا ارسال می‌شود. تحقیقات پروژه بادهای بیابان، تحلیل داده‌ها را با جزئیات مطالعات زمین‌شناسی ترکیب می‌کند و تکرار سنجش از دور به منظور تحقیق و درک تغییرات طولانی مدت ایجاد شده توسط باد در بیابان‌هایی با تنوع اقلیمی زمین شناختی را میسر می‌سازد.

کاربرد سنجش از دور در شناخت خشکی و خشکسالی

خشکسالی در میان بلایای طبیعی خطرناک‌ترین پدیده‌هاست که در سراسر دنیا اتفاق می‌افتد. خشکسالی در ربع قرن گذشته (از سال ۱۹٦۷ به بعد) حدود ۵۰ درصد از ۲/۵ میلیارد جمعیت دنیا که در معرض انواع بلایای طبیعی قرار داشته‌اند تحت تأثیر قرار داده است. از مجموع ۳/۵ میلیون جمعیت که در اثر بلایای طبیعی جان خود را از دست داده‌اند، ۱/۵ میلیون نفر به اثرات مستقیم و غیرمستقیم خشکسالی بر می‌گردد [۸]. در دهه اخیر، خشکسالی‌های شدید در مقیاس بزرگ در تمام قاره‌ها مشاهده شده است و به یادماندنی‌ترین خشکسالی‌ها نواحی بزرگ و حاصل‌خیز کشاورزی دنیا را تحت تأثیر قرار داده است [۹]. علاقه بشر به استفاده از مشاهدات از طریق ماهواره به منظور دیده‌بانی خشکسالی در طول دهه گذشته مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. یکی از فنونی که در اداره ملی جوی و اقیانوسی (نوا) با موفقیت زیادی همراه بوده استفاده از اندازه‌گیری‌های رادیومترهای پیشرفته با تفکیک خیلی بالای (AVHRR) موجود در ماهواره‌های مدار NOAA می‌باشند [۱۰]. برای اولین بار انعکاس‌های امواج مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی به صورت

9- U.S Geological Survey
10- Vicksburg
11- Arizona
12- Flagstaff

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های عددی (شاخص شرایط گیاهی[13] (VCI) و شاخص شرایط دمایی[14] (TCI) استخراج شد، که تشخیص خشکسالی، رؤیت و دیده‌بانی اثرات خشکسالی بر کشاورزی را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشید.

خشکسالی از دیدگاه اقلیم‌شناسی

اولین اثر اقلیم‌شناسی خشکسالی را می‌توان از توزیع جهانی‌تراز رطوبت سطحی که به صورت اختلاف بین بارندگی سالانه و تبخیر بالقوه سالانه نشان داده می‌شوند، دریافت کرد [۱۱]. در مناطقی که دارای تراز رطوبت منفی می‌باشند، بافت گیاهی بالقوه در مقابل خشکسالی از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشد. هر چند که اغلب اوقات کشاورزان کمبود آب خود را از طریق کشت محصولات آبی جبران می‌کنند ولی منابع آب موجود در مناطق کشاورزی به خصوص در خشکسالی‌ها به طور عمده و مناطق بزرگ محدود می‌باشند.

حدود ۵۰ درصد از پرجمعیت‌ترین مناطق دنیا شدیداً در مقابل خشکسالی آسیب‌پذیر می‌باشند. از آن مهم‌تر تقریباً تمام زمین‌های کشاورزی بزرگ در آنجا قرار دارند [۱۲]. در ایالات متحده و اتحاد جماهیر شوروی سابق به عنوان دو تولید کننده عمده محصولات کشاورزی، تقریبا همه ساله خشکسالی اتفاق می‌افتد. در قرن گذشته در منطقه ایالات متحده خشکسالی‌های شدیدی اتفاق افتاده است و در اغلب آن‌ها وسعت آن به بیش از ۱۰ درصد کل ایالات متحده می‌رسد. هر ۱۰ تا ۱۵ سال وسعت منطقه به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد و در سالهای داست باول[15] دهه ۱۹۳۰ خشکسالی ۶۵ درصد از کل کشور را فرا گرفته بود [۱۳]. در تاریخ ۱۰۰۰ ساله گذشته شوروی، خشکسالی در هر قرن حدود ۸ تا ۱۲ بار فاجعه به بار آورده است. خشکسالی‌های شدید به خصوص در مناطقی که دارای منابع اقتصادی و اقلیمی محدودی هستند از فراوانی بیشتری برخوردار می‌باشند.

