نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی
فصلنامه علمی دانشگاه گلستان
سال چهارم/ شماره مسلسل سیزدهم/ بهار ۱۴۰۲ / صفحات: ۳۴-۱۹
DOI: 10.30488/CCR.2023.391406.1124

بررسی تغییرات مکانی– زمانی متغیرهای اقلیمی مرتبط با پوشش گیاهی در مناطق شهری (مورد مطالعه: شهر اصفهان)

مهناز صادقی[۱]، مریم شیخ‌زاده[۲*]، عباس راهدان[۳]، علی ریگی[۴]

[۱]کارشناسی‌ارشد مهندسی شهرسازی گرایش مدیریت شهری، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲]کارشناسی‌ارشد زمین شناسی (پترولوژی)، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۳]دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴]کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی، مرکز فن آوران پهره ایرانشهر

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۳۱

چکیده

با توجه به اهمیت تبخیر- تعرق در چرخه هیدرولوژی و کاربردهای متنوع آن در علوم مختلف، محاسبه مقدار آن بویژه، تبخیر- تعرق واقعی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه فراوانی پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر دمای سطح زمین است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین و تبخیر- تعرق، شاخص بارش استاندارد شده و میزان آلبدو در ارتباط با پوشش‌گیاهی در **شهر** اصفهان می‌باشد. با استفاده از پردازش داده‌ها در محیط Google Earth Engine در قسمت اول، یک مجموعه داده مودیس با وضوح بالا و به صورت فصلی برای هر سال طی یک دوره زمانی بین سال‌های ، ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. سپس تبخیروتعرق به کمک دیتاهای مودیس و روش تورنت وایت با درنظرگرفتن ضریب رشد گیاهی محاسبه شده مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند. در همین راستا پیشبینی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (یک ماهه،سه ماهه،شش ماهه و دوازده ماهه) برای بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۴ نیز انجام گردید. پس از محاسبه تغییرات جهت شناسایی و کشف الگوها و روندهای موجود در داده‌های فضایی از یک روش تحلیل فضایی (**لکه‌های داغ**) در محیط نرم افزار ArcGis بهره گرفته شد. نتایج این تحقیق مشخص کرد که در فصل بهار بالاترین درصد NDVI با پایین‌ترین میزان دما انطباق مکانی ندارد، به عبارت دیگر درصد شاخص پوشش گیاهی با درجه حرارت سطح زمین رابطه معکوس ندارد. در فصل تابستان بالاترین میزان درصد شاخص پوشش گیاهی از نظر مکانی با کم‌ترین میزان دمای سطح زمین انطباق مکانی کامل دارد. در فصل زمستان نحوه پراکنش الگوهای دمایی به دلیل نقش تعدیل کننده دمایی پوشش گیاهی با استفاده از ساز و کار تبخیر و تعرق در مقایسه با سایر فصول کاملا متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی-زمانی، اقلیم، NDVI، سنجش از دور، GIS، شهر اصفهان.

مقدمه

داده‌های سنجش از دور قادر به ارائه جدیدترین اطلاعات برای مطالعه پوشش زمین و تغییرات آن می‌باشند. تشخیص پوشش اراضی کمک شایانی به مدیریت مناطق و تصمیم‌گیری می‌کند. هم‌چنین مقایسه تصاویر بدست‌آمده از یک دوره زمانی مشخص می‌تواند روند تغییرات هر منطقه را نشان دهد (شایان و همکاران، ۱۳۹۶). شکل گیری سکونتگاه‌های انسانی، همواره بر پایه‌ی عوامل طبیعی مانند؛ آب و خاک مناسب استوار بوده است و روستاها به عنوان اولین شکل از حیات جمعی انسان در یک عرصه طبیعی از خصوصیات متعدد طبیعی، اقتصادی و ... تأثیر می‌پذیرند (علیائی، ۱۳۹۸). پوشش‌گیاهی، نخستین و مهم‌ترین تولیدکننده هر اکوسیستم است و عوامل

*نویسنده مسئول: maryamshaikhzadeh@gmail.com

متعدد آن را منعکس می‌کند؛ بنابراین، با مطالعه رابطه تغییرات آن با سایر عوامل نظیر دما، تبخیر و تعرق و خشکسالی می‌توان به اثر متقابل این عوامل پی برد (ناطقی و همکاران، ۱۴۰۱). گیاه آیینهٔ آب‌وهواست؛ بنابراین نیاز به کسب اطلاعات دربارهٔ وضعیت پوشش گیاهی از قبیل میزان و پراکنش آن اهمیت زیادی دارد. از آنجا که گردآوری اطلاعات دربارهٔ تغییرات پیوستهٔ پوشش گیاهی با روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است، دورسنجی روش بسیار سودمندی است که دید وسیعی از یک منطقه ارائه می‌دهد (منتظری و کفایت مطلق، ۱۳۹۷). پایش تغییرات دمای سطح زمین حاصل از نوسانات فصلی و غیرفصلی به دلیل تأثیر بسیار آن بر محیط‌زیست انسانی و طبیعی، امری ضروری است. به‌منظور پایش پیوستهٔ دمای سطح زمین با هزینهٔ اندک و سرعت زیاد، از تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور استفاده می‌شود (پهلوان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). آگاهی از میزان دمای سطح زمین کمک شایان توجهی به طیف وسیعی از مسائل مرتبط با علوم زمین نظیر اقلیم شهری، تغییرات جهانی محیطی و بررسی تعاملات انسان و محیط می‌کند (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴). (جهانبخش و همکاران،۱۳۹۰). دمای هوا و سطوح موجود در شهر گرمتر از حاشیه‌ی شهر است که این بدلیل جایگزینی پوشش گیاهی طبیعی با مواد بدون تبخیر و غیرمتخلخل مواد شهری است که قابلیت بالایی در نگهداری گرما و انعکاس کم تابش خورشیدی دارند. تنها بخشی از اشعه خورشید به‌طور مستقیم باعث گرمای محیط می‌شود بقیه جذب ساختارهای پیچیده شهری می شود و غیر مستقیم باعث گرم شدن محیط می‌شود. مشخص شده که شهرهایی با جمعیت یک میلیون یا بیشتر، ۳-۱ درجه سانتی‌گراد اتمسفر گرمتری نسبت به مناطق روستایی اطراف دارند. اگر چه این اختلاف دما در بیشتر مواقع ۱۱ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد اندازه گیری شده است (فارینا، ۲۰۱۲).

دمای هوای نزدیک سطح زمین و دمای سطح زمین[1] از متغیرهای کلیدی در مطالعات هیدرولوژ یکی، اکولوژیکی و اقلیمی بوده و بسیاری از فرآیندهای سطح زمینی مانند فتوسنتز، تنفس، تبخیر توسط دمای هوا تنظیم می‌شوند. در این راستا آگاهی از تغییرات مکانی دمای هوا در مقیاس‌های وسیع جهت انجام مطالعات و بررسی‌های اقلیمی، هواشناسی، هیدرولوژ یکی لازم به‌نظر می‌رسد. از جمله روش‌های مرسوم جهت بررسی تغییرات مکانی دمای هوا، استفاده از روش‌های رگرسیون و درون‌یابی (از جمله کریجینگ) است. بررسی نتایج حاصل از روش‌های بیان شده حاکی از محدودیت روش‌های مورد استفاده در پایش تغییرات مکانی دمای هواست چراکه این روش‌ها بیشتر در مناطق با وسعت کم و هموار (عدم تغییرات ارتفاعی) از کارایی قابل‌توجهی برخوردار هستند واضح است که در بررسی دمای هوا در مقیاس‌های وسیع عوامل دیگری مانند پوشش‌گیاهی، تغییرات کاربری اراضی،... دخیل هستند. بنابراین تکنیک سنجش از دور به‌علت جمع آوری داده‌های مکانی در مقیاس وسیع، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چندساعت تا چند روز در طول ماه یا سال بروز بودن داده‌ها از توانایی چشمگیری در استفاده از اطلاعات حاصل جهت تفسیر پدیده‌های زمینی در مقیاس زمانی و مکانی بالا، برخوردار است یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی منتج از تصاویر ماهواره ای جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده[2] است (تورکر[3] و همکارن، ۱۹۸۷). در این راستا با توجه به اهمیت موضوع موردمطالعه هدف کلی پژوهش حاضر سنجش مولفه‌های موثر در تغییرات فضایی پوشش گیاهی در سطح شهر اصفهان از جمله، دمای سطح زمین، شاخص بارش استاندارد شده، ضریب آلبدو و تبخیر و تعرق ماهانه می‌باشد. تا بتوان با شناخت ارتباط بین مولفه‌ها راهکارهایی ارائه داد که به استراتژی موفق در زمینه پوشش گیاهی منطقه موردنظر منجر گردد.

