

بررسی تبخیر و تعرق واقعی شهرهای استان مازندران با استفاده از الگوریتم

سبال

محمدجواد امیری^{۱*}، علی صیادی^۲

۱- استادیار، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

تبخیر و تعرق، یکی از مهم‌ترین عوامل در چرخه آب بشمار می‌آید. به‌وسیله تبخیر و تعرق می‌توان تغییرات اقلیمی را بررسی کرد که یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی منابع آبی، طرح‌های کشاورزی و بررسی روند خشک‌سالی به‌حساب می‌آید. هدف این پژوهش بررسی تبخیر و تعرق شهرهای استان مازندران با استفاده از الگوریتم سبال بوده که با استفاده فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای لندست و GIS انجام گرفته است. روش تحقیق: به‌منظور تهیه نقشه‌های رطوبت خاک، دمای خاک، دمای سطح زمین (LST)، پوشش گیاهی و شاخص سبزیگی گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست و از الگوریتم سبال به‌منظور تهیه نقشه تبخیر و تعرق استفاده گردید. داده‌های مورد بررسی قرار گرفته از سایت ناسا در دوره آماری ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ میلادی است. همچنین در این مطالعه از نرم‌افزار *ARC GIS 10.5* و نرم‌افزارهای *ENVI 5.3*، *ERDAS* و *IDRISI* به‌منظور انجام پردازش، تجزیه و تحلیل تصاویر سنجنده لندست استفاده گردید بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد از سال ۲۰۱۰ عوامل مورد بررسی از جمله دمای سطح زمین، دمای خاک زمین، رطوبت خاک، پوشش گیاهی افزایش پیدا کرده است. همچنین نتایج تبخیر و تعرق نشان داد ماه اول بررسی (ماه مارس برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲ و ماه مه برای سال ۲۰۱۸ و ماه آوریل برای الباقی سال‌های مورد بررسی) دارای تبخیر و تعرق بالایی بوده است و از سال ۲۰۱۰ به بعد تمام ماه‌ها پیکسل‌های قرمز و نارنجی تمام محدوده مورد بررسی را فراگرفته است.

کلید واژه‌ها: LST، NDVI، سنجش از دور، دمای خاک زمین، رطوبت خاک.

مقدمه

شده پژوهش‌هایی فراوانی انجام گیرد، یکی از پیشگامان محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم سبال می‌توان به (Bastiaanssen et al, 1998) اشاره کرد، او به کمک همکاران خود میزان تبخیر و تعرق حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و الگوریتم سبال را با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مقایسه کردند. این مقایسه در آن پژوهش برای کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان انجام گرفت و نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد موارد داده‌های حاصل از الگوریتم سبال با داده‌های مزرعه‌ای بدون هیچ‌گونه واسنجی مطابقت داشته است. جیا و همکاران (Jia et al, 2009) در تحقیقی مقدار تبخیر و تعرق روزانه و سالیانه را با استفاده از داده‌های مودیس در دلتای رودخانه زرد در چین تخمین زدند و نتیجه گرفتند نوسانات معنادار ET در یک‌زمان معین و برای گونه‌های مختلف دارد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر پاپادیوید و همکارانش (Papadavid et al, 2013) تکنیک‌های سنجنش از دور را برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه بادام‌زمینی واقع در منطقه ماندریا در جزیره قبرس بکار بستند. روش سبال برای اولین بار در منطقه ماندریا به کار بسته شد و از تصاویر ماهواره‌های LANDSAT TM5 و LANDSAT7 ETM+ استفاده گردید (Papadavid et al, 2013). در پژوهش‌های داخلی سنایی نژاد و همکارانش (۱۳۹۳) به بررسی مقادیر تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس برای سه روز از سال و در منطقه‌ای در مشهد پرداختند که نتایج نشان داد تصاویر مودیس و الگوریتم سبال توانایی خوبی در برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس روزانه دارد. در پژوهشی دیگر محسنی ساروی و همکارانش (۱۳۸۹) به منظور بررسی کارایی روش اصلاح‌شده سبال در محاسبه تبخیر و تعرق مناطق کوهستانی با استفاده از ماهواره‌ی مادیس، تبخیر و تعرق در حوضه آبریز طالقان در ۲۲ روز در سال ۲۰۰۶ را مورد بررسی قرار دادند که نتایج همبستگی بالای مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده را نشان داد. در پژوهشی دیگر با استفاده از الگوریتم سبال توسط کرباسی (۱۳۹۵) که به بررسی تخمین تبخیر و تعرق واقعی منطقه‌ای برای مزارع یونجه و ذرت شهرستان خرم دره با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور و داده‌های هواشناسی پرداخته‌اند و نتایج نشان داد مقدار تبخیر و تعرق برای گیاه یونجه بیشتر از گیاه ذرت در مدل سبال است. همان‌طور که

واژه تبخیر و تعرق یا تبخیر- تعرق بیشتر در مورد محصولات زراعی و باغی به‌کاربرده می‌شود. واژه تبخیر و تعرق از دو قسمت تبخیر به معنای تبدیل آب موجود در سطح خاک به بخار آب و تعرق به معنای خروج آب از سطح گیاه است. تبخیر و تعرق، یکی از بخش‌های مهم در بیلان چرخه آب است (Szabó et al, 2019). به‌طور متوسط حدود ۶۴ درصد بارش سالانه زمین در اثر فرایند تبخیر و تعرق به جو برمی‌گردد (Nikam et al, 2014). این عوامل، اهمیت و ضرورت استفاده بهینه از آب و پیش‌بینی دقیق میزان تبخیر و تعرق واقعی در کاربردهای مختلف از جمله کشاورزی و مدیریت منابع آب، اعم از برنامه‌ریزی آبیاری و مدل‌سازی رشد گیاه را نشان می‌دهد (Lopes et al, 2019). برآوردهای دقیق تبخیر و تعرق در مطالعاتی از قبیل بررسی تغییرات اقلیمی، توسعه پایدار و کنترل منابع آبی نقش مهمی را ایفا می‌کند (Liu et al, 2010). روش‌هایی که برای برآورد تبخیر و تعرق به کار گرفته می‌شود در دو گروه تقسیم می‌شود: روش مستقیم و غیرمستقیم یا محاسباتی است (Alizade and Kamali, 2007). با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و بالا بودن هزینه و زمان جمع‌آوری اطلاعات زمینی، استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور، در صورت برخوردار بودن از خروجی دقیق و مناسب، می‌تواند ابزار مناسبی برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی (AET) باشد (Brisco et al, 2014). از جمله الگوریتم‌های موجود در سنجنش‌ازدور که مربوط به برآورد تبخیر و تعرق بر اساس روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی است، می‌توان به الگوریتم سبال (SEBAL) اشاره کرد. سبال یک الگوریتم سنجنش از دور است که تعادل انرژی سطحی لحظه‌ای را برای هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای انجام می‌دهد (Bastiaanssen et al, 1998). از عوامل ارجحیت الگوریتم سبال نسبت به دیگر الگوریتم‌های سنجنش‌ازدور همچون متریک (METRIC) این است که سبال شامل الگوریتم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی بوده و از شبیه‌سازی ماهواره‌ای استفاده می‌کند که نیاز به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری زمینی دارد (Bastiaanssen et al, 2002). اهمیت تبخیر و تعرق باعث

تناوب در برداشت داده‌ها باعث می‌شود این محدودیت‌ها کم ارزش شوند.