دیده‌بانی خشکسالی

برای اینکه اثرات خشکسالی کاهش یابد باید به مهمترین عناصر مطرح شده در آماده سازی و کاهش اثرات خشکسالی شامل دیده‌بانی خشکسالی، اعلام آمادگی، ارزیابی‌های اثرات، و واکنش‌های مقابله با آن توجه بیشتری شود. با داشتن اطلاعات به موقع در مورد

13- Vegetation Condition Index
14- Temperatuer Condition Index
15- Dustbowl

www.SID.ir

Archive of SID

وقوع خشکسالی و وسعت آن، شدت، مدت، و آثار آن می‌توان خطرات جانی و مصائب آن را محدود کرد و خسارات‌های اقتصادی و محیطی آن‌را کاهش داد [۱۳].

به طور عمده اطلاعات آب و هوایی برای دیده‌بانی خشکسالی و ارزیابی اثرات آن به کار می‌رود. در هر حال، کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از مناطق دیده‌بانی، خشکسالی را مشکل می‌سازد. کمبود اطلاعات برای تجزیه و تحلیل خشکسالی به خصوص در مناطقی که با کمبود منابع اقلیمی، آشفتگی اقتصادی، و کشمکش‌های سیاسی و نظامی روبرو هستند باعث ایجاد بحران می‌شود. همچنین مشکلات ارتباطاتی حاصل از دوری مسافت و نرساندن اطلاعات به موقع، به تصمیم گیرندگان و سیاست گزاران بزرگ‌ترین دغدغه خاطر یک دستگاه کارآمد کنترل خشکسالی را تشکیل می‌دهد.

علاوه بر مشکلات عدم دسترسی به اطلاعات، عامل دیگری که باعث ایجاد مشکل در عمل دیده‌بانی می‌شود، این است که بعضی از اطلاعات آب و هوایی نقطه‌ای می‌باشند و اطلاعات منطقه‌ای را شامل نمی‌شوند. با توجه به تغییر پذیری سریع آب و هوا در مکان‌های مختلف به خصوص بارندگی، ارزیابی اثر آن بر محصولات اطراف یک ایستگاه هواشناسی ممکن است با ارزیابی یک ایستگاه در فاصله دورتر به خصوص در نواحی خشک باشد. از آن گذشته عوامل متغیر آب و هوا ذاتاً فیزیکی هستند و به خصوصیات فیزیولوژی گیاهی کاملاً مربوط نمی‌شوند.

عدم وجود یک معیار جهانی برای تشخیص خشکسالی و ارزیابی پیشرفت آثار آن محدودیت‌های دیگری را ایجاد می‌کند. برای حل این مشکل در ایالات متحده از شاخص خشکسالی پالمر[16] (PDSI) که بر اساس داده‌های اقلیمی تعیین می‌شود استفاده میکنند [۱۴]. در هر حال از PDSI در خارج از ایالات متحده استفاده چندانی نمی‌شود. در سایر کشورها پایش خشکسالی عمدتاً بر اساس شاخص‌های داخلی یا نابهنجاری‌های اقلیمی صورت می‌گیرد [۱۵]. عدم وجود معیارهای جهانی باعث می‌شود که در مقایسه با خشکسالی‌های کشورهای مختلف و در تخمین خسارات آن با مشکل روبرو شویم. استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای اکثراً این مشکلات را حل می‌کند. علاوه بر این، مشاهدات حاصل از ماهواره‌های مدار قطبی با مدیریت نوا دیدگاه منحصر به فرد و کلی به پدیده مورد مطالعه می‌دهد. همچنین بانک اطلاعات مستمر و مقرون به صرفه‌ای را با تصاویر تکراری در سطح زمین ایجاد می‌کند.