1. Land Surface Temperature LST
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Tucker

در همین راستا با توجه به مباحث مطرح شده، در خصوص شهر اصفهان این سوال ایجاد می‌شود که سطح‌های گوناگون تغییرات پوشش گیاهی در شهر اصفهان درگرو چه مسائلی می‌باشد و هریک از این مولفه‌ها تا چه سطحی می‌توانند در افزایش – پوشش‌های گیاهی این شهر و حرکت به سوی فضایی سبز اثرگذار باشند.

با توجه به پژوهش‌های اشاره‌شده در زمینه‌ی تحقیق حاضر انجام‌گرفته می‌توان این‌گونه بیان نمود که نوآوری پژوهش حاضر در این مقوله می‌باشد که این پژوهش علاوه بر بررسی معیارهای موردسنجش قرارگرفته شده در پژوهش‌های پیشین، جهت پردازش پارامترها به صورت تلفیقی از روش‌های سنجش از دوری همچنین جهت شناسایی و کشف الگوها و روندهای موجود در داده‌های فضایی از یک روش تحلیل‌فضایی(لکه‌های داغ) بهره گرفته شد. که یکی از پرکاربردترین روش‌های آمار فضایی است که در ارتباط با خودهمبستگی فضایی طراحی شده است در حالی‌که در پژوهش‌های پیشین بیشتر تأکید بر یک روش‌های آماری و قابلیت‌های آن بوده است، در این پژوهش جهت تایید صحت معنی داری روندها از روش منکندال ارائه شده توسط علیجانی و همکاران استفاده گردید.

ذولفقاری و عبداللهی (۱۴۰۱)، در مقاله‌ای تحت عنوان تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ (منطقه مورد مطالعه: استان سیستان و بلوچستان) نتیجه گرفتند که رابطه بین شاخص TGSI و Albedo نسبت به رابطه بین دو شاخص NDVI و Albedo قوی‌تر و از ضریب همبستگی بالاتری در هر دو منطقه برخوردار می‌باشد که از دلایل عمدهٔ آن می‌توان به پراکندگی پوشش گیاهی در مناطق خشک اشاره نمود. رابطه شاخص TGSI با Albedo خصوصیات فضایی مناطق عاری از پوشش گیاهی و همچنین مناطق با پوشش گیاهی خیلی کم را برای تعیین شدت بیابان‌زایی بهتر نشان می‌دهد.

داودی و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی بیلان رطوبتی خاک به روش تورنت وایت- ماتر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بهشت آباد) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین نفوذ سطحی (محدوده بین ۳۱ تا ۱۶ میلی‌متر) در محدوده خاک‌های با بافت لومی شنی و لومی رسی و در کاربری‌های اراضی کشاورزی و مراتع با پوشش خوب و متوسط اتفاق افتاده است. از نظر توزیع مکانی، کاربری‌های کشاورزی، مراتع خوب و متوسط دارای تبخیروتعرق واقعی بیشتری دارند که این مناطق، غالباً منطبق بر نقاطی است که بیشترین شاخص سطح برگ را دارند.

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، در مقاله‌ای تحت عنوان مدلسازیِ فضایی - زمانیِ آلبدو در گستره ایران زمین نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار آلبدو در پهنه ایران در فصل زمستان به مقدار ۰/۲۶ واحد و حداقل مقدار بازتابش در فصل بهار با ۰/۲۳ واحد به ثبت رسیده است. در مجموع با توجه به عوامل مورد استفاده، می‌توان گفت که مناطق غرب و مرکز کشور دارای بیشترین؛ و مناطق شمال و شمالغرب کشور دارای کمترین آلبدو هستند.

برخوردی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی تهیه مدل توزیعی بیلان ماهانه آب خاک به روش تورنت وایت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز یزد اردکان) را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از نقشه‌های توزیعی این امکان را به ما می‌دهد که در هر ماه در چه مناطقی رواناب اضافی و یا کمبود رطوبت داریم که امکان مدیریت بهتر آن را فراهم خواهد آورد.

ادب و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان ارتباط پوشش گیاهی با دما و آلبدوی سطحی در دورهٔ گرم سال با استفاده از داده‌های مودیس در شمال ایران نتیجه گرفتند که پوشش گیاهی عامل عمدهٔ نقل‌وانتقال انرژی بین زیست‌کره و جو محسوب می‌شود که آثار متفاوتی بر عناصر هواشناختی مناطق پیرامون خود دارد همچنین به این نتیجه دست

یافته‌اند که دمای سطحی و آلبدوی سطحی تحت تأثیر مقادیر پوشش گیاهی است.

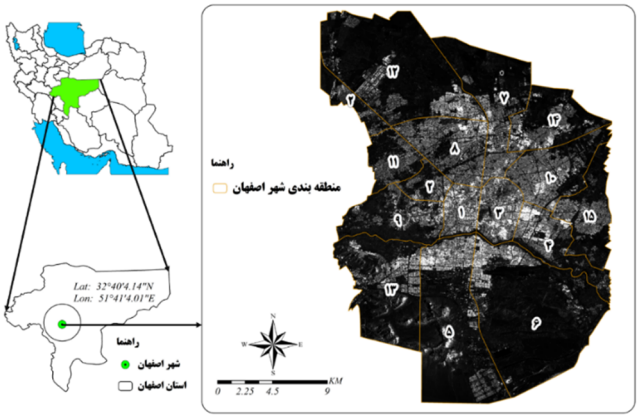
در تحقیق دیگری طبری و همکاران (۱۳۹۱)، روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ۲۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در غرب کشور را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع از روندهای افزایشی و کاهشی برخوردار بوده که در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها روند ET0 در مقیاس سالانه افزایشی بوده و همچنین روندهای افزایشی بیشتر در فصول زمستان و تابستان اتفاق افتاده است.

مرلین[1] و همکاران (۲۰۱۰)، طی تحقیقی در استرالیا روش تجربی را برای افزایش توان تفکیک زمینی دمای سطح زمین در تصاویر ASTER ارائه نمودند. در این روش رابطه تجربی بین دمای سطح و جزء پوشش گیاهی در دو کشت آبی که گیاهان آن مسن بودند تولید شده است. آگام و همکاران (2009) کوستاس و همکاران (2012)، در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های گیاهی، اثرات زیانبار تغییرات پوشش و کاربری سطح زمین بر روی دمای سطح زمین از سه تصویر سنجنده TM و ETM+ بررسی گردید. برای این منظور جیانگ و همکاران شاخص پوشش گیاهی- دما TVXرا از تصاویر استخراج نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری زمین یک عامل مهم برای افزایش دمای سطح زمین است. همچنین نتایج این بررسی نشان‌دهنده درجه حرارت بالا در مناطق با پوشش گیاهی پراکنده و درجه حرارت پایین در مناطق با پوشش گیاهی متراکم بود.

روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه: شهر اصفهان دارای دو محور طبیعی و فرهنگی است که اساس استخوان بندی شهر را تشکیل می‌دهد. زاینده‌رود در جهت غربی - شرقی به عنوان محور طبیعی و چهارباغ به عنوان یک محور فرهنگی، که جهتی شمالی - جنوبی دارد. این شهر از جنوب به کوه صفه و از شرق به منقطه بیابانی منتهی می‌شود. در حالی که کاربری مسکونی در بیشتر بخش میانی شهر غالب است. بزرگترین پارک ها و مناطق تفریحی در امتداد رودخانه زاینده رود قرار دارند. با توجه به اینکه از هسته مرکزی این شهر رودخانه زاینده رود عبور می‌کند و بر روی زاینده رود چندین پل تاریخی(سی و سه پل، پل خواجو) بر جا مانده است. این پل ها هر کدام جذبه گردشگری خاصی پیدا کرده‌اند و تقاضای فزاینده سکونت و فعالیت در هسته مرکزی به دلیل قرار گیری مراکز باستانی و تفریحی (میدان نقش جهان، کاخ عالی قاپو) و جذب زیاد گردشگر در طول روز و شب بسیار بالاست. در حاشیه زاینده رود بیشه‌ها و مراتع به صورت نوار باریکی امتداد دارد و درختان به صورت انبوه و بیشه‌ای کاشته شده‌اند. استفاده از منابع و اراضی صنعتی در جنوب غالب است. خاک قسمت جنوبی بیشتر شور و قلیایی بوده و در نتیجه‌ی تبخیر، غالباً سطح اراضی بخش جنوبی با قشر سفیدی از نمک و مواد حلال در آب، پوشیده شده است و این مساله باعث کمبود پوشش گیاهی و یا تنوع آن شده است. همچنین نیمه جنوبی شهر به دلیل وجود صنایع سنگین و معادن و غیره با معضلات زیست محیطی متعددی نظیر آلودگی هوا، افت سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرسطحی، فرسایش خاک و غیره روبرو می‌باشد. در قسمت جنوبی تمرکز فعالیت‌های اقتصادی متنوعی وجود دارد. در واقع بیشترین تراکم جمعیت بین مناطق شهر اصفهان متعلق به این قسمت از شهر است. و این بخش از شهر طی سالهای گذشته رشد نسبتا خوبی داشته است، که باعث بالا رفتن تراکم منطقه شده است. نیمه شمالی و غربی از لحاظ تراکم و تمرکز فضاهای سبز نسبت به فضاهای سبز سایر مناطق شهر در رده بالایی قرار دارد (منبع: مطالعات اسنادی نویسندگان،۱۴۰۰).