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با مساحتی حدود ۴۷۳۰۰ کیلومترمربع در بخش شمالی ایران قرار گرفته است که از شمال به دریای مازندران و کشور ترکمنستان، از شرق به استان خراسان، از جنوب به استان‌های سمنان و تهران و از غرب به استان گیلان محدود است. از لحاظ آب و هوایی با توجه به مجاورت با دریا دارای بارندگی زیادی است (Shahedi and zarei, 2010). آب‌وهوای مازندران با توجه به وجود دریا، کوه و جنگل به دو نوع معتدل مرطوب و کوهستانی تقسیم می‌شود. در این پژوهش به بررسی تبخیر و تعرق محدوده مطالعاتی که شامل شهرهای نوشهر، نور، آمل، بابل، محمودآباد، بابلسر، جویبار، سیمرغ، قائم‌شهر، سوادکوه شمالی و قسمت‌هایی از شهرهای چالوس، کلاردشت، عباس‌آباد، ساری، میان‌وآب، سوادکوه پرداخته شده است همچنین در شکل ۱ محدوده مورد مطالعه بارنگ قرمز و ایستگاه‌های باران‌سنجی و هواشناسی مشخص گردیده است.

گفته شد به‌طور متوسط حدود ۶۴ درصد بارش سالانه زمین در اثر فرایند تبخیر و تعرق به جو برمی‌گردد (Nikam et al, 2014) و این نشان‌دهنده اهمیت بررسی تبخیر و تعرق است همچنین طی بررسی انجام‌گرفته در محدوده مورد بررسی پژوهشی با استفاده از لندست و الگوریتم سبال انجام نگرفته است و این پژوهش می‌تواند کمک بسزایی در برنامه‌ریزی‌های آبی داشته باشد. یکی دیگر از مزایای استفاده از لندست برای محاسبه تبخیر و تعرق به جهت رزولوشن بالای آن بوده است. البته استفاده از الگوریتم سبال ماهواره‌ها محدودیت‌های خاصی دارند مثلاً الگوریتم سبال نیازمند در دسترس بودن اطلاعات زمینی برای بررسی است که امکان دارد اطلاعات برای آن محدوده مطالعاتی یا بازه زمانی وجود نداشته باشد یا همچون این پژوهش که با توجه به استفاده از داده‌های لندست ۷ و خطاهای باندی در داده‌های دریافتی از مبدا باید اصلاحاتی انجام گیرد که ر این پژوهش با استفاده از افزونه gapfil در نرم افزار envi خطاهای باند‌ها اصلاح گردید. البته مزیت‌های قابل توجهی همچون دقت بالا، قیمت ارزان یا رایگان بودن داده‌ها و



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

پدیده‌های سطح زمین است؛ اما داده‌های اولیه دارای اطلاعات خام بوده (تصحیح نشده) و قادر به نمایش پارامترهای سطح زمین مانند دما، رطوبت، پوشش گیاهی نخواهند بود. بدین منظور برای اینکه بتوان مقادیر دما را برای تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر اعمال گردد باید ارزش‌های رقومی تصاویر

مواد و روش‌ها

تهیه نقشه دمای خاک-دمای سطح زمین (LST) زمانی که تصویری از سازمان نقشه‌برداری و زمین‌شناسی امریکا اخذ می‌گردد تصویر مورد نظر دارای ارزش‌های عددی رقومی بوده و این ارزش‌های رقومی حاوی اطلاعات

$$\rho\lambda = \frac{\pi \times L\lambda \times d^2}{ESUN \lambda \times \cos \theta} \quad (2)$$

به دست آوردن دمای درخشندگی دمای درخشندگی عبارت است از دمای ثبت شده توسط سنجنده که با دمای سطح زمین متفاوت است. دمای ثبت شده توسط سنجنده حاوی اطلاعات دمایی سطح زمین، اتمسفر و خود سنجنده است. دمای درخشندگی بر اساس واحد کلونین محاسبه می شود. برای به دست آوردن دمای درخشندگی برای سنجنده های ماهواره لندست از رابطه (۳) محاسبه می شود (Rajeshwari & Mani, 2014).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

L رادیانس طیفی سنجنده برحسب (Wm-2sr-1um-1) و مقادیر K1 و K2 به ترتیب ثابت کالیبراسیون اول و دوم (Wm-2) است و ضرایب K1 و K2 بر اساس جدول (۱) محاسبه می شود.

ماهواره ای تصحیح گردد. در واقع باید مقادیر DN تشکیل دهنده هر تصویر را تبدیل به Radiance یا Reflectance کرد که اصطلاحاً تصحیح طیفی گفته می شود (Sanaeinejad et al, 2014). برای تبدیل ارزش های خام تصویر به رادیانس برای تصاویر لندست TM و ETM از رابطه زیر استفاده شده است.

$$L\lambda = \left(\frac{LMAX - LMIN}{Qcalmax - Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + LMIN \quad (1)$$

که در آن: L رادیانس طیفی در سنجنده، Qcal ارزش پیکسل در باند مورد نظر، Qcalmin حداقل ارزش پیکسل، Qcalmax حداکثر ارزش پیکسل، LMAX و LMIN حداقل و حداکثر رادیانس طیفی در سنجنده است. میزان ضریب انعکاس برای سنجنده TM5.ETM7 لندست از زیر محاسبه می شود که در آن $\rho\lambda$ ضریب انعکاس، $L\lambda = \pi/1459$ رادیانس طیفی در سنجنده، d فاصله زمین تا خورشید (واحد نجومی)، ESUN میانگین تابش خورشید و θ زاویه تابش خورشید (درجه) است.

جدول ۱. ضرایب K1 و K2 برای ماهواره لندست (Gong and Pu, 2012)

ضریب کالیبراسیون ۲ (برحسب کلونین)	ضریب کالیبراسیون ۱	ضریب سنجنده (باندها)
۱۲۶۰/۵۶	۶۰۷/۷۶	L5-TM B6
۱۲۸۲/۷۱	۶۶۶/۰۹	L7-ETM+B6
۱۳۲۱/۰۸	۷۷۷/۸۹	L8-OLI B10
۱۲۰۱/۱۴	۴۸۰/۸۹	L8-OLI B11

اولیه، شرایط رطوبتی خاک، شرایط رشد محصول و مقدار آن کاربرد دارد (Ehteramian et al, 2003). تحقیقات نشان داده است که شاخص NDVI به شاخص سطح برگ (LAI)، زیست توده گیاهی، درصد پوشش گیاهی و جذب فعال فتوسنتزی (FAPAR) بستگی دارد با استفاده از سری زمانی NDVI می توان پوشش گیاهی یک منطقه را بر اساس مراحل فنولوژیکی و فصل رویش استخراج نمود. این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه ی خاک (تیپ)، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد. شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می شود (Van de Griend and Owe, 1993):