16- Palmer Drought Severity Index

www.SID.ir

Archive of SID

کاربـــرد سنجش از دور و ارزیابی اثرات خشکسالی در کشاورزی

یکـی از کاربردهـای مـهم اطلاعـات مـاهواره‌ای، تعییـن شـرایط حرارتـی و رطوبتـی خـاک و گیـاه اسـت کـه بـا اسـتفاده از اختـلاف بازتـاب امـواج الکـترو مغنـاطیس انجـام مـی‌گیرد. در ایـن بخـش بـه روش‌هـای سـنجش از دور، بـرآورد بـارندگـی، رطوبـت خـاک و شرایط گیاه کـه در پدیـده خشکسـالی اهمیـت دارنـد اشـاره شـده اسـت:

برآورد بارندگی از طریق سنجش از دور

بـرآورد بـارندگـی از طریـق مـاهواره، بـه منظـور پـر کـردن خلاءهـای مکـانی و زمـانی کـه در گزارش‌هـا و انـدازه‌گیری‌هـای زمینـی وجـود دارنـد، مفیـد اسـت. نـاگسـوارائو و رائـو[17] (۱۹۸٤) اقـدام بـه تهیـه نقشـه‌ای نمودنـد کـه نمایـانگر خشکسـالی بـر اسـاس بـرآورد ارتبـاط بـارندگـی و رشـد گیـاه جـوان بـه کمـک سـنجنده AVHRR مـاهواره نـوا بـوده در مراقبـت خشکسـالی، انـدازه‌گیری‌هـای نقطـه‌ای و روزانـه بـارندگـی در سراسـر کشـور بـه تنـهایی مفیـد نیسـتند و تعییـن توزیـع مکـانی ایـن بارش‌هـای نقطـه‌ای از طریـق تعییـن رطوبـت خـاک، اهمیـت اسـتفاده از ماهواره‌هـا در مدیریـت خشکسـالی را بـهبود بخشـیده اسـت و عـلاوه بـر ایـن، بـا فرض اینکه داده‌هـای بـارندگـی می‌توانـد بـه عنـوان شـاخص رشـد گیـاه بـه ویـژه در نواحـی کـه بـارندگـی یـک عـامل محـدود کننـده اسـت، قلمـداد شـود، روابـط مکـانی و زمـانی بیـن داده‌هـای بـارندگـی و شـاخص NDVI[18] در AVHRR در مقیاس‌هـای زمـانی مختلـف می‌تواند در برآورد بـارندگـی مـورد اسـتفاده قـرار گیـرد.

تعیین رطوبت خاک از طریق سنجش از دور

با توجـه بـه ارتبـاط فیزیکی قـوی بیـن حساسیت امـواج میکـرو و رطوبـت خـاک و نیـز قـابلیت نفـوذ ایـن امـواج در شـرایط ابـری و پوشـش گیـاهی، سـنجنده‌های فعـال (راداری) امـروزه بـه عنـوان بـهترین سـنجنده‌های رطوبـت خـاک تلقـی می‌شـوند. اسـتفاده از ایـن امـواج در تعییـن رطوبـت خـاک از ۲۰ سـال قبـل آغـاز شـده و در حـال حـاضر در تهیـه نقشـه‌های رطوبـت خـاک نقـش مـهمی را ایفـا می‌کننـد. بـا ایـن سـنجنده‌ها رطوبـت خـاک در لایـه سـطحی بـا ضخـامت ۱۰ سـانتی‌متر بـا دقـت بـالایی قـابل بـر آورد اسـت. عـلاوه بـر امـواج میکـرو، در سـال‌های اخیـر امکـان اسـتفاده از سـنجنده AVHRR در بـرآورد رطوبـت خـاک

17- Nageswara Rao & Rao (1984)
18- Normalized Difference Vegetation Index

www.SID.ir

Archive of SID

مورد بررسی قرار گرفته و NDVI به عنوان شاخص جدیدی که عملاً بتواند به طور استاندارد در تعیین رطوبت خاک بکار رود به صورت زیر تعریف شده است:

این روش که توانسته است ارتباط سری‌های تصویری سنجش از دور و رطوبت خاک را فراهم سازد، برای نخستین بار در چین و استرالیا در تعیین رطوبت خاک بکار رفته است.

تعیین وضعیت گیاه از طریق سنجش از دور

شدت تابش منتشره یا منعکسه از سطح گیاهان توسط دمای سطح آن‌ها، درخشندگی ناشی از انتشار تابش، فیزیولوژی و مرفولوژی گیاه، شکل هندسی برگ، کسر پوشش گیاهی و نوع ساختمان خام تعیین می‌شود. به طور طبیعی پوشش گیاهی در طیف مرئی، بازتاب کم در طیف مادون قرمز نزدیک، بازتاب زیاد دارد و به علت جذب تابش مرئی در فرایند فتوسنتز در گیاهان کلروفیل‌دار، میزان بازتاب در این طیف خیلی کم است و محتوی آب نیز از جذب مقادیر بالایی انرژی خورشید توسط گیاهان جلوگیری می‌کند. از این‌رو هنگامی که مقدار آب گیاه کاهش یابد، افزایش دمای سطح پوشش گیاهی باعث کاهش بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌گردد که در واقع تنش آب گیاه را نشان می‌دهد.