1. Merlin



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع:پردازش نویسندگان،حاصل از ت صاویر راداری ۱۰ متری؛Sentinel-1)

با استفاده از پردازش داده‌ها در محیط Google Earth Engine در قسمت اول، یک مجموعه داده مودیس با وضوح بالا برای هر سال طی یک دوره زمانی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. این تصاویر قدرت تفکیک یک کیلومتر دارند و بنابراین هرپیکسل از این تصاویر مساحتی در حدود ۱۰۰ هکتار زمین را شامل می‌شود. ارزیابی تبخیر و تعرق به کمک سنجنده مودیس و روش تورنت وایت با درنظرگرفتن ضریب رشد گیاهی محاسبه شد در ادامه همچنین در خصوص تبخیروتعرق که از الگوریتم ترنت وایت مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند و همچنین برای برآورد میزان دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره ترآ که دارای باند ترمال یا حرارتی می‌باشد استفاده گردید.

ضریب آلبیدو مولفهء فیزیکی بسیار مهمی در هواشناسی و اقلیم، مطالعات انتقال تابشی و محاسبه ذخیره تابشی زمین محسوب می شود و نقش بسیار مهمی در پژوهش های تغییر اقلیم و مدل های سطح زمین دارد. در این پژوهش برای بررسی ضریب آلبیدوی سطح زمین در آستانه‌های پوشش گیاهی مختلف مختلف در شهر اصفهان از تصاویر سنجنده مودیس در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد.

تحلیل لکه‌های داغ (Hotspot): برای آشکارسازی جزایر حرارتی سرد و گرم و تحلیل لکه‌های داغ از آمارهٔ گتیس- ارد جی (Getis– Ord Gi) استفاده می‌شود. در این آماره نمرهٔ z محاسبه شده نشان می‌دهد در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چهارچوب مفهومی این تحلیل این‌گونه عمل می‌کند که اگر عارضه‌ای مقدار زیاد داشته باشد، مهم است؛ ولی این بدان معنا نیست که یک لکهٔ داغ باشد. عارضه‌ای لکهٔ داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عوارض همسایهٔ آن ازنظر آماری معنادار باشند. امتیاز z برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی (Local sum) عارضه و همسایهٔ آن به‌طور نسبی با جمع کل عوارض مقایسه شود (علی‌آبادی و داداشی رودباری، ۱۳۹۴: ۹۲).

محاسبه دمای سلسیوس: برای محاسبه دمای سلسیوس باید دمای کلوین را به سلسیوس تبدیل شود در این پژوهش بدین منظور از رابطه (۳) استفاده گردید:

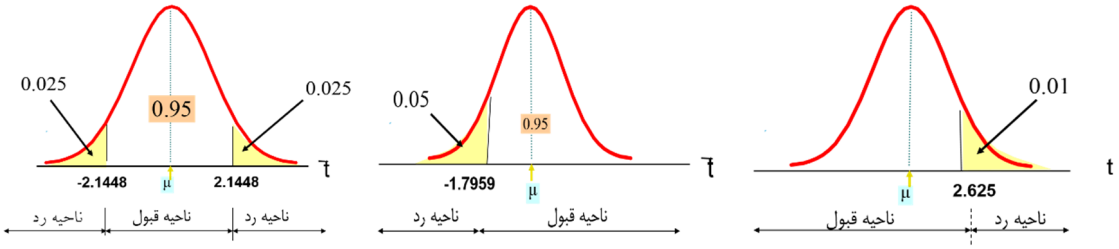
$$T_C = T_K - 273.15$$

محاسبه شاخص پوشش گیاهی N D V I: به‌منظور محاسبه شاخص پوشش گیاهی از باند قرمز برای محدوده مرئی و از باند مادون قرمز نزدیک با رابطه زیر وهمچنین از باند(۳) به عنوان باند قرمز و از باند (۴) به عنوان باند مادون قرمز نزدیک استفاده گردید (رابطه ۴).

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

برای نشان دادن معنی داری از معیار p-value کمتر از۰/۰۵ یا بیشتر از ۰/۰۵ یا مناطق دارای روند

استفاده شد. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آنها بر اساس مشاهدات و با بهره گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند با استفاده از معیار p-value جمله مهمترین روشهای آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های مشاهداتی بارندگی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. مقادیر p-value متغیر (SPI) برای سطح یک ماهه،سه ماهه،شش ماهه و دوازده ماهه در محیط نرم افزار اکسل برآورد گردید. تابع Z.TEST در اکسل مقدار احتمال p-value مربوط به آزمون فرض مقایسه میانگین یک نمونه را با یک آرایه از اعداد محاسبه می‌کند (فرزندی و همکاران،۱۳۹۳،جوادی و همکاران،۱۳۹۳).



شکل۲: قاعده تصمیم گیری Abbas F.M.Alkarkhi.,2021

شاخص استاندارد بارش (SPI) یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعهٔ خشکسالی به‌شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های موردمطالعه است (Bonaccorso,2003). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris et al,2004). این شاخص از طریق معادله زیر قابل‌محاسبه می‌باشد (رابطه ۵).

$$SPI = (Pi-P)/S$$

که در آن Pi : مقدار بارش در دوره مورد نظر. P: میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S: انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه شاخص بارش استاندارد شده انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار شاخص بارش استاندارد شده در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در جدول ذیل ارائه شده‌اند، تقسیم می‌شود:

جدول ۱: طبقه بندی دوره خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده

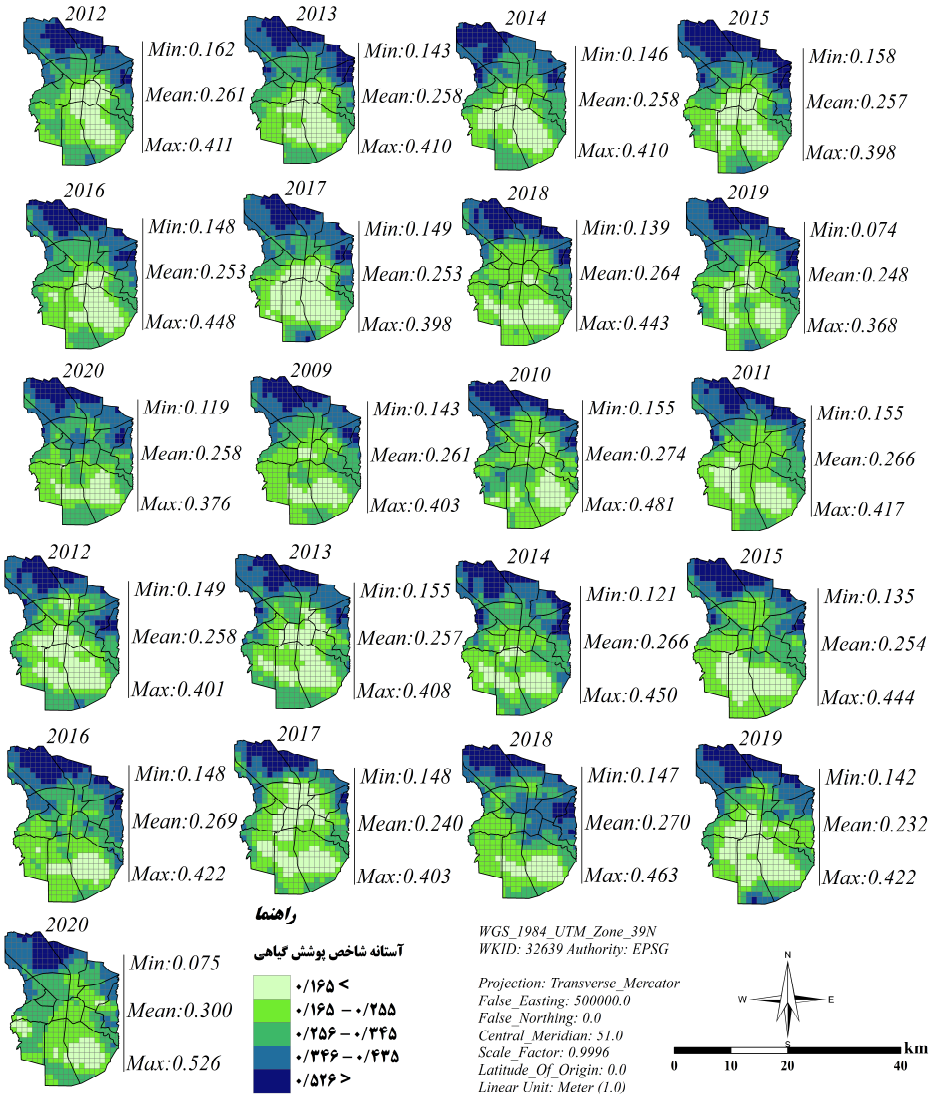
شدت خشکسالی	SPI
خشکسالی حاد	$SPI \leq$ -۲
خشکسالی شدید	-۲$\leq SPI \leq$ -۱/۵
خشکسالی متوسط	-۱/۵$\leq SPI \leq$ -۱
نرمال	-۱$\leq SPI \leq$ ۱
ترسالی متوسط	۱$\leq SPI \leq$ ۱/۵
ترسالی شدید	۱/۵$\leq SPI \leq$ ۲