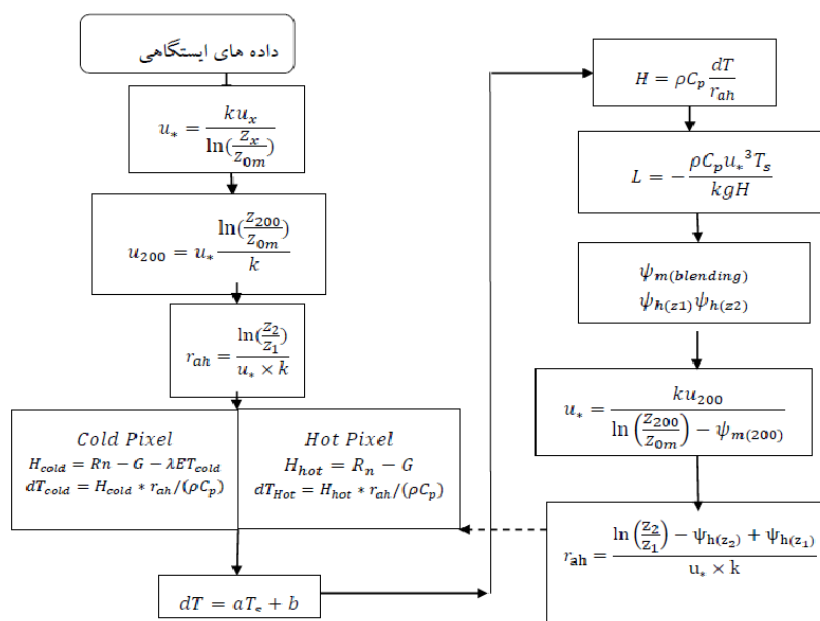
تهیه نقشه های پوشش گیاهی NDVI یک تبدیل نرمال شده از نسبت قابلیت انعکاس بین امواج مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز (RED) یا (rNIR/rRED) حاصل می شود که طراحی شده برای استاندارد کردن ارزش شاخص پوشش گیاهی که بین +۱ و -۱ هستند و عدد صفر به معنی عدم پوشش گیاهی و همچنین مقادیر منفی برای نشان دادن سطوحی به غیر از پوشش گیاهی مانند آب و برف است. شاخص NDVI نه تنها می تواند برای توضیح طبقه بندی پوشش گیاهی و فنولوژی گیاه به کار رود بلکه برای پایش مواردی مانند شرایط بارندگی، خشک سالی ها، تخمین محصول خالص

برای منطقه کوهستانی آیداهو با تکیه بر مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در سطح زمین توسعه یافته است. مدل سبال از اطلاعات تصاویر رقومی اخذ شده توسط ماهواره لندست یا سایر سنجنده‌ها که قادر به ثبت تشعشعات مادون قرمز حرارتی و همچنین تشعشعات مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌نماید. مقدار ET در هر پیکسل (به عنوان مثال در ۳۰ در ۳۰ متر مربع تصاویر TM و ETM تصاویر لندست) برای لحظه‌ای خاص که همان زمان تصویر اخذ می‌شود محاسبه می‌گردد و سپس برای گام‌های زمانی روزانه و ماهانه تعمیم می‌دهد.

مقدار λET برابر با تشعشع خالص منهای گرمای وارده به خاک منهای گرمای وارده به هوا خواهد شد. جزئیات بیشتر این مدل توسط Bastiaanssen et al ارائه شده است، اما معادله کلی مورد استفاده سبال به صورت زیر است:

$$\lambda ET = R_n - H - G \quad (5)$$

که در این فرمول LE شار گرمای نهان بر حسب (Wm^{-2}) است که به راحتی قابل تبدیل به ET است. R_n تابش خالص خورشیدی است (Wm^{-2}) H شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) و G شار گرمای زمین یا خاک (Wm^{-2}) است. روند نمای الگوریتم SEBAL به ترتیب در شکل زیر نشان داده شده است.



دیگرام ۱- روند نمای الگوریتم سبال (RSRC, 2015)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

تهیه نقشه‌های رطوبت خاک و شاخص سبزیگی گیاهی به منظور تهیه نقشه رطوبت مناطق مورد مطالعه از شاخص Tasseled Cap برای تصاویر لندست TM و ETM استفاده شده است. شاخص Tasseled Cap امکان دسته‌بندی داده با تفکیک مناسب را ایجاد کرده و هر دسته نشان‌دهنده طیف مختلفی از پدیده‌های سطح زمین است. داده‌های BRIGHNESS عوارض و محدوده‌های خاک و شهری را نشان می‌دهد و با استفاده از GREENNESS امکان تشخیص مشاهده و تشخیصی و ارزیابی تراکم پوشش گیاهی و WETNESS مناسب به جهت شناسایی آب و رطوبت است. همچنین در نرم‌افزار ENVI برای لندست (۴، ۵، ۷) به صورت پیش فرض قابلیت برای محاسبه آن وجود دارد و برای داده‌های لندست به صورت دستی امکان محاسبه دارد.

روش به دست آوردن تبخیر و تعرق با الگوریتم سبال (الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین) مدلی مبتنی بر پردازش تصویر بوده که مشتمل برای بیست و پنج مدل جهت محاسبه تبخیر و تعرق (ET) به عنوان باقیمانده بیان انرژی سطحی زمین است. این مدل توسط Bastiaanssen (۱۹۹۸) در کشور هلند معرفی و همچنین

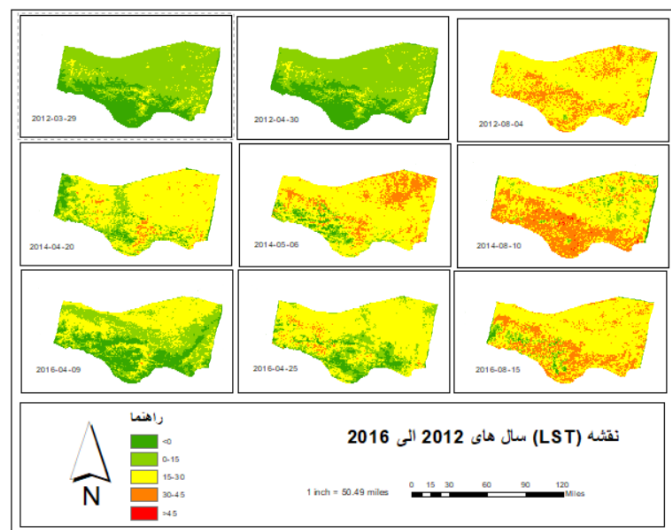
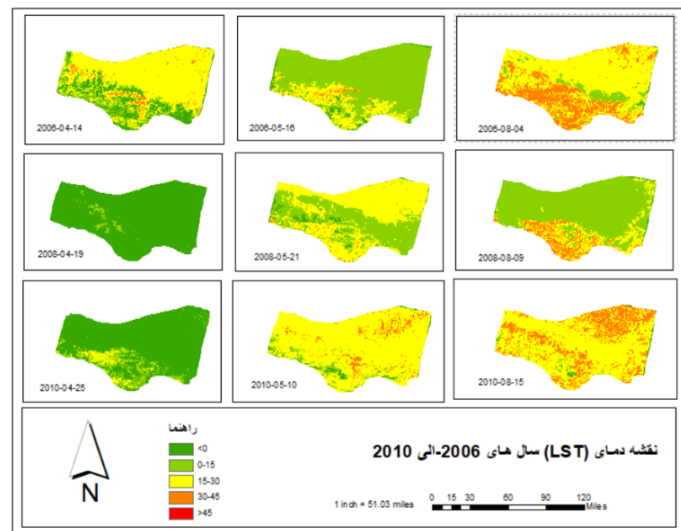
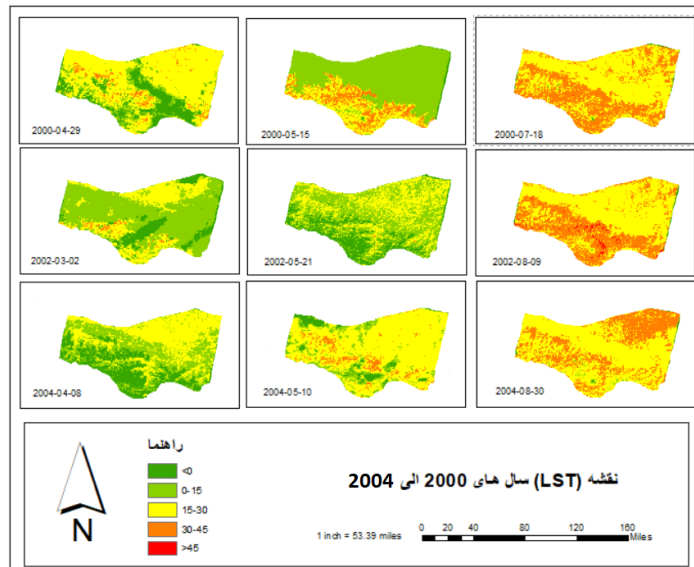
جدول ۲- داده‌های لندست مورد استفاده