اختلاف مربوط به بازتاب نور خورشید در محدوده‌های طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک، با توجه به خصوصیات گیاهی، در تعیین شاخص گیاهی و مراقبت پوشش گیاهی به کار می‌رود. در بین بیشتر شاخص‌های گیاهی، شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی NDVI در سطح وسیعی پذیرفته شده و مورد استفاده اغلب مجامع علمی قرار گرفته است. این شاخص به صورت زیر تعریف شده است که در این رابطه، NIR و VIS در باند مادون قرمز نزدیک و باند مرئی، اندازه‌گیری می‌شوند.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

مقدار کمی NDVI برای گیاه خیلی بیشتر از سایر عناصر روی زمین (خاک سخت، صخره، ابر، آب که دارای NDVI حدود صفر و زیر صفر می‌باشند) است. آنچه که اهمیت زیادی دارد، تغییرات شادابی و طراوت گیاه در مواجه با تنش‌های محیطی است که منجر به افزایش بازتاب در طیف مرئی و کاهش بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌گردد. کاهش مقدار NDVI در شرایط حساس به تنش‌های محیطی بسیار بیشتر از تغییرات در طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک در شرایط عادی است. کاهش مقدار NDVI علاوه بر تنش‌های آبی ممکن است توسط حمله آفات و امراض یا کمبود عناصر غذایی و یا خصوصیات شمیایی خاک به وجود آید. تفکیک تنش‌های رطوبتی از

www.SID.ir

Archive of SID

سایر اثرات، با استفاده از داده‌های که دارای تفکیک مکانی بالا می‌باشد در پهنه‌های وسیع و بر حسب سطح پوشش، نوع محصول و همچنین از طریق بررسی‌ها ممکن است.

سنجش از دور و مطالعات پالئوکلیمائی و تغییرات و نوسانات اقلیمی مناطق بیابانی

پالئوکلیما و مطالعه پیشینه اقلیمی مناطق خشک و بیابانی از آن جهت اهمیت دارد که نه تنها باعث شناخت عوامل مسلط بر تکوین و تکامل ناهمواری‌های مناطق خشک و در نتیجه روند ژئومرفولوژیک آن‌ها می‌شود بلکه می‌تواند به عنوان کلیدی برای حل تغییرات و نوسانات اقلیمی این مناطق باشد.

بخش عظیمی از اشکال ناهمواری‌های نواحی خشک از فرسایش کنونی نتیجه نمی‌شود بلکه آثاری از اشکال قدیمی هستند که تحت شرایط مرفوکلیماتیک متفاوت با شرایط کنونی به وجود آمده‌اند.

مناطق بیابانی دوره‌های بارانی مشخصی را پشت سر گذارده‌اند همان‌گونه که نواحی مرطوب دوره‌های خشک را تجربه نموده‌اند. شناسایی این روندها مستلزم استفاده از روش‌ها و ابزار دقیقی است تا بتواند پس از گذشت هزاران سال شواهد و کلیدهای کشف عناصر اقلیمی گذشته را نشان دهد.

معیارهای عمده بررسی نوسانات پالئوکلیمایی مناطق بیابانی را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود [۱۶]:

۱-معیارهای بیوژئوگرافی (تغییرات فون[19] و مرزهای پوشش گیاهی)

۲-معیارهای پالنولوژی[20]

۳-معیارهای باستان شناسی (برای دوره‌های اخیر و دوره نوسنگی به بعد)

٤-معیارهای رسوب شناسی

٥-معیارهای خاک شناسی (در رابطه با تکوین گونه‌های خاصی از خاک‌ها که مستلزم وجود دوره‌های بارانی شدید می‌باشد)

٦-معیارهای هیدرولوژی (و وجود برخی سفره‌های غنی از آب فسیل)

۷-معیارهای ژئومرفولوژی

در رابطه با مورد اخیر نیز به برخی شواهد از قبیل وجود گلاسی‌ها، سیستم‌های پادگانه‌ای، قشرهای آهکی، تناوب مراحل فرسایش بادی و رودخانه‌ای و وجود مخروط افکنه‌های عظیم که شرایط فعلی اقلیمی قادر به ایجاد جریانات مولد آن نیستند، نوسانات