Bouaziz, M., Medhioub, E., & Csaplovisc, E. (2021)

یافته‌های تحقیق

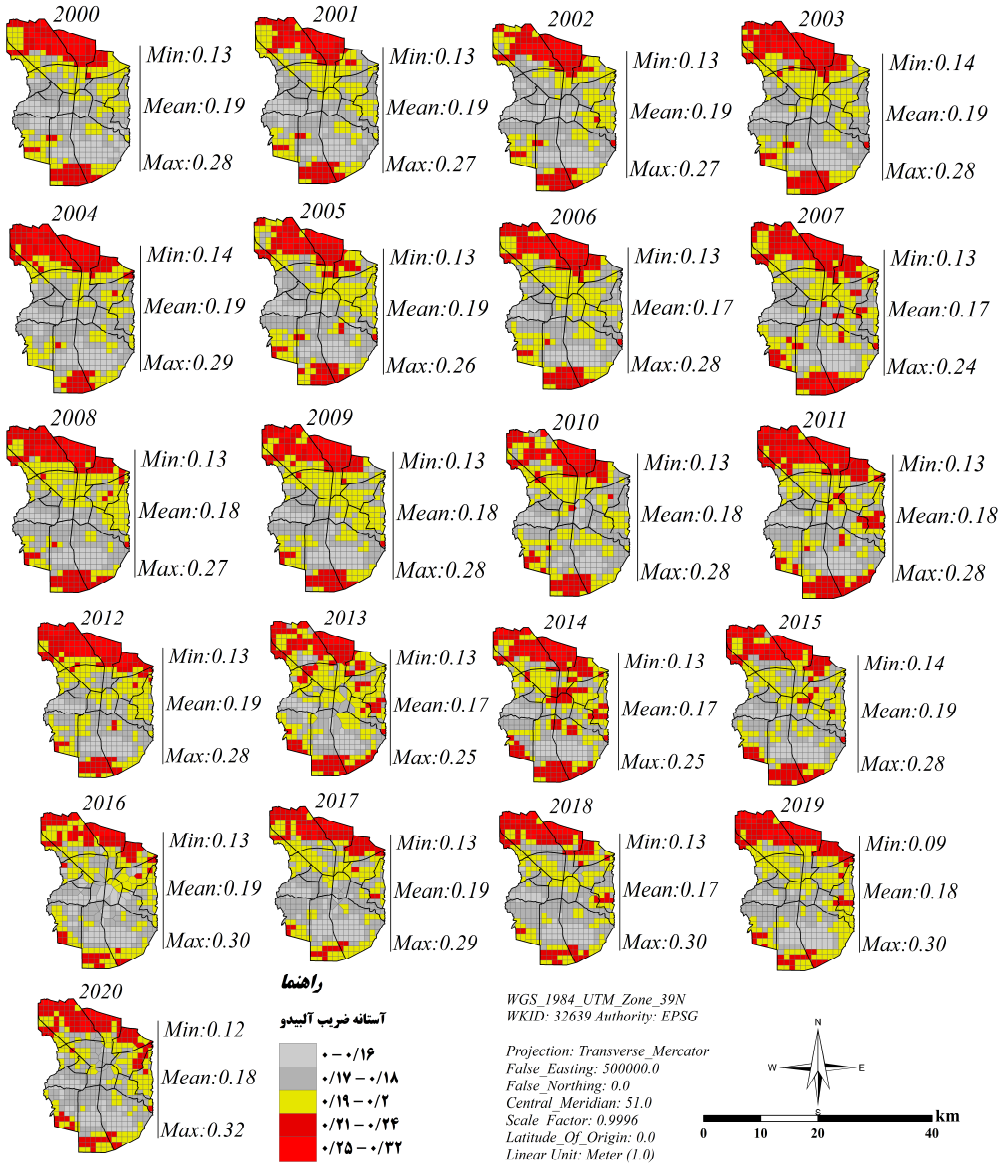
باتوجه به خروجی حاصل از مقایسه دو دوره زمانی چنین استنباط می‌شود که بیشترین درصد تبخیر،تعرق در سمت جنوبی و شمالی و شرقی شهر اصفهان است. هر قدر رطوبت نسبی جو بیشتر باشد، میزان تعرق کمتر خواهد بود زیرا پتانسیل آب جو دراین حالت افزایش می‌یابد اگر رطوبت نسبی جو به

حالت اشباع برسد، تعرق متوقف می‌شود. رطوبت نسبی جوبه شدت از دمای محیط متاثر است دما علاوه براثری که روی رطوبت نسبی دارد در شرایط طبیعی افزایش دما تا ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش شدت تعرق شده واز این درجه به بعد باعث کاهش تعرق می‌شود باد باعث تجدید هوا در مجاورت بافت‌ها شده وشدت تعرق را افزایش می‌دهدولی شدید بودن آن باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌شود از طرف دیگر باد با به حرکت در آوردن برگها ، خروج بخار آب از برگ‌ها را آسان می‌کند شدت تعریق در منطقه اصفهان تابع اختلاف فشار بخار، مقاومت در برابر جریان آب، و توانائی گیاه و خاک از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد تعرق عمدتاً نیروی محرکه جهت به جریان انداختن آب جذب شده در گیاه را، علی‌رغم وجود نیروی ثقل و مقاومت‌های اصطکاکی موجود در مسیر آب، تأمین می‌کند سرعت جذب آب عمدتاً توسط شدت تعرق تعیین می‌شود فشار ریشه و جذب فعال آب نقش ناچیزی در جذب آب ایفاء می‌نمایند و وقتی این مکانیزم‌ها مشخص می‌شوند که تعرق کم باشد و یا متوقف شده است که این عوامل در مناطق شمال و شمال شرقی و جنوبی شهر اصفهان نسبت به سایر نقاط تاثیر بیشتری گذاشته اند.



شکل۳: نقشه آستانه شاخص پوشش گیاهی (منبع:پردازش نویسندگان،حاصل از تصاویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس)

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، تغییرات ناحیه NDVI بر اساس ۵ کلاس نشان داده شده است. هر چه سطح NDVI بالاتر باشد، فضای شهری سبزتر بوده است. جالب توجه است که بیشترین منطقه تجربه شده توسط کلاس های ۳، ۴ و ۵ متعلق به سال ۲۰۲۰ است که به‌ترتیب شامل ۶۸,۲۴ درصد از طبقه سوم، ۱۴,۳۸ درصد از طبقه چهارم و ۴,۰۸ درصد از کلاس پنجم است. در واقع سال ۲۰۲۰ منطقه بزرگتری از شهر را با مقادیر بالای NDVIنیز تجربه کرد. به طور کلی برای تمام سال های مورد مطالعه، حداکثر NDVI متعلق به شمال اصفهان است. با توجه به تغییرات مکانی-زمانی NDVI و ارتباط آن با میزان آلبیدو و رطوبت خاک، مشخص است که نوار شمالی اصفهان دارای بیشترین میزان NDVI است.