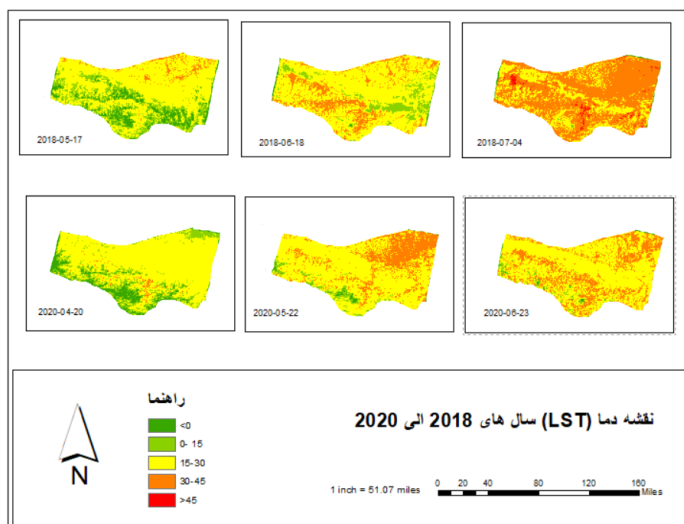
تاریخ داده	ماهواره	حس گر	مسیر	ردیف	باند حرارتی	سیستم جغرافیایی
2000-04-29	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2000-05-15	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2000-07-18	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2002-03-02	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2002-05-21	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2002-08-09	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2004-04-08	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2004-05-10	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2004-08-30	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2006-04-14	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2006-05-16	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2006-08-04	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2008-04-19	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2008-05-21	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2008-08-09	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2010-04-25	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2010-05-11	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2010-08-15	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2012-03-29	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2012-04-03	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2012-08-04	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2014-04-20	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2014-05-06	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2014-08-10	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2016-04-09	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2016-04-25	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2016-08-15	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2018-05-17	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2018-06-18	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2018-07-04	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2020-04-20	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2020-05-22	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39
2020-06-23	"LANDSAT_7"	"ETM"	۱۶۴	۰۳۵	۶	"WGS84"UTM_ZONE = 39

یافته‌ها

اوت همواره بیشترین پیکسل قرمز و نارنجی را ثبت کرده‌اند همچنین نتایج نشان می‌دهد از سال ۲۰۱۴ قسمت نارنجی رنگ (۳۰ الی ۴۵ درجه سلسیوس) و قرمز رنگ (۴۵ درجه سلسیوس به بالا) افزایش پیدا کرده است.

نقشه LST در دوره مورد بررسی به ۵ گروه (کمتر از صفر به رنگ سبز، صفر الی ۱۵ سبز کمرنگ، ۱۵ الی ۳۰ به رنگ زرد، ۳۰ الی ۴۵ به رنگ نارنجی و از ۴۵ درجه به بالا بارنگ قرمز) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد ماه جولای و

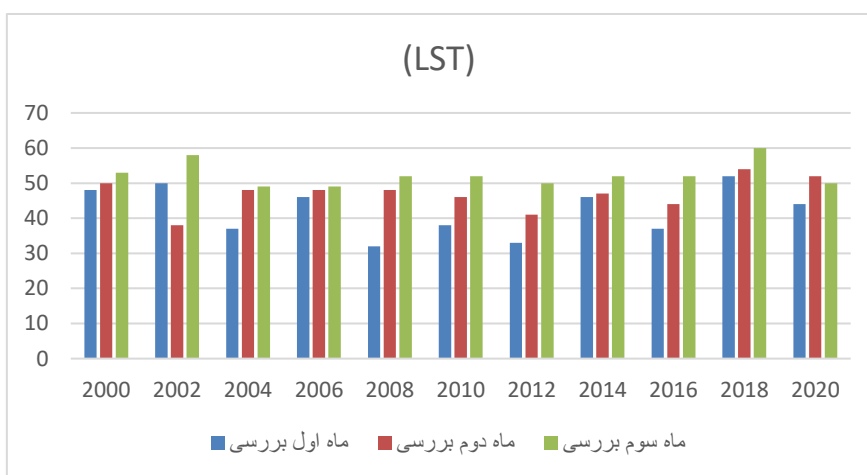




شکل ۲- نقشه LST سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۰ برحسب سلسیوس

شکل شماره ۳ نشان‌دهنده تغییرات گرم‌ترین پیکسل ثبت‌شده برای ۳ ماه مورد بررسی هر سال است. روند تغییرات برای سال ۲۰۰۰ به صورت ماه اول ۴۸ درجه، ماه دوم ۵۰ و ماه سوم ۵۳ بوده است، نتایج سال ۲۰۰۲ نشان داد، ماه اول ۵۰ درجه، ماه دوم ۳۸ درجه و ماه سوم ۵۸ درجه بوده است. بیشترین درجه ثبت‌شده ماه‌های سال ۲۰۰۴، ماه اول ۳۷ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۴۹ درجه بوده است و در سال ۲۰۰۶ تغییرات به صورت، ماه اول ۴۶ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۴۹ درجه بوده است، بررسی سال ۲۰۰۸ نشان داد، ماه اول ۳۲ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه بوده و در سال ۲۰۱۰، ماه اول ۳۸ درجه، ماه دوم ۴۶ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه بوده است، در سال ۲۰۱۲ از ۳۳ درجه به ۴۱ درجه و ۵۰ درجه تغییر کرده است، در سال ۲۰۱۴ ابتدا ۴۶ درجه برای ماه اول، ۴۷ درجه برای ماه دوم ۵۲ درجه برای ماه سوم بوده، در سال ۲۰۱۶، ماه اول ۳۷ درجه، ماه دوم ۴۴ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه را ثبت کرده است. سال ۲۰۱۸، ماه اول ۵۲ درجه، ماه دوم ۵۴ درجه و ماه سوم ۶۰ درجه بوده و نهایتاً در سال ۲۰۲۰، ماه اول ۴۴ درجه، ماه دوم ۵۲ درجه و ماه سوم ۵۰ درجه بوده است.