1-Foune
2-Palynology

www.SID.ir

Archive of SID

دیرینه اقلیمی بر حسب نواحی مختلف نیاز ژئومرفولوژیکی متفاوتی را به دنبال داشته‌اند. شاید با اطمینان بتوان وضع فعلی مناطق بیابانی و تکامل مرفولوژیک آن را به بعد از دوران چهارم زمین شناسی نسبت داد و شواهد پالئوکلیمایی این دوره که شامل آثار و شواهد دوره‌های یخچالی، بین یخچالی و دوره‌های بارانی و خشک متوالی است بیشترین نشانه‌ها را در مناطق بیابانی و کویری به جای گذاشته باشند.

بررسی این شواهد به دلیل غیر قابل دسترس بودن اکثر نواحی مرکزی بیابان ایران و وجود شرایط اقلیمی نامساعد در اکثر ایام سال به وسیله مطالعات صحرایی غیر ممکن به نظر می‌رسد. علم سنجش از دور همانند بسیاری از زمینه‌های کاربردی دیگر در این مورد نیز می‌تواند بسیار کارآمد باشد.

با توجه به گستره وسیع دید اطلاعات حاصل از سنجش از دور، شرایط نوری یکسان و قدرت تفکیک بالای شکلی، طیفی و رادیومتریک ماهواره‌های مطالعات منابع زمینی همچون لندست، اسپات و نوا امکان بکارگیری این اطلاعات توسط مفسرین و محققین رشته‌های مرتبط وجود دارد.

در این راستا آرشیو بسیار غنی تصاویر لندست که از ۲۸ سال پیش به طور مرتب در کمتر از هر ۲۰ روز یکبار (و حتی مدت‌های کوتاه‌تر) در محدوده‌های طیفی مختلف به جمع آوری اطلاعات رقومی با ارزشی پرداخته، هنوز به طور مطلوب مورد استفاده قرار نگرفته است.

با وجود آنکه تحقیقات پالئوکلیمایی مناطق بیابانی کشور محدود به چند گزارش علمی قدیمی است که توسط شرق‌شناسان و محققین غربی همچون بوبک انجام شده‌است اما با استفاده از داده‌های رقومی سنجنده (TM) لندست و همچنین تفسیر چشمی اطلاعات تصویری این سنجنده و در برخی موارد مطالعه تطبیقی تصاویر سنجنده AVHRR نوا و اسپات، امکان حل بسیاری از معماهای پالئوکلیماتولوژی مناطق بیابانی وجود دارد.

تفسیرهای پالئوکلیماتولوژی در این مورد خاص با توجه به تفسیر چشمی اطلاعات ماهواره‌ای از طریق عنصر الگو یا نقش امکان پذیر است زیرا در سنجش از دور اصول مطالعات بیوکلیمائی از طریق شواهد بیوژئوگرافی، پالئوژئوگرافی، ژئومرفولوژی و هیدرولوژی صورت می‌گیرد و متخصصین علوم زمینی با توجه به عنصر نقش امکان ردیابی و تعیین کلیدهای اساسی اقلیم گذشته را استخراج می‌نمایند. استفاده از عناصر تفسیری دیگری همچون عکس‌برداری، رنگ، بافت و شکل می‌تواند در تشخیص اسناد و مدارک اساسی مطالعه موردی و صحرائی کمک مؤثری نماید. در تفسیر رقومی که

www.SID.ir

Archive of SID

معمولاً پس از تفسیر و جهت حصول به حداکثر دقت و صحت مطالعات صورت می‌گیرد می‌توان از طبقه‌بندی نظارت شده و یا نظارت نشده استفاده نمود که آن به نظر مفسر و امکانات موجود و مطالعات میدانی بستگی دارد. مقایسه چشمی تصاویر تکراری و تفسیر رقومی، مرزهای گسترش بیابان‌ها را مشخص می‌سازد. تصاویر تکراری لندست نشان دهنده آن است که بیابان صحرا از ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ به مقدار قابل توجهی گسترش یافته است. این نوع تفاسیر و اطلاعات حاصل از سنجش از دور هشدارها و پیش‌آگاهی‌هایی را به کشورهایی که تمایلی به دانستن اطلاعات زمانی و مکانی از وقوع خشکسالی دارند، ارائه می‌دهد [۱۷].