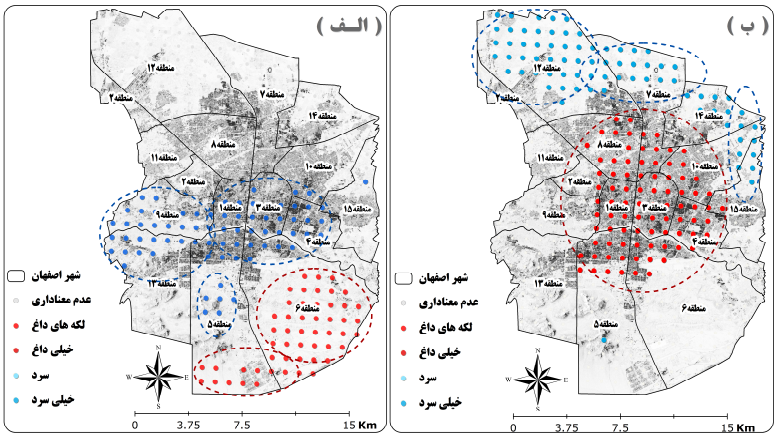


شکل۴: نقشه آستانه ضریب آلبدو سطح زمین

(منبع:پردازش نویسندگان،حاصل از تصاویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس)

نتایج نشان داد که بین شاخص نرمال شده تفاوت پوشش‌گیاهی و آلبیدو در شهر اصفهان همبستگی معناداری وجود ندارد. همچنین بیشترین ضریب آلبیدو مربوط به پوشش سبز با میانگین ۰/۳۲ و کمترین مقدار مربوط

به اراضی بدون پوشش گیاهی با میانگین ۰/۱۶ است و به ترتیب از بیشترین تا کمترین ضریب آلبیدو برای پوشش سبز، مناطق مسکونی، اراضی بایر، و کشاورزی است بررسی روند تغییرات آلبیدو در سال‌های مورد مطالعه در هر کاربری نشان داد که آلبیدو روند ثابتی داشته است. نتایج تحقیق در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای سطحی و آلبدوی سطحی تحت تأثیر مقادیر پوشش گیاهی است.. دامنه‌های شمالی شهر اصفهان با بیشترین مقدار سبزینگی (۰/۵۶) از حداقل درجهٔ حرارت (۱۸ درجهٔ سلسیوس) و آلبدوی سطحی (۲۴ درصد) مشخص است. همچنین، نواحی جنوبی شهر و قسمتی از مناطق مرکزی با کمترین مقدار سبزینگی (۰/۱۶) از حداکثر درجهٔ حرارت به مقدار ۲۶ درجهٔ سلسیوس و کمترین مقدار آلبدوی سطحی (۰/۱۶ درصد) مشخص است.



شکل ۴: نقشه لکه‌های داغ و سرد دمایی در طول روز(الف) و شب(ب)

(منبع:پردازش نویسندگان،حاصل از تصاویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس)

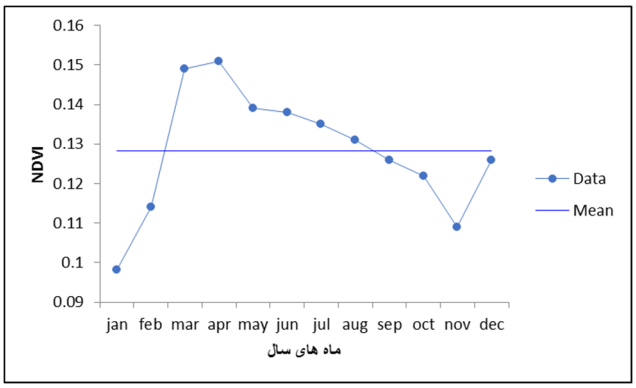
نتایج نشان داد که خوشه‌بندی در دمای سطح زمین در طول دوره زمانی ۲۰ ساله با سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد وجود داشته‌است. رابطه میان جزایر حرارتی با کاربری‌های عاری از پوشش گیاهی مستقیم و افزایشی، و ارتباط آن با کاربری‌های پوشش گیاهی معکوس است. مناطق ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۰ بیشترین میزان دما و مناطق ۷، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ کمترین میزان دما را داشته‌اند. همچنین نتایج حاصل از لکه‌های داغ و سرد نشان داد که لکه‌های سرد در هنگام شب در مناطق مرکزی و لکه‌های داغ در مناطق جنوب شرقی قرار دارند. همچنین لکه‌های داغ در هنگام روز در مناطق جنوبی و لکه‌های سرد در مناطق مرکزی و نیمه شرقی شهر متمرکز شده‌اند.

جدول ۲: مقادیر SPI در طول بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ و ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴

نام ایستگاه	شاخص	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
اصفهان	یک ماهه	۰,۲	۰,۴۶	۰,۴۹	۰,۷	۰,۹۱	۱,۲۹	۱,۳۵	۱,۰۸	۰,۸۲	۰,۴۹	۰,۳۷	۰,۱۶
	سه ماهه	۰,۶۴	۰,۵۱	۰,۳۹	۰,۵۶	۰,۷۲	۱	۱,۲	۱,۲۴	۱,۰۹	۰,۸۱	۰,۵۷	۰,۳۵
	شش ماهه	۰,۶۳	۰,۷۴	۰,۸۲	۰,۷۲	۰,۶۵	۰,۷۲	۰,۹۱	۱,۰۱	۱,۰۵	۱,۰۱	۰,۹۳	۰,۷۵
	دوازده ماهه	۰,۷۵	۰,۷۹	۰,۷۹	۰,۷۸	۰,۸۵	۱,۰۳	۱,۱۵	۱,۱۶	۱,۰۹	۰,۹۴	۰,۸۱	۰,۷۴
اصفهان	۱	-۰,۸۳	-۱,۱۷	-۰,۳۷	-۰,۱۳	۰,۲۶	-۰,۴۱	۰,۳۶	-۰,۹۵	-۱,۰۲	۰,۴۱	-۰,۱۳	-۱,۵۱
	۳	-۰,۶۸	-۰,۸۴	-۱,۰۹	-۰,۷۳	-۰,۱۵	-۰,۱۷	-۰,۰۱	-۰,۶۷	-۱,۱۳	-۰,۷۷	-۰,۴۱	-۰,۲۷
	۶	-۰,۸۱	-۱,۴۶	-۱,۰۴	-۰,۹	-۰,۴۲	-۰,۷۴	-۰,۵۸	-۰,۳۷	-۰,۷۱	-۰,۵۹	-۰,۵۹	-۰,۷۵
	۱۲	۰,۱۹	-۰,۱۹	-۰,۳۳	-۰,۸۹	-۰,۸۹	-۱,۰۷	-۱,۰۶	-۱,۱۱	-۰,۹	-۰,۷۴	-۰,۵۱	-۰,۸

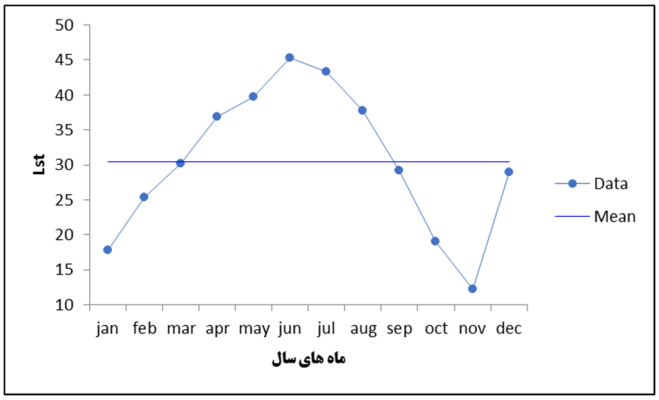
جدول ۳: .مقادیر مولفه‌ها در طول بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

ماه‌های سال	میانگین پوشش گیاهی	میانگین دما	میانگین ضریب آلبدو
ژانویه	۰,۰۹۹۲	۱۱,۱۶	۰,۱۸۹
فوریه	۰,۰۹۸۲	۱۷,۸۰	۰,۱۸۸
مارس	۰,۱۱۴	۲۵,۳۳	۰,۱۸۷
آوریل	۰,۱۴۹	۳۰,۱۸	۰,۱۸۲
می	۰,۱۵۱	۳۶,۸۹	۰,۱۸۴
ژوئن	۰,۱۳۹	۳۹,۷۱	۰,۱۹۲
جولای	۰,۱۳۸	۴۵,۳۲	۰,۱۹۵
آگوست	۰,۱۳۵	۴۳,۲۹	۰,۱۹۱
سپتامبر	۰,۱۳۱	۳۷,۷۲	۰,۱۹۱
اکتبر	۰,۱۲۶	۲۹,۲۶	۰,۱۹۰
نوامبر	۰,۱۲۲	۱۹,۰۹	۰,۱۸۳
دسامبر	۰,۱۰۹	۱۲,۱۹	۰,۱۸۳
میانگین کلی	۰,۱۲۶	۲۸,۹۷	۰,۱۸۸
مقدار P-Value		۳,۲۹E-۱۴	