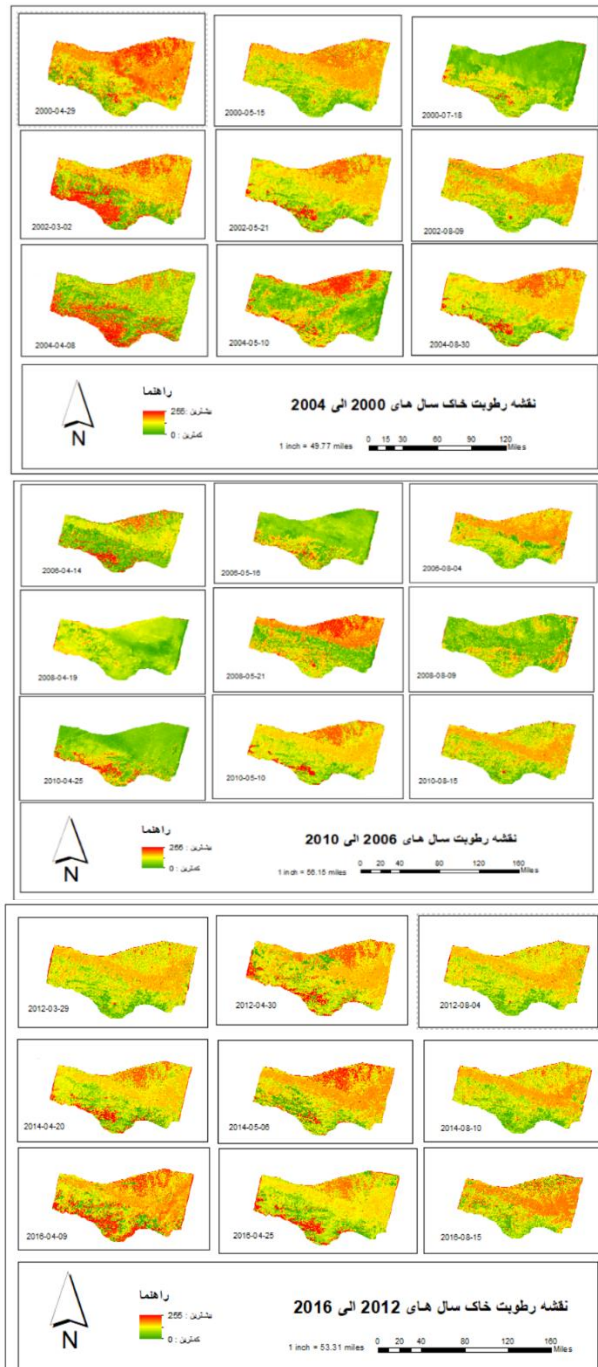
شکل شماره ۳ نشان‌دهنده تغییرات گرم‌ترین پیکسل ثبت‌شده برای ۳ ماه مورد بررسی هر سال است. روند تغییرات برای سال ۲۰۰۰ به صورت ماه اول ۴۸ درجه، ماه دوم ۵۰ و ماه سوم ۵۳ بوده است، نتایج سال ۲۰۰۲ نشان داد، ماه اول ۵۰ درجه، ماه دوم ۳۸ درجه و ماه سوم ۵۸ درجه بوده است. بیشترین درجه ثبت‌شده ماه‌های سال ۲۰۰۴، ماه اول ۳۷ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۴۹ درجه بوده است و در سال ۲۰۰۶ تغییرات به صورت، ماه اول ۴۶ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۴۹ درجه بوده است، بررسی سال ۲۰۰۸ نشان داد، ماه اول ۳۲ درجه، ماه دوم ۴۸ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه بوده و در سال ۲۰۱۰، ماه اول ۳۸ درجه، ماه دوم ۴۶ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه بوده است، در سال ۲۰۱۲ از ۳۳ درجه به ۴۱ درجه و ۵۰ درجه تغییر کرده است، در سال ۲۰۱۴ ابتدا ۴۶ درجه برای ماه اول، ۴۷ درجه برای ماه دوم ۵۲ درجه برای ماه سوم بوده، در سال ۲۰۱۶، ماه اول ۳۷ درجه، ماه دوم ۴۴ درجه و ماه سوم ۵۲ درجه را ثبت کرده است. سال ۲۰۱۸، ماه اول ۵۲ درجه، ماه دوم ۵۴ درجه و ماه سوم ۶۰ درجه بوده و نهایتاً در سال ۲۰۲۰، ماه اول ۴۴ درجه، ماه دوم ۵۲ درجه و ماه سوم ۵۰ درجه بوده است.

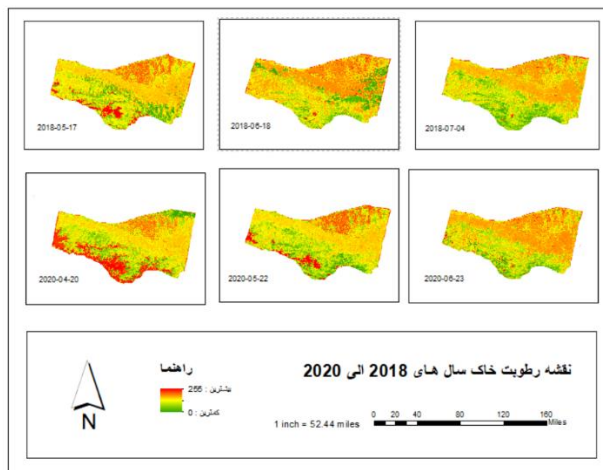


شکل ۳- نمودار تغییرات LST سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ برحسب سلسیوس

از قابلیت پیش‌فرض نرم‌افزار ENVI برای لندست ۷ انجام‌گرفته است). نتایج نشان از ماه پنجم سال ۲۰۱۰ میزان رطوبت خاک با توجه به پیکسل‌های قرمز ثبت‌شده در محدوده موردبررسی افزایش پیدا کرده است و پیکسل‌های نارنجی و قرمز بیشتر مناطق موردبررسی را در بر گرفته است.

شکل ۴ نشان‌دهنده میزان رطوبت موجود در خاک منطقه مورد بررسی با استفاده از Tasseled Cap است که این داده‌ها از تفکیک داده‌ها در باند WETNESS استفاده گردیده است بدین منظور دسته‌بندی صورت گرفته از کمترین عدد ثبت‌شده که صفر به رنگ سبز پررنگ (کمترین میزان رطوبت) و رنگ قرمز بیشترین میزان رطوبت موجود که ۲۵۵ است مشخص گردیده است، (این نتایج با استفاده