در تصاویر سنجنده رادار (SIR-A) شاتل که بر روی تصویر لندست، منطقه‌ای در سودان منطبق شده است تصویر لندست تصویری ساده از منطقه است، اما تصاویر SIR-A از رادار فعال، ضخامتی حدود ٤ متر زیر ماسه‌های بیابانی را آشکار می‌سازد. این باریکه مورد مطالعه که مسافتی حدود ۵۰ کیلومتر عرض را شامل می‌شود امکان آن را فراهم آورده که سیستم‌های رودخانه‌ای که در طی هزار سال قبل ایجاد شده است مورد بررسی قرار گیرد. این تصویر یک تیم حفاری را، جهت تجزیه و تحیل منطقه از نظر مصنوعات، متوجه منطقه ساخت، مصنوعات انسانی نشان دهنده شواهد سن نگاری شده دوره‌های پالئولتیک (دیرینه سنگی) در بستر این رودخانه‌ها می‌باشد.

تغییرات و نوسانات اقلیمی در دوره‌های اخیر در مناطق بیابانی از مطالبی است که در کانون توجه متخصصان مختلف علوم زمینی است اما در این میان یک مشکل اساسی وجود دارد و آن اینکه نه تنها یک شبکه از ایستگاه‌ها با فاصله مناسب وجود ندارد بلکه آمارهای طولانی و مطمئن را نمی‌توان به سادگی آماده نمود و یا در اختیار داشت [۱۸].

از اکتبر ۱۹٦٦ تا کنون سری ماهواره‌های هواشناسی Tirros-NOAA نقشه‌هایی در محدوده‌های مختلف طول موج الکترومغناطیس از وضع عناصر هوا از جمله بارش، دما، پوشش برف در سراسر نقاط کره زمین و غیره تهیه نموده‌اند. این آرشیو طولانی مدت‌ترین آرشیو سیاره‌ای اطلاعات اقلیمی است که به کمک آن می‌توان با دقت حدود ۱/۱ کیلومتر در ۱/۱ کیلومتر قدرت تفکیک فضایی عناصر اقلیمی را در تمام نقاط بیابانی کره زمین تعیین نمود [۱۹].

با پیشرفت تکنولوژی سنجش از دور هر روز دقت این سیستم‌های سنجنده پیشرفت نموده به نحوی که نیمرخ‌های تهیه شده به وسیله سنجنده A VHRR ماهواره نوا و دمای تعیین شده با رادیو حداکثر ۱/۵ درجه سانتی گراد اختلاف دارند [۳] این اطلاعات، مقایسه آمار تهیه شده را که یک دید سه بعدی از تغییرات عناصر دما در مناطق بیابانی ارائه می‌دهد،

www.SID.ir

Archive of SID

امکان‌پذیر می‌سازد و نیز تهیه سری‌های زمانی عناصر اصلی اقلیمی مانند: بارش، دما و مقایسه آن دو و تعیین آنومالی‌های آن‌ها را میسر می‌کند.

هرچند تغییرپذیری عناصر اقلیمی همچون بارش در مناطق بیابانی بسیار زیاد است وتعیین الگوهایی که این تغییرات از آن پیروی کنند مشکل است، اما امروزه با توسعه فعالیت‌های سنجش از دور در مطالعات اقیانوس‌شناسی و بررسی چرخه‌های سیستم‌های هوایی در مقیاس سیاره‌ای و ساخت مدل‌های اقلیمی می‌توان رابطه این تغییرپذیری‌ها را با نابهنجاری‌های اساسی اقلیمی کره زمین و پدیده‌هایی همچون ENSO [۲۱] و NAO [۲۲] کشف نمود. تعیین فرآیندهای تله کانکشن [۲۳] پدیده‌های فوق‌الذکر و شناخت این الگوهای ارتباط از دور، نیازمند استفاده از سری‌های زمانی عناصر اقلیمی است. از سویی اندازه‌گیری بسیاری از این الگوهای تله کانکشن نیازمند عناصر جو بالا نیز می‌باشد که متاسفانه در مناطق بیابانی اندازه‌گیری این عناصر به دلیل عدم استقرار ایستگاه‌های جو بالا امکان‌پذیر نمی‌باشد. پراکندگی شدید این قبیل ایستگاه‌ها و محدودیت تعداد آن‌ها، فاصله زمانی بین دیده‌بانی‌ها و پایین بودن ارتفاع عملکرد بالن‌های حاوی رادیوسوند از مشکلات اساسی اندازه‌گیری عناصر جو بالا می‌باشد [۲۰]