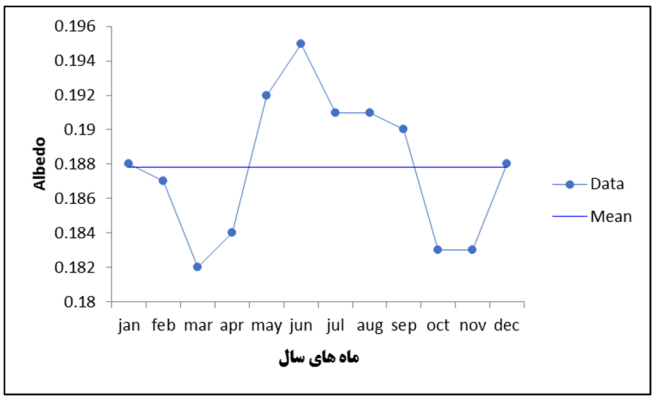
شکل ۵: نمودار درصد تغییرات نسبت به میانگین ماهانه پوشش گیاهی درطول دوره زمانی ۲۰ ساله

بر طبق جدول ۴ و شکل ۵ چنین نتیجه میگیریم که در شاخص پوشش گیاهی ۳۰ درصد دادهای ما در محدوده بین ۰ تا ۰/۱۱۶، ۶۰ درصد مقادیر ما در محدوده ۰/۱۱۶ تا ۰/۱۳۳، ۸۰ درصد مقادیر ما در محدوده بین۰/۱۱۳ تا ۰/۱۴۱ و ۹۰ درصد داده‌های ما در محدوده بین ۰/۱۴۱ تا۰/۱۵۰ می‌باشند.



شکل ۶: نمودار درصد تغییرات نسبت به میانگین ماهانه دمای سطح

زمین درطول دوره زمانی ۲۰ ساله

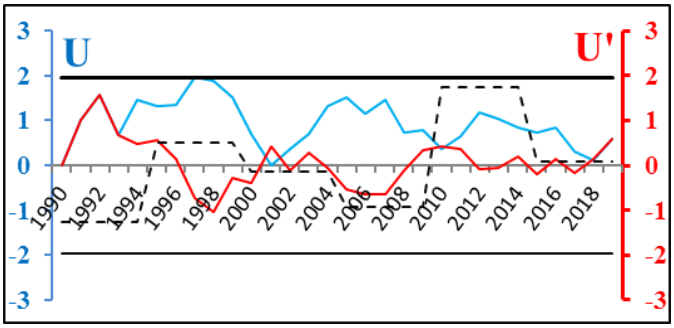


شکل۷: نمودار درصد تغییرات نسبت به میانگین ماهانه ضریب آلبدو درطول دوره زمانی ۲۰ ساله

بر طبق جدول ۳ و شکل ۶ چنین نتیجه می‌گیریم که در شاخص دمای سطح زمین ۳۰ درصد دادهای ما در محدوده بین ۰ تا ۲۰/۳۳ درجه سانتی‌گراد، ۶۰ درصد مقادیر ما در محدوده ۲۰/۳۸ تا ۳۲/۸۶، ۸۰ درصد مقادیر ما در محدوده ۳۲/۸۶ تا ۴۰/۴۲ و ۹۰ درصد داده‌های ما در محدوده بین ۴۰/۴۲ تا ۴۴/۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند.

بر طبق جدول ۳ و شکل ۷ چنین نتیجه می‌گیریم که در شاخص ضریب آلبدو ۳۰ درصد دادهای ما در محدوده بین ۰ تا ۰/۱۸۵، ۶۰ درصد مقادیر ما در محدوده ۰/۱۸۵ تا ۰/۱۸۹، ۸۰ درصد مقادیر ما در محدوده بین ۰/۱۸۹ تا ۰/۱۹۱ و ۹۰ درصد داده‌های ما در محدوده بین ۰/۱۹۱ تا ۰/۱۹۴ قراردارند. به‌طورکلی چنین نتیجه‌گیری می‌کنیم که به نسبت افزایش مقادیر دما مقادیر پوشش گیاهی و ضریب البدو تغییر پذیری یکسانی را در طول دوره زمانی ۲۰ ساله تجربه کردند که این تغییرات بیشتر در نواحی دارای تراکم پوشش گیاهی انبوه (نواحی شمالی و قسمتی از نواحی شرقی و جنوبی شهر) نمایان شده است و چون مقدار P-Value ما کمتر از مقدار ۰/۰۵ می‌باشد در نتیجه فرض برابر بودن میانگین مقادیر را رد میکنیم همچنین نتیجه می‌گیریم که بین مقادیر شاخص وضعیت دما و شاخص وضعیت گیاهی اختلاف وجود دارد و داده‌های ما در سطح ۹۵ درصد با هم تفاوت معنی‌داری دارند. به طور کلی تغییرات فضایی مولفه های طبیعی در سطح شهر اصفهان همسو با تغییرات مولفه‌های اقلیمی می‌باشند.

بر حسب جدول ۲ می‌توان چنین نتیجه گرفت درجات خفیف تا بسیار شدید خشکسالی دراز مدت، بسیاری از مناطق شهر و اطراف شهر را فرا خواهد گرفت و شدت تغییرات و فراوانی خشکسالی در بیشتر ماه‌های سال که از آب و هوای خشک و نیمه خشک برخوردار است در مناطق مرکزی شمالی و شرقی و جنوبی شهر بیشتر رخ خواهد داد. به عبارت دیگر، مناطق مختلف شهر استعداد متفاوتی نسبت به خشکسالی دارند که علت آن به دلیل تنوع گونه‌های گیاهی می‌باشد.



شکل۸: بررسی روند و نقاط جهش سری زمانی بارندگی در ایستگاه اصفهان

بر حسب آمار ایستگاه سینوپتیکی اصفهان می‌توان چنین نتیجه گرفت که یک جهش با حاکمیت روند منفی در پارامتر بارندگی رخ داده است به عبارتی روند کاهشی دارد. که این روند با تغییرات شیب نسبتا زیاد حاکی از کاهش میزان بارندگی در منطقه مورد نظر است. به نوعی می‌توان نوع تغییر اقلیم نسبی را مشاهده کرد. این تغییر اقلیم نسبی در منطقه را ما با بارش نزولات جوی ناگهانی یه صورت رگباری در اصفهان شاهد بوده‌ایم.

در ادامه بر طبق جدول ۴ در ایستگاه اصفهان بیشینه میانگین ماهانه بارندگی به ترتیب مربوط به ماه‌های مارس،اکتبر، آوریل، نوامبر و ژانویه با مقدار ۴۰/۹۰ میلی‌متر، ۴۰/۳۰ میلی‌متر، ۴۰/۷۰ میلی‌متر، ۴۸/۹۰ میلی‌متر، ۳۰/۲۰ میلی‌متر بیشینه میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل به ترتیب مربوط به ماههای ژوئن،جولای،آگوست،می،سپتامبر با میانگین ۱۷۶/۱۶ میلی‌متر، ۲۱۴ میلی‌متر،۲۳۷/۳ میلی‌متر، ۱۱۵/۹ میلی‌متر، ۱۳۵/۴۶ محاسبه شده است. این نمودار سه نوع مختلف از تغییرات را نشان دهند:

تغییرات ناگهانی: اگر محل برخورد دو منحنی U′-U در داخل محدوده بحرانی ۱,۹۶ (مثبت- منفی) باشد و منحنی U از محدود بحرانی خارج شود و دوباره به داخل محدوده برگردد، تغییرات از نوع ناگهانی خواهد بود.

روند: اگر منحنی U پس از خروج از محدوده معنی داری دوباره به داخل محدوده برنگردد روند معنی دار خواهد بود. به طرف مقادیر مثبت روند مثبت و به طرف مقادیر منفی روند منفی خواهد بود.