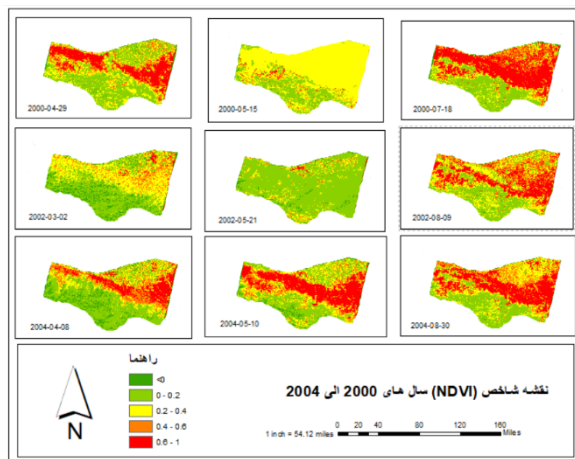


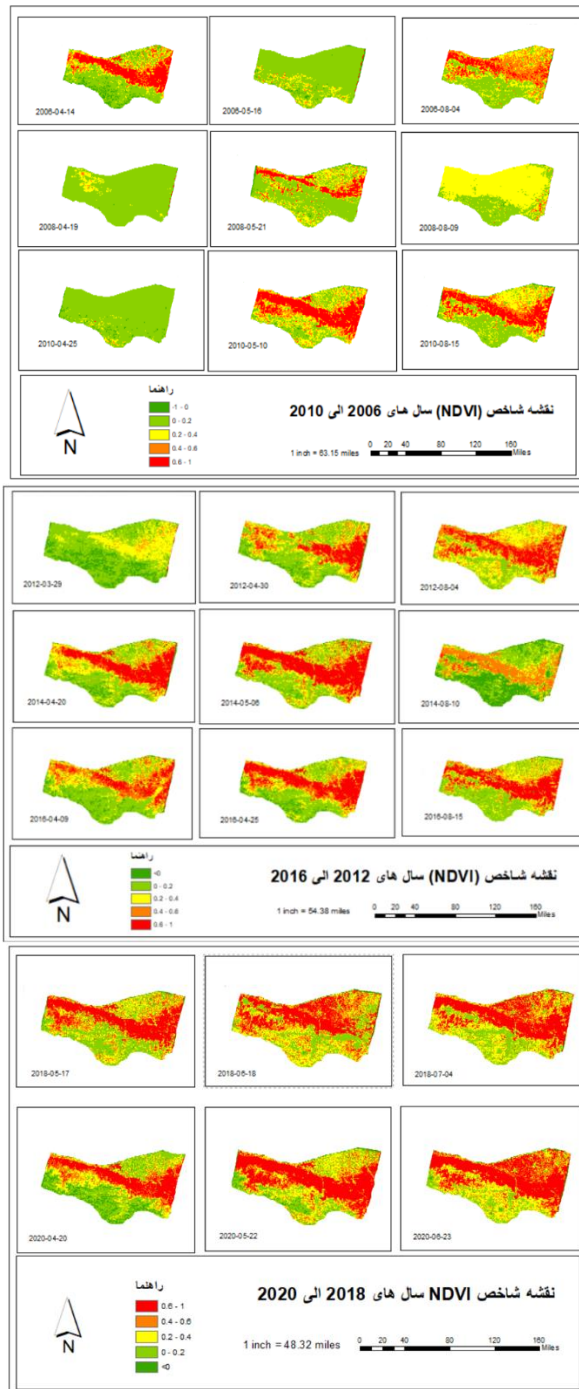


شکل ۴- نقشه رطوبت خاک سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۱۸

محدوده مورد بررسی در سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۱۸ با توجه به دارا بودن پیکسل‌های غالب سبز پررنگ و کمرنگ تراکم پوشش گیاهی کمی را ثبت کرده است، همچنین در بازه مورد بررسی قسمت شمال غربی، مرکز و قسمت شرقی محدوده مورد بررسی به دلیل داشتن تعداد بیشتری پیکسل قرمز رنگ (پیکسل بالای ۰.۶) دارای تراکم بالایی از پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده‌اند که سال ۲۰۲۰ و ۲۰۱۸ مجموع بیشترین پیکسل قرمز رنگ را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی برای ۲ سال مذکور در بازه زمانی مورد بررسی است، همچنین ماه ۵ ام سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ و ماه ۴ ام سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ پدیده (ابر، باران، برف) در محدوده مورد بررسی قالب بوده است.

شکل ۵ نشان‌دهنده شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۰۰ بوده و به ۵ دسته تقسیم شده است. دسته اول (صفر) نشان‌دهنده عدم پوشش گیاهی و کمتر از صفر (نشان‌دهنده سطوحی به‌غیر از پوشش گیاهی مانند ابر، آب و برف) است که در یک دسته بارنگ سبز نشان داده شده است، دسته دوم تا دسته ۵ نشان‌دهنده پوشش گیاهی بوده که با افزایش این عدد و میل به سمت عدد +۱ تراکم پوشش گیاهی افزایش پیدا می‌کند. دسته دوم نشان دهنده عدد صفر الی ۰.۲ بوده و بارنگ سبز کمرنگ و دسته سوم نشان‌دهنده عدد ۰.۲ الی ۰.۴ بوده و بارنگ زرد مشخص گردیده و دسته چهارم نشان‌دهنده عدد ۰.۴ الی ۰.۶ بوده و بارنگ نارنجی مشخص گردیده و دسته پنجم که نشان‌دهنده اعداد بیشتر از ۰.۶ بوده بارنگ قرمز مشخص گردیده است. نتایج شکل ۵ نشان داد قسمت جنوبی

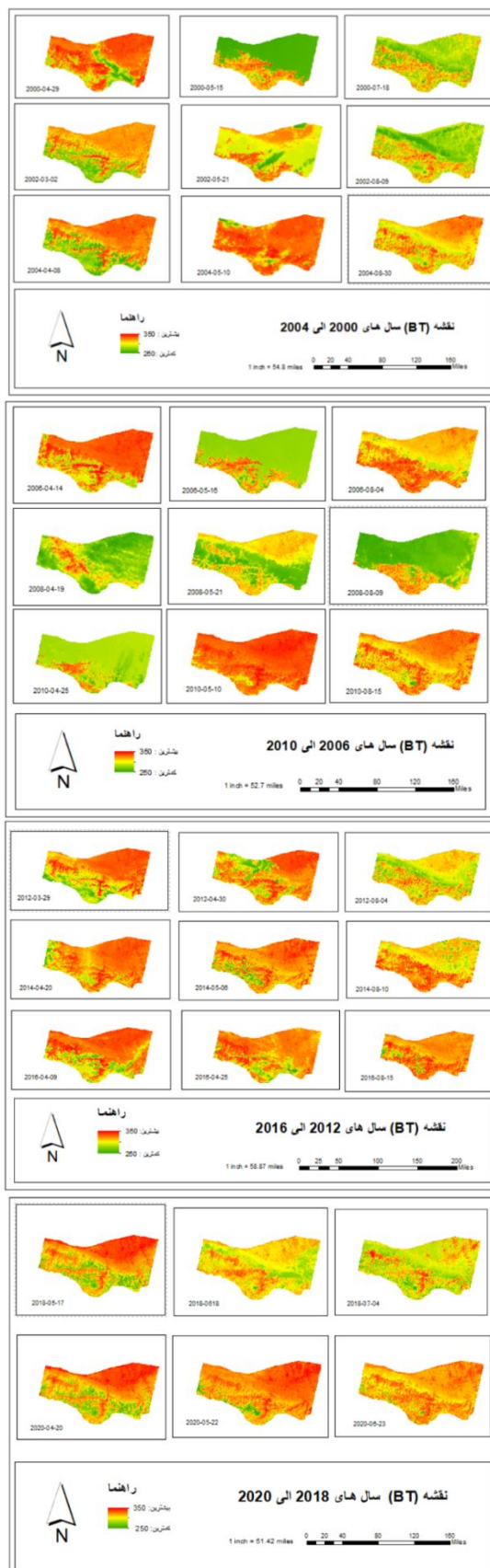




شکل ۶- نقشه شاخص NDVI سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

به دست آمده از سال ۲۰۱۴ قسمت نارنجی و قرمز رنگ افزایش پیدا کرده است در حقیقت از میانگین ۳۱۰ درجه تا ۳۵۰ در این مناطق ثبت شده است.

شکل ۷ نشان‌دهنده دمای درخت‌سنگی منطقه مورد بررسی است که از کمترین حالت ۲۵۰ به رنگ سبز پررنگ و رنگ قرمز نشان‌دهنده پیکسل‌های گرم ۳۵۰ است. با توجه نتایج

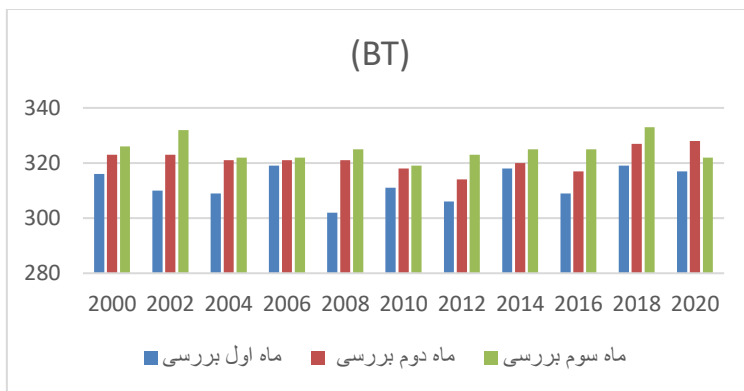


شکل ۷- نقشه دمای درخشندگی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰

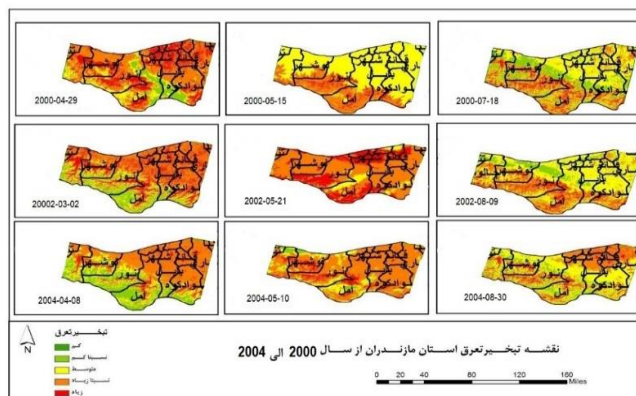
۲۰۲۰، ماه اول ۳۱۷ درجه، ماه دوم ۳۲۸ درجه و ماه سوم ۳۲۲ درجه بوده است.