اندازه‌گیری توسط سنجنده‌های SSU، AVHRR، HIRS و MSU امکان مطالعه بسیاری از عناصر جو بالا را فراهم می‌سازد. این داده‌ها امروزه به صورت نقشه ترکیبی در آرشیوهای سازمان هواشناسی و اقیانوس‌شناسی امریکا NOAA و همچنین سازمان هواشناسی جهانی (WMO) نگهداری می‌شود و با استفاده از شبکه اطلاع‌رسانی اینترنت در اختیار محققین بررسی تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد. با مدل‌سازی‌های اقلیمی امکان بررسی تغییرات و نوسانات اقلیمی مناطق خشک و بیابانی دنیا و پیدا کردن ارتباطات آن‌ها با تغییرات جهانی اقلیمی فراهم شده است.

درجه حرارت سطحی اقیانوس‌ها از مهمترین عوامل کنترل اقلیمی در مناطق مختلف دنیا می‌باشد. سنجش از دور هم‌اکنون اجازه می‌دهد تا به طور مداوم با اندازه‌گیری تغییرات SS T [۲٤] (دمای سطحی اقیانوس‌ها) و پیوند آن با الگوهای هوا مدل‌های تفصیلی بر اساس آنچه که از پیش‌بینی‌های معمول هواشناسی حاصل شده است، بنا گذاریم. نابهنجاری‌های جوی مرتبط با ENSO در سال‌های۸۳-۱۹۸۲ و ۹۸-۱۹۹۷ که تاثیرات عمده‌ای را بر میزان بارش و دمای مناطق بیابانی دنیا نیز به جای گذاشت، گوشه‌ای از نقش بسیار مؤثر اطلاعات سنجش از دور در

21- El-Nino Southern Oscilation
22- North Atlantic Oscilation
23- Tele-Connection
24- Sea Surface Temperfure

www.SID.ir

Archive of SID

شناسایی و ردیابی علل این آنومالی‌های عناصر اقلیمی می‌باشد [۲۱]. امروزه حتی با استفاده از نشانه‌هایی که سنجش از دور از پدیده‌هایی مانند اینسو [۲۵] و عرضه می‌دارد و با مدل سیستم اقلیمی سازمان NCAR موسوم به CSM [۲۶] و به کارگیری مدل‌های جفت شده بین جو، خشکی، اقیانوس‌ها، یخ و دریا امکان بازسازی شرایط تغییرات نقاط مختلف کره زمین تا ۶۰۰۰ سال نیز فراهم است [۲۲].

از سال ۱۹۸۲ تا کنون داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره نوا به تهیه موزائیک‌های بدون ابر نقشه‌های شاخص گیاهی جهانی GVI [۲۷] به صورت هفتگی پرداخته است. داده‌های نقشه‌های شاخص گیاهی جهانی که شامل اطلاعاتی درباره شاخص گیاهی بهنجار شده NDVI است، در واقع نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است. هرقدر NDVI بیشتر باشد توده گیاهی متراکم‌تر است [۲].

تغییرات مرز پوشش گیاهی که در واقع معرف پدیده مشهور پیشروی بیابان‌ها می‌باشد و خود نمود مشخص تغییرات اقلیمی مناطق بیابانی جهان است با استفاده از تجزیه وتحلیل هفتگی، ماهانه و سالانه این داده‌ها به راحتی قابل بررسی است.

داده‌های NDVI امروزه امکان استفاده از شاخص‌های بررسی شده خشکسالی پالمر (PDSI) را در تمام مناطق کره زمین فراهم آورده است. با استفاده از تحلیل‌های هفتگی و ماهانه شاخص شدت خشکسالی، امکان برنامه‌ریزی جهت به حداقل رساندن خسارات ناشی از خشکسالی در مناطق حاشیه‌ای بیابان‌ها که از اکوسیستم‌های شکننده‌ای برخوردارند، حاصل شد. این امر بخصوص در مناطقی مانند کشور ایران که بخش اعظم آن را مناطق خشک، بیابانی و نیمه خشک پوشانده، از نهایت اهمیت برخوردار است.