بدون تغییر: اگر دو منحنی ذکر شده در داخل محدوده بحرانی با هم برخورد کنند و از محدوده بحرانی خارج نشوند و یا هیچ تلاقی نباشد، هیچ گونه تغییر و روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در جمع بندی کلی آنالیز پارامترهای منطقه می‌توان اذعان نمود که اقلیم منطقه روند افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند. با توجه به نتایج پارامتر های مورد سنجش واقع شده میتوان نتیجه گرفت که تنش‌های گیاهی رخ داده بیشتر در ماه‌های شهریور، تیر،مرداد،اردیبهشت و مهر ماه رخ نمون کرده است.. همچنین با توجه به همین موضوع می‌توان گفت که با افزایش دما از مقدار رطوبت نسبی هوا کاسته شده و بنابراین، مسلم است که با کاهش رطوبت نسبی از مقدار بارش‌ها نیز تا حدودی کاسته می‌شود، این موضوع را به‌وضوح در ماه‌های سرد سال می‌توان دید. همچنین با توجه به کوهستانی بودن منطقه و افزایش دما تا حدودی نوع بارش نیز تغییر خواهد کرد. به‌طورکلی در ایستگاه موردمطالعه ۸۵ درصد روند مشاهده شد. ازآنجاکه تغییر اقلیم پدیده‌ای بسیار پیچیده است و نیاز به مطالعات جامعی دارد.

جدول ۴: معادلات انجام شده جهت برآورد تبخیر و تعرق سطح زمین

تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تجربی ترنت وایت						
ماه‌ها	متوسط دما	حذف دماهای	Im	مجموع Im	ضریب ثابت	a	برآورد تبخیر و تعرق

		مجموع بارش	صفر و زیرصفر		I	Nm		پتانسیل (mm)
ژانویه	۸,۱۰	۳۰,۲۰	۸,۱۰	۲,۰۸	۹۳,۷۷	۰,۸۰	۲,۰۵	۹,۴۸
فوریه	۹,۲۰	۱۸,۴۰	۹,۲۰	۲,۵۲	۹۳,۷۷	۰,۸۱	۲,۰۵	۱۲,۴۶
مارس	۱۱,۲۰	۴۰,۹۰	۱۱,۲۰	۳,۳۹	۹۳,۷۷	۱,۰۲	۲,۰۵	۲۳,۴۹
آوریل	۱۶,۵۰	۴۰,۷۰	۱۶,۵۰	۶,۱۰	۹۳,۷۷	۱,۱۳	۲,۰۵	۵۷,۵۵
مه	۲۱,۸۰	۲۵,۰۰	۲۱,۸۰	۹,۲۹	۹۳,۷۷	۱,۲۸	۲,۰۵	۱۱۵,۳۷
ژوئن	۲۶,۷۰	۱۶,۱۰	۲۶,۷۰	۱۲,۶۳	۹۳,۷۷	۱,۲۹	۲,۰۵	۱۷۶,۱۶
ژولای	۲۹,۲۰	۲۱,۶۰	۲۹,۲۰	۱۴,۴۷	۹۳,۷۷	۱,۳۱	۲,۰۵	۲۱۴,۹۱
آگوست	۲۹,۹۰	۲۷,۱۰	۲۹,۹۰	۱۴,۹۹	۹۳,۷۷	۱,۲۱	۲,۰۵	۲۰۸,۳۸
سپتامبر	۲۶,۱۰	۳۰,۰۰	۲۶,۱۰	۱۲,۲۱	۹۳,۷۷	۱,۰۴	۲,۰۵	۱۳۵,۵۶
اکتبر	۲۰,۴۰	۴۰,۳۰	۲۰,۴۰	۸,۴۱	۹۳,۷۷	۰,۹۴	۲,۰۵	۷۳,۹۵
نوامبر	۱۴,۰۰	۴۸,۹۰	۱۴,۰۰	۴,۷۵	۹۳,۷۷	۰,۷۹	۲,۰۵	۲۸,۷۳
دسامبر	۱۰,۲۰	۳۱,۶۰	۱۰,۲۰	۲,۹۴	۹۳,۷۷	۰,۷۵	۲,۰۵	۱۴,۲۶
مجموع	۱۸,۶۱	۳۷۰,۸۰						۱۰۷۰,۳۱

با توجه به جدول ۴ در ماه ژانویه دما کمترین اثر مثبت را به مقدار ۸/۱۰ درجه سانتی‌گراد برای رشد پوشش گیاهی داشته است. در این ماه از سال نیاز حرارتی درختان برای رشد خیلی بیش از نیاز رطوبتی می‌باشد، زیرا در کشور ایران که اغلب بارش آن مربوط به فصل زمستان است نیاز رطوبتی درختان از ماه‌های قبل تأمین شده است. رطوبت حداکثر در درجه دوم اهمیت در برآورد NDVI در این ماه می باشد. اثر بارش هر چند مثبت اما اندک است که نشاندهنده نیاز کمتر پوشش جنگلی به عنصر بارش می باشد. در ماه‌های ژوئن،جولای و آگوست اثر دما به بیشترین مقدار تأثیر در برآورد NDVI داشته که این اثر مثبت بوده است. در این ماه از سال دمای حداکثر اثر مثبت بر رشد گیاه دارد، درصورتیکه طبق معمول چون شهر اصفهان در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته باید تا آستانه مشخصی دما بر رشد اثر مثبت داشته باشد. اثر بارش بر رشد در مجموع مثبت است. با شروع فصل تابستان نیاز آبی گیاه به بیش از ۱/۲۱ می‌رسد که حاکی از نیاز بیش از حد به بارش همراه با افزایش دما می‌باشد. به‌طور کلی اثر دمایی در این فصل منفی است، چون بیش از نیاز گیاه در طبیعت فراهم است. با کاهش دما در تابستان و افزایش رطوبت نسبی آستانه تحمل پوشش گیاهی بالاتر رفته و رشد افزایش می یابد. لازم به ذکر است رطوبت نسبی موجود در هوا در تلطیف و سبزینگی برگ تأثیر بسزایی دارد. در ماه اکتبر و نوامبر با کاهش دما نیاز آبی گیاه تا حدی کاهش می یابد و از اثر بارش کاسته می شود، اما همچنان بیشترین اثر را در سبزینگی دارد. اثر رطوبت نسبی میانگین در درجه دوم اهمیت قرار دارد. در این ماه از نقش منفی دما تا حدی کاسته شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان چنین نتیجه گرفت که دمای سطح زمین نسبت به دوره‌های پیشین افزایش یافته که علت آن می‌تواند تغییرات حاصل از کاربری و پوشش‌گیاهی یا تابش‌های جوی و همچنین رخ داد خشکسالی دوره‌ای در منطقه و عدم ریزش‌های جوی کافی دانست. کاربری پوشش گیاهی در طول دوره زمانی ۲۰ ساله بیشتر در مناطق ۷،۹ و ۱۲ متمرکز شده است. نتایج حاکی از کاهش پوشش گیاهی در کلیه ی مناطق شهر اصفهان می‌باشد که این کاهش در مناطق ۶،۹،۱۳،۱۴ و ۱۵ جهات جغرافیایی شمال و شرق مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد، بیشتر کاربری‌های منطقه دارای کاربری کشاورزی بوده و چون برای تامین آب موجود گیاهان کاشت شده از آب‌های ذخیره شده زیرزمینی استفاده می‌شود کم کم از حجم این آب‌ها کاسته شده و سطح

زمین دچار اختلال می‌شود و در نهایت باعث گرم شدن دمای سطح شهر اصفهان می‌شود. همچنین نتایج این تحقیق مشخص کرد که پارامتر پوشش گیاهی همسو و دمای سطحی زمین در جهت مخالف با تبخیر و تعرق تغییر می‌کند. به‌طوری‌که در مناطق با پوشش گیاهی خوب و متراکم و دمای سطح زمین کم، تبخیر وتعرق بیشتر از مناطق دیگر است. در جهت مخالف بودن دما با NDVI درست شبیه انتخاب پیکسل سرد و گرم می‌باشد در آن موقع نیز برای انتخاب پیکسل سرد از پیکسل‌هایی با دمای کم و NDVI زیادتر استفاده شد. بنابراین باید در انتخاب پیکسل سرد و گرم دقت بیشتری ارائه کرد که تغییر در پیکسل سرد و گرم بر نتایج مدل موثر خواهد بود بخصوص به دلیل اینکه هر پیکسل تصاویر مودیس مساحتی در حدود 100 هکتار را شامل می‌شود ممکن است قسمتی از پیکسل سرد مناطق بدون پوشش گیاهی و با دمای زیاد و پیکسل گرم مناطقی با پوشش گیاهی مناسبتر را شامل شود که این سبب می‌شود تبخیر و تعرق بیشتر یا کمتر برآورد شود همچنین این تحقیق، سال‌هایی که تبخیر و تعرق و نیازآبی در مقایسه با سایر سال‌ها برای یک روز خاص بیشتر بوده و سال‌هایی که گیاهان به دلایل مختلف دچار تنش ناشی از کمبود تبخیر و تعرق شده‌اند را مشخص نمود دلایل پایین بودن دما در اراضی پوشش‌گیاهی منطقه می‌تواند عوامل همچون (میزان رطوبت در این اراضی بدلیل آبیاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر است، فعالیت‌های بیولوژیکی پوشش‌گیاهی در این اراضی باعث دمای پائین آن شده‌اند، رفتار طیفی پوشش گیاهی در مقایسه با خاک لخت کاملا متفاوت است) سطح خاک منطقه هر چقدر خشک باشد زودتر از یک خاک مرطوب گرم می‌شود بدلیل اینکه گرمای ویژه آب بیشتر از خاک است در ضمن باتوجه به اینکه ظرفیت نگهداری رطوبت بین عناصر خاک باهم متفاوت است بنابراین دمای خاک در سطح هر یک از آنها موثر است.