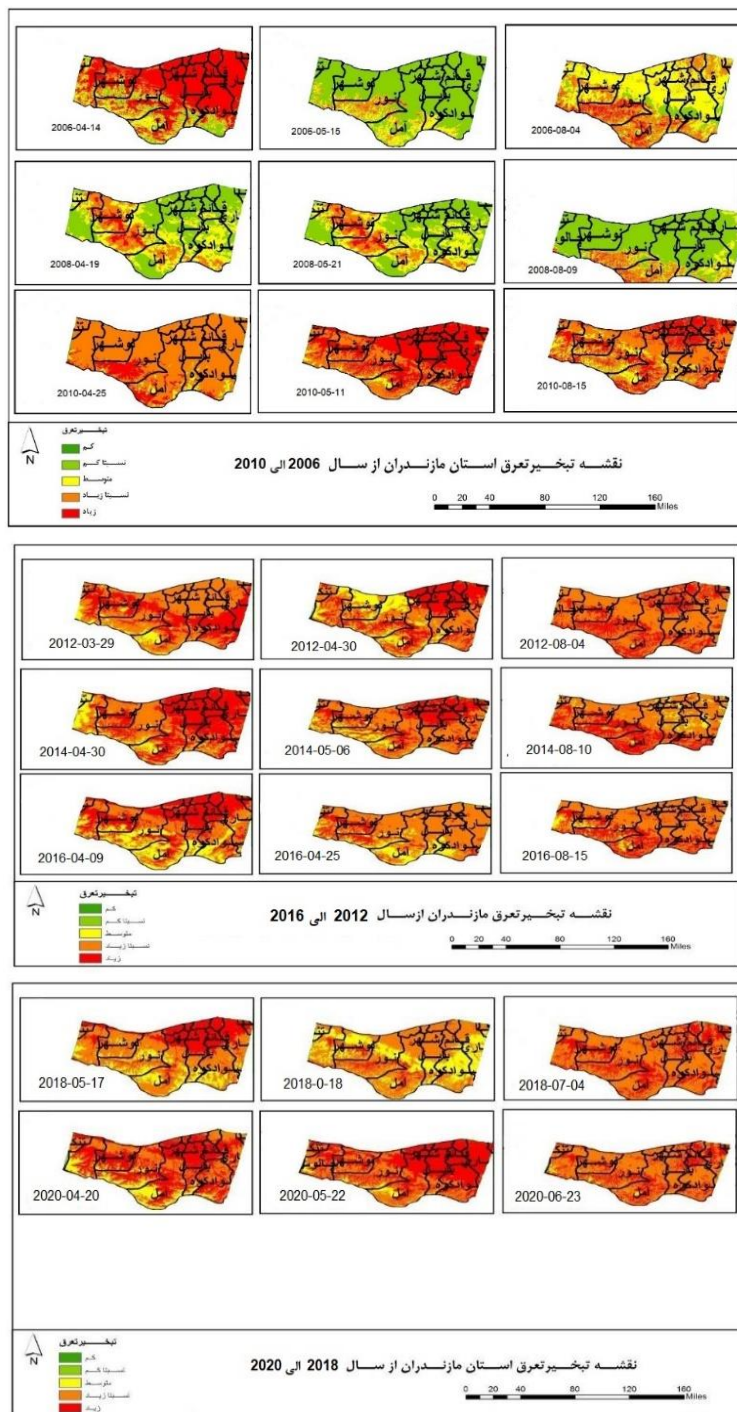
شکل ۹ نشان‌دهنده تبخیر و تعرق شهرهای مورد بررسی است که در این شکل لایه‌ی شهرستان‌ها در زیر مشخص گردیده و مشخص شده کدام شهرها دارای تبخیر تعرق بالایی هستند. با توجه به شکل (۹) رنگ سبز نشان‌دهنده مقدار کم و رنگ سبز کمرنگ نشان‌دهنده میزان نسبتاً کم و زرد میزان تبخیر و تعرق متوسط و رنگ نارنجی و قرمز به ترتیب نشان‌دهنده میزان تبخیر و تعرق نسبتاً زیاد و زیاد است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ماه جولای برای سال ۲۰۰۰ و ماه اوت برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ از ماه‌های دیگر سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ کمتر بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ به‌جز سال ۲۰۰۸ همواره مناطق مورد بررسی دارای پیکسل‌های متوسط (زردرنگ) نسبتاً زیاد (نارنجی) و زیاد (قرمز) بوده است. با توجه به نتایج از سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۲۰ میزان تبخیر و تعرق تغییر کرده و افزایش‌یافته است به‌طوری‌که رنگ غالب در محدوده مورد بررسی قرمز (تبخیر و تعرق زیاد) بوده است.

شکل ۸ تغییرات بیشترین دمای درخشندگی ثبت‌شده برحسب کلونین برای ماه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد، روند تغییرات برای سال ۲۰۰۰ به‌صورت ماه اول ۳۱۶ درجه، ماه دوم ۳۲۳ و ماه سوم ۲۳۶ بوده است، نتایج سال ۲۰۰۲ نشان داد، ماه اول ۳۱۰ درجه، ماه دوم ۳۲۳ درجه و ماه سوم ۳۳۲ درجه بوده است. بیشترین درجه ثبت‌شده ماه‌های سال ۲۰۰۴، ماه اول ۳۰۹ درجه، ماه دوم ۳۲۱ درجه و ماه سوم ۳۲۲ درجه بوده است و در سال ۲۰۰۶ تغییرات به‌صورت، ماه اول ۳۱۹ درجه، ماه دوم ۳۲۱ درجه و ماه سوم ۳۲۲ درجه بوده است، بررسی سال ۲۰۰۸ نشان داد، ماه اول ۳۰۲ درجه، ماه دوم ۳۲۱ درجه و ماه سوم ۳۲۵ درجه بوده و در سال ۲۰۱۰، ماه اول ۳۱۱ درجه، ماه دوم ۳۱۸ درجه و ماه سوم ۳۱۹ درجه بوده، در سال ۲۰۱۲ از ۳۰۶ درجه به ۳۱۴ درجه و ۳۲۵ درجه تغییر کرده است، در سال ۲۰۱۴ ابتدا ۳۱۸ درجه برای ماه اول، ۳۲۰ درجه برای ماه دوم و ۳۲۵ درجه برای ماه سوم بوده، در سال ۲۰۱۶، ماه اول ۳۰۹ درجه، ماه دوم ۳۱۷ درجه و ماه سوم ۳۲۵ درجه را ثبت کرده است. سال ۲۰۱۸، ماه اول ۳۱۹ درجه، ماه دوم ۳۲۷ درجه و ماه سوم ۳۳۳ درجه بوده و نهایتاً در سال



شکل ۸- نمودار تغییرات دمای درخشندگی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰





شکل ۹- تبخیر و تعرق واقعی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰

در این پژوهش به بررسی تبخیر و تعرق استان مازندران و عوامل، مؤلفه‌ها و یا پارامترهای تأثیرگذار در روند تبخیر و تعرق استان مازندران پرداخته شد. با توجه به نتایج پژوهش Bastiaanssen (۱۹۹۸) که از الگوریتم سبال برای ۴ کشور مختلف استفاده کرد و نتیجه گرفت ۸۵ درصدی موارد

بحث و نتیجه‌گیری

تبخیر و تعرق، یکی از مهم‌ترین عوامل در چرخه آب بشمار می‌آید و عاملی تأثیرگذار بر تغییرات اقلیمی است و یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی منابع آبی و طرح‌های کشاورزی و بررسی روند خشک‌سالی به حساب می‌آید. بدین منظور

زیاد و زیاد بوده و پیکسل‌های قرمز و نارنجی تمام محدوده موردبررسی را فراگرفته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای کنترل و دستیابی به توسعه پایدار، محدوده موردبررسی نیازمند برنامه‌ای دقیق و مدون بوده و در انتها پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی محدوده‌ای مشابه موردبررسی و ارزیابی قرار گیرد تا بتوان شباهت و تفاوت‌های مناطق و میزان تغییرات عوامل و تبخیر و تعرق را ارزیابی کرد.