اطلاعات اخذ شده توسط سنجنده‌های رقومی و رادیومترهای نصب شده در ماهواره‌ها پس از مخابره به سکوهای دریافت اطلاعات در نوارهای مغناطیسی پرتراکم یا حافظه سخت رایانه‌ای نگهداری می‌شود و در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌گیرد. حجم این اطلاعات و به روز بودن علم سنجش از دور به گونه‌ای است که متاسفانه امکان تجزیه وتحلیل و استفاده از این داده‌ها همزمان با اخذ آن‌ها وجود ندارد. قسمت اعظم اطلاعاتی که ماهواره‌های هواشناسی در سال‌های اخیر به زمین مخابره نموده‌اند، در استخراج میانگین‌های دما و بارش نواحی مختلف کره زمین به کار می‌رود و بدین وسیله اقلیم‌شناسان می‌توانند برای تعیین وضع موجود و فعلی آب و هوای کره زمین و پیش‌بینی‌های دراز مدت آن اقدام کنند. بیشتر اطلاعات بدست آمده از این ماهواره‌ها

25- ENSO
26- Climate System Model
27- Global Vegetation Index

www.SID.ir

Archive of SID

مربوط به نواحی دورافتاده و بیابانی دنیا است. پس از فروپاشی شوروی سابق داده‌های ماهواره‌ای کاسموس با قدرت تفکیک بسیار بالا در حد ۵ متر از اکثر نواحی دنیا با هزینه بسیار اندک در اختیار محققین مناطق بیابانی دنیا نیز قرار گرفت.

لذا می‌توان به جرأت اذعان نمود امروزه با پیشرفت امکانات، آرشیوهای مملو از اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده آماده سرویس‌دهی به محققین می‌باشد، دست یافتن به ترکیب و مقایسه داده‌های ماهواره‌های مختلف که در سال‌های اخیر فراهم شده امکان تصحیح خطاها و اشکالات این داده‌ها را بیش از هر زمان دیگر فراهم می‌کند.

منابع و پی‌نوشت‌ها

۱- زبیری، محمود، مجد، علیرضا، آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در مناطق طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.

۲- انجمن سنجش از دور ژاپن، مبانی سنجش از دور، ترجمه فرشید جاهدی، شاهرخ فرخی، مرکز سنجش از دور ایران، ۱۳۷۵.

3- کاویانی، محمدرضا، علیجانی، بهلول، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، ۱۳۷۷.

4- کوران، پل، اصول سنجش از دور ترجمه رضا حائز، مرکز سنجش از دور ایران، ۱۳۷۳.

۵- مرکز سنجش از دور ایران، ماهواره تکنولوژی منابع زمینی ویژگی‌ها، کاربردها، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۳، تابستان ۱۳۶۸.

۶- تریکارد، ژاپن، اشکال ناهمواری در نواحی خشک، ترجمه محسن پورکرمانی، مهدی صدیقی، انتشارات آستان قدس، ۱۳۶۹.

۷-درش، ژان، جغرافیای نواحی خشک (بیابان‌ها، استپ‌ها)، ترجمه شهریار خالدی، نشر قوس، ۱۳۷۳.

۸-فروهر، محمد، نکاتی چند درباره ماهواره‌های هواشناسی نوآ و کاربرد آن، مجله نیوار، پاییز ۱۳۶۸.

9-Obasi, G. O. P., WMO's Role in the International Decade for National Disaster Raduction, *Bulletin of the Americal Meteorological Society* **75:1**, (1994) 655-61.

10-Le Comte, D., Weather highlights around the world, *weatherwise* **47**, (1999) 23-6.

11-Kogan, F. N. Vegetation index for areal analysis of crop condition's, *Proceedings of the 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, Boston, MA: American Meteological society, (1987) PP. 103-7.

12-Goldsberg, I. A. (ed.), *Agroclimatic Atlas of the world*, Moscow-Leningrad: Jydrometizdat, (1972) PP 21-20.

13-USDA Magor world crop areas climatic profiles, world Agricultural outlook Board, us Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. **664**, (1999) PP. 157-70.

14-Wilhit, D. A. The enigma of drought. in D. A. wilhite (ed.), *Drought Assessment, Management, and planning: Theory and case study*, Boston, MA: Kluwer Academic publisheres, (1993) PP. 3-15.

15-USDC/USDA *Weekly weather and crop Bulletin*, 18 June, washington, DC, (1988) 4.

16-Sastri, A. S. R. A. S., Agricultural drought management strategies to alleviate impacts: Examples from the arid and subhumid regions of the Indian sub continent, in D. A. Wilhite (ed.), *Drought Assessment, Management and Planning*: Theory and case studies, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, (1993) PP 65-87.

www.SID.ir