آمار بدست امده نشان داد که در اصفهان تغییرات همبستگی فضایی دمای سطح زمین با سطح اطمینان بالا وجود دارد و پراکندگی در سطح اطمینان ۹۹٪ حالت خوشه‌ای قرار گرفته‌است. براساس الگوی لکه‌های داغ، مناطق ۵ و ۶ که در جنوب اصفهان قرار گرفته‌اند نقش زیادی در شکل‌گیری و ایجاد نواحی جزایر حرارتی گرمایی با خوشه‌های گرم ۹۹٪ داشته‌اند. در حالی که نواحی خودهمبستگی فضایی منفی (نواحی خوشه‌بندی سرد ۹۹٪) در مرکز شهر اصفهان، یعنی مناطق ۱ و ۳ به‌دلیل وجود کاربری آب (سی‌وسه پل)، فاقد الگوی معناداری به‌لحاظ آماری بوده‌اند. نتایج نشان داد که مناطق دارای پوشش گیاهی و کاربری آب اثر جزیره گرمایی را کاهش می‌دهد و محدوده‌هایی که مناطق ساخته‌شده در آنها گسترش یافته است، اثر جزایر گرمایی را افزایش می‌دهند. بر این مبنا، در برنامه‌ریزی و توسعه شهر اصفهان، باید به فضای سبز شهری توجه بیشتری کرد. مطالعات آمار فضایی می‌تواند الگوی مناسب و جدیدی برای استفاده مسئولان، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری باشد.

نتایج این تحقیق در خصوص ارتباط پوشش گیاهی با دما و آلبدوی سطحی با نتایج تحقیقات ادب و همکاران (۱۳۹۳)، داودی وهمکاران (۱۳۹۷) مبنی بر از نظر توزیع مکانی کاربری‌ها مختلف، مرلین و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر روش رابطه تجربی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی همخوانی دارد. در همین راستا نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در خصوص تغییرات زمانی مقادیر ضریب آلبدو همخوانی دارد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق طبری و همکاران (۱۳۹۱)، در مورد تغییرات فصلی تبخیر و تعرق، آگام و همکاران، (۲۰۰۹) کوستاس و همکاران (۲۰۱۲) در مورد اثرات تغییرات کاربری اراضی بر روی مولفه‌های اقلیمی همخوانی دارد.

در رویکرد کلی، این مطالعه اهمیت فضاهای سبز شهری را به منظور کاهش تأثیر جزیره گرمایی در شهر اصفهان برجسته می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی، مصرف آب و خاک مرطوب می‌تواند دمای سطح زمین را کاهش دهد و باید در برنامه ریزی و توسعه شهر اصفهان مورد توجه قرار

گیرد. علاوه بر این، این مطالعه نیاز به دقت بیشتر در انتخاب پیکسل‌های سرد و گرم هنگام استفاده از مدل‌ها را برجسته می‌کند، زیرا تغییر پیکسل‌های سرد و گرم می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد. علاوه بر این، در نظر گرفتن فعالیت‌های بیولوژیکی پوشش گیاهی، رطوبت خاک و گرمای ویژه آب هنگام ارزیابی دما و پوشش گیاهی مهم است.

منابع

۱. اکبری، الهه، ابراهیمی، مجید، نژادسلیمانی، حمید، فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۴). ارزیابی دمای سطح زمین در ارتباط با روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز طالقان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دورهٔ ۲۶، شمارهٔ ۴، ۱۵۱-۱۷۰.

۲. ادب، حامد، امیراحمدی، ابولقاسم، عتباتی، آزاده (۱۳۹۳). ارتباط پوشش گیاهی با دما و آلبدوی سطحی در دورهٔ گرم سال با استفاده از داده‌های مودیس در شمال ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۴)،۴۱۹-۴۳۴.

۳. برخورداری، جلال، وارتانیان، تراحل، خسروی، حسن (۱۳۹۴). تهیه مدل توزیعی بیلان ماهانه آب خاک به روش تورنت وایت –ماتر (مطالعه موردی:حوزه آبخیز یزد اردکان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۲(۳)،۴۶۶-۴۸۰.

۴. داودی، الهام، قاسمیه، هدی، عبدالهی، خدایار، بتلان، آکه (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی بیلان رطوبتی خاک به روش تورنت وایت- ماتر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بهشت‌آباد). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۱)، ۷۴-۹۲.

۵. ذوالفقاری، فرهاد، عبداللهی، وحیده (۱۴۰۱). تعیین شدت بیابان‌زایی براساس شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ (منطقه مورد مطالعه: استان سیستان و بلوچستان). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۳(۱)، ۱۰۸-۱۲۶.

۶. حجازی زاده زهرا، طولابی نژاد میثم، رحیمی علیرضا، بزمی نسرین (۱۳۹۶). بساک عاطفه. مدلسازی فضایی - زمانیِ آلبدو در گستره‌یِ ایران زمین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ، ۱۷ (۴۷) :۱۷-۱.

۷. جهانبخش، سعید، زاهدی، مجید و ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۹۰). محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم در محیط GIS RS، در بخش مرکزی منطقه مراغه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۸، صص ۱۹.

۸. علیزاده، امین (۱۳۸۵). رابطه آب و خاک و گیاه، دانشگاه امام رضا(ع). انتشارات آستان قدس رضوی۶. ۳۱۹ -۳۲۵.

۹. علیائی، محمدصادق (۱۳۹۸). بررسی نقش عوامل طبیعی در پراکنش و استقرار سکونتگاه‌های روستایی شهرستان زنجان. مهندسی جغرافیایی سرزمین، ۳(۵)، ۴۵-۵۷.

۱۰. علی‌آبادی، کاظم، داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینهٔ ایران، فصلنامهٔ مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دورهٔ ۶، شماره ۲۱، ۱۰۴-۸۶.

۱۱. ناطقی، سعیده، گوهردوست، آزاده، سلیمانی ساردو، فرشاد (۱۴۰۱). واکاوی اثر پوشش گیاهی بر وقوع پدیده گرد و غبار (مطالعه موردی: استان هرمزگان). پژوهش های فرسایش محیطی، ۱۲ (۲) :۶۰-۴۳.

۱۲. منتظری، مجید، کفایت مطلق، امیدرضا (۱۳۹۷). واکاوی میانگین بلندمدت پوشش گیاهی ایران به کمک نمایهٔ NDVI. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۹(۳)، ۱-۱۴.

13. Agam, N., Kustas, W.P., Anderson, M. C., Li, F., Neale, C.M.U. 2009. A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. Remote Sens. Environ., 107, 545-558.

14. Abbas F.M. Alkarkhi. 2021. The observed significance level (P-value) procedure, Applications of Hypothesis Testing for Environmental Science, p: 79-119.

15. Andrew Farina. 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain', LUMA-GIS Thesis nr 15.

16. Bouaziz, M., Medhioub, E., and Csaplovisc, E. 2021. A machine learning model for drought tracking and

forecasting using remote precipitation data and a standardized precipitation index from arid regions. Journal of Arid Environments, 189, 104-478.

17. Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghuwanshi, N.S, and Singh R. 2010. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India, Journal of Hydrologic Engineering, 14(5): 508-515.
18. Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J., Pelgrum, M.H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. J. of Irrig and Drain, (ASCE): 85(1): 85-93.
19. Kustas, W.P., Norman, J.M., Anderson, M.C., French, A.N. 2012. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperatures relationship. Remote Sens. Environ, 85: 429-440.
20. Merlin, O., Jacob, F., Wigneron, J., Walker, J., Chehbouni, G. 2010. Multidimensional disaggregation of land surface temperature using high-resolution red, near-infrared, shortwave-infrared and microwave L-band. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1-16.
21. Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Hosseinzadeh Talaeea, P., and Mohammadi, K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran, Agr. Forest Meteorol, 151 (2): 128-136.
22. Tucker, C.J. and Choudhury, B.Y. 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. Remote Sens. Environ. 23:243-251.