منابع

1. Alizadeh A, Kamali G. 2006. Water demand in Iran, Imam Reza University Press, Mashhad.
2. Bastiaanssen WG, Menenti M, Feddes RA, Holtslag AAM. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm forland (SEBAL). 1. Formulation. Journal of hydrology, 212, 198-212.
3. Bastiaanssen WG, Pelgrum H, Wang J, Ma Y, Moreno JF, Roerink GJ, Van der Wal T. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). Part 2, Validation. Journal of hydrology, 212, 213-229.
4. Bastiaanssen WG, Allen R, Tasumi M, Trezza R, Waters R. 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho Implementation, Advanced training and user manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources.
5. Brisco B, Brown RJ, Hirose T, McNairn H, Staenz K. 2014. Precision agriculture and the role of remote sensing: a review. Can. J. Rem. Sens, 24, 315-327. <http://dx.doi.org/10.1080/07038992.1998.10855254>.
6. Chander G, Markham B, Helder D. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment. 113, 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.
7. Ehteramian K, Shahabfar A, Nazem Alsadat SM. 2003. Prediction of Drought Conditions Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Iran, Geomatics Conference 82.
8. Gong P, Pu R. 2012. Retrieval of Land Surface Temperature from Remote Sensing

حاصله موردبررسی بدون هیچ‌گونه واسنجی مطابقت داشته است یا Mohseni Saruri و همکاران (1389) که در پژوهش خود نتیجه گرفتند همبستگی بالای مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده را نتایج الگوریتم سبال نشان داده است، با تکیه به این تطابق و همبستگی‌ها که نشان از تطبیق‌پذیری بالا در الگوریتم سبال دارد در این پژوهش نیز از الگوریتم سبال استفاده گردید. در ادامه Sanaeinejad و همکاران (۲۰۱۴) و Karbasi (۲۰۱۶) و Jia و همکاران سال (۲۰۰۹) از سنجنده مودیس و سنجنش‌ازدور برای بررسی تبخیر و تعرق استفاده کردند اما کمترین رزولوشن سنجنده مودیس ۲۵۰ متر است اما ماهواره لندست ۷ که در این پژوهش استفاده گردیده است برای ۵ باند اول رزولوشن ۳۰ متری و باند ترمال آن رزولوشن ۶۰ متری دارد، مزیت این پژوهش رزولوشن بالا در لندست ۷ که باعث ایجاد تفکیک و دقت و کیفیت تصویر بالاتر نسبت به مودیس شده است. با توجه به دقت و تطبیق‌پذیری بالا در الگوریتم سبال و همچنین تکنیک‌های سنجنش‌ازدور برای برآورد تبخیر و تعرق از این الگوریتم استفاده گردید و نتایج این پژوهش نشان داد:

(۱) LST از سال ۲۰۱۴ افزایش پیدا کرده است و محدوده حرارتی ۳۰ الی ۴۵ و ۴۵ درجه به بالا در منطقه موردبررسی غالب بوده است.

(۲) رطوبت خاک از سال ۲۰۱۲ به بعد افزایش پیدا کرده است و پیکسل‌های بیشتری نسبت به قبل به عدد ۲۵۵ نزدیک شده‌اند.

(۳) شاخص NDVI نشان داد این شاخص در ماه سوم بررسی در تمام سال‌ها به‌جز سال ۲۰۰۸ بیشترین NDVI را در بررسی ۳ ماه برای هر سال موردبررسی ثبت شده است و پیکسل قرمز (۰.۶ به بالا) افزایش پیدا کرده است.

(۴) BT محاسبه‌شده از سال ۲۰۱۴ افزایش پیدا کرده است، میانگین BT ثبت‌شده در این مناطق ۳۱۰ درجه تا ۳۵۰ است.

(۵) نتایج تبخیر و تعرق نشان داد ماه اول بررسی در تمام بازه مورد مطالعه دارای تبخیر و تعرق بالایی بوده است. همچنین از سال ۲۰۱۰ در تمام ماه‌ها تبخیر و تعرق به‌صورت نسبتاً

15. Papadavid G, Hadjimitsis DG, Toullos L, Michaelides S. 2013. A modified SEBAL modeling approach for estimating crop evapotranspiration in semi-arid conditions. *Water resources management*, 27(9).3493-3506.
16. Rajeshwari A, Mani N.D. 2014. Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.3.122-126.
<https://ijret.org/volumes/2014v03/i05/IJRET20140305025.pdf>.
17. Remote Sensing Research Center (RSRC).2015. Estimation of evapotranspiration, costs and the amount of water saving in agriculture (case study: Urmia Lake basin for 2010), EWRC in Sharif university of Technology.
18. Sanaeinejad H, NASSIRI M.M, Zare H, Salehnia N, Ghaemi M. 2014. Wheat yield estimation using Landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 20(4), 45-63
19. Shahedi K, Zarei M.2010. Evaluation of potential evapotranspiration estimation methods in Mazandaran province. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*. 12-21. (In Farsi with English abstract).
20. Szabó S, Elemér L, Kovács Z, Püspöki Z, Kertész A, Kumar Singh S, Balázs B. 2019. NDVI dynamics as reflected in climatic variables: spatial and temporal trends – a case study of Hungary. *GIScience & Remote Sensing*, 56(4), 624-644 .<http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2018.1560686>.
21. Van De Griend A, Owe M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*. 14. 1119-1131. (<https://doi.org/10.1080/01431169308904400>).
- Thermal Images. Berkeley, USA: University of California.
9. Jia L, Xi G, Liu S, Huang C, Yan Y, Liu Y. 2009. Regional estimation of daily to annual regional evapotranspiration with MODIS data in the Yellow River Delta wetland. *Hydrology and Earth System Science*, 13, 1775–1787.
10. Karbasi M, Moghaddam M, Nikbakht J, Kaviani A. 2016. Estimation of crop actual evapotranspiration using SEBAL algorithm (Case study: Khoramdareh region at Zanjan province), *Journal of Echo Hydrology*, 3 (3). 427-437. (In Farsi with English abstract).
11. Liu S, Bai J, Jia Z, Jia L, Zhou H, Lu L. 2010. Estimation of evapotranspiration in the MuUs Sandland of China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* (14), 573–584.
12. Lopes JD, Rodrigues LN, Acioli Imbuzeiro HM, Pruski FF. 2019. Performance of SSEBop model for estimating wheat actual evapotranspiration in the Brazilian Savannah region. *International Journal of Remote Sensing*, 40(18), 6930-6947. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2019.1597304>
13. Mohseni Saruri M, Ahmadi H, Nosrati K. 2010. Application of Sebal model in estimating evapotranspiration in Taleghan catchment area, The first International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, November, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences. (In Farsi with English abstract).
14. Nikam B.R, Kumar P, Garg V, Thakur P. K, Aggarwal, S. P. 2014. Comparative Evaluation Of Different Potential Evapotranspiration Estimation Approaches. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(06), 544-552.