بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/ صفحات ۷۵ تا ۹۰

ارزیابی تغییرات مکانی- زمانی شاخص سطح برگ و دمای سطح زمین در مناطق زیست اقلیمی شمال ایران

آزاده بذرمنش[۱]، سعید سلطانی کوپائی*[۲]، مصطفی ترکش اصفهانی[۳] و رضا جعفری[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱)

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی- زمانی شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) و دمای سطح زمین (Land Surface Temperature, LST) در مناطق زیست‌اقلیمی شمال کشور صورت گرفت. بدین منظور از سری زمانی ماهانه LAI و LST، تولیدات سنجنده مودیس (MODIS) برای کاربری‌های مرتع و جنگل طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. برای بررسی روند شاخص‌های مورد مطالعه، بدلیل وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی از آزمون من‌کندال پیش‌سفید شده استفاده شد. شیب خط روند با استفاده از آزمون شیب تخمین‌گر سن محاسبه شد. نتایج نشان داد که در دوره مطالعه، در تمامی مناطق زیست اقلیمی، شاخص سطح برگ رو به افزایش است. همچنین، در اکوسیستم‌های جنگلی، ارتباط مستقیم بین LAI و LST در تمام فصول سال مشاهده شد، در حالی که در اکوسیستم‌های مرتعی، ارتباط مستقیم در بهار و تابستان و ارتباط معکوس در پاییز و زمستان وجود داشت. روند افزایشی سبز شدن در مراتع مربوط به مناطق نیمه‌خشک و شدیداً بادی (Z = ۲/۹۴۴) و جنگل‌های مناطق معتدل با رطوبت نسبی خیلی بالا (Z= ۲/۸۲۵) بسیار معنی‌دار بود. شناسایی و تحلیل ارتباط بین تغییرات LAIو LST می‌تواند به توسعه راهکارهای مدیریتی مؤثر برای بهبود کیفیت اکوسیستم‌های شمال کشور و سازگاری با تغییرات اقلیمی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، دمای سطح زمین، تحلیل روند، پهنه‌های زیست اقلیمی، شیب تخمین‌گر سن، من‌کندال پیش‌سفید شده

۱. دانشجوی دکتری مهندسی علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

مقدمه

تغییرات محیطی و فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین، ساختار و عملکرد پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با افزایش دما در سراسر جهان، فتوسنتز، تنفس میکروبی و گیاهی و در نتیجه انتشار دی‌اکسیدکربن در جو نیز افزایش می‌یابد (۱). در همین راستا اهمیت کنترل پوشش گیاهی در مبادلات بیوسفر–اتمسفر انرژی، دی‌اکسیدکربن، بخار آب و سایر موارد تا به امروز کانون تلاش‌های متعددی بوده است (۳، ۱۴، ۱۷، ۲۴ و ۲۵). مطالعه داده‌های سنجش از دور روند سبز شدن کره زمین را از سال ۱۹۸۰ نشان می‌دهد. این پدیده سبز شدن با افزایش حذف دی‌اکسیدکربن از طریق فتوسنتز توسط پوشش گیاهی، منجر به یک مکانیسم بازخورد بیوشیمیایی منفی شده و تا حدی گرمایش جهانی را کنترل می‌کند (۱۶). تشخیص تغییرات در رشد پوشش گیاهی، پیش‌نیازی جهت توسعه استراتژی‌های مدیریت پایدار اکوسیستم‌هاست. طی چند دهه گذشته، تلاش‌های قابل توجهی توسط دانشمندان برای ارائه محصولات شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) به منظور استفاده در تحقیقات پیرامون تغییرات جهانی پوشش گیاهی انجام شده است. توسعه این محصولات سنجش از دور مطالعه پویایی پوشش گیاهی را تقویت می‌کنند.

شاخص سطح برگ، یک شاخص بدون بُعد است، که در پوشش‌های گیاهی پهن‌برگ به عنوان مجموع سطوح یک طرفه برگ‌های سبز در واحد سطح زمین و در پوشش‌های سوزنی برگ به عنوان مجموع سطوح نیمه‌کروی برگ‌های سبز در واحد سطح زمین تعریف شده است (۴) و به عنوان یک شاخص بوم‌شناسی از اهمیت زیادی در مطالعه و آگاهی از تغییرات پوشش گیاهی برخوردار است. این شاخص یک پارامتر حیاتی از ساختار پوشش گیاهی در اکوسیستم، آب و هوا و مدل‌های عملکرد محصول می‌باشد که برای مطالعه تغییرات جهانی، مدلسازی آب و هوا و بسیاری دیگر از مشکلات مورد نیاز است. تغییر این شاخص، بودجه آب و انرژی یک سطح را با تغییر تعداد روزنه‌ها و سطح آلبدو تغییر می‌دهد که به نوبه خود بر چرخه‌های بیوشیمیایی و هیدرولوژیکی تأثیر بسزایی می‌گذارد. LAI را می‌توان با استفاده از مطالعات میدانی یا با استفاده از داده‌های سنجش از دور برآورد کرد. حتی اگر برآورد مستقیم و غیر مستقیم LAI با دقت بسیار بالایی صورت گیرد، اندازه‌گیری‌های میدانی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشند. سنجش از دور فرصت مناسبی برای برآورد LAI در مقیاس‌های بزرگ مکانی و زمانی فراهم می‌کند. اگرچه مدل‌های سنجش از دور برای اعتبار سنجی نیاز به LAI برآورد شده در میدان دارند، اما برآوردهای سنجش از دور این شاخص را برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات آب و هوایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی بسیار حائز اهمیت می‌سازند (۱۷). مطالعات بسیاری با استفاده از شاخص سطح برگ به بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی پرداختند که از آن جمله می‌توان به مطالعه ژو و همکاران (۲۵) اشاره کرد که روند شاخص سطح برگ را طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۹ مورد مطالعه قرار دادند، افزایش مداوم و گسترده شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح پوشش گیاهی جهان را تحت تأثیر قرار داده است، در حالی که کاهش این شاخص تنها در کمتر از ۴ درصد از سطح زمین مشاهده شده است. به طور مشابه، چن و همکاران (۳) تجزیه و تحلیل کامل‌تری از سبز شدن زمین با استفاده از LAI (۲۰۰۰–۲۰۱۷) ارائه دادند، در این مطالعه شواهدی مبنی بر اینکه مدیریت کاربری زمین توسط انسان یک محرک کلیدی برای "زمین سبز" است ارائه شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، پدیده روند سبز شدن به خوبی درک شده است، از طرفی تغییر سبز شدن به قهوه‌ای شدن در آینده قابل پیش‌بینی است و این امر تا حد زیادی به بازخورد پوشش گیاهی–اقلیم وابسته است. با این حال، چگونگی تأثیر سبز شدن زمین بر تغییرات آب و هوایی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی هنوز مشخص

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

نیست (۱۷). پاسخ پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی به دلیل وجود شـــرایط آب و هوایی ذاتی یک منطقه معین (۱۸) و پیچیدگی‌های گونه‌های مختلف از نظر فنولوژی (۶)، بسـیار متنوع اسـت. از این جهت، بررســـی تأثیر تغییرات پوشـــش گیاهی بر تغییرات دما در مقیاس‌های مختلف منطقه‌ای و جهانی حائز اهمیت اسـت. راسـول و همکاران (۱۷) رابطه بین LST و LAI را در سراسر قاره‌ها برای تعیین پاسخ پوشـش گیاهی به تغییرات دمای سـطح زمین (Land Surface Temperature, LST) مورد ارزیـابی قرار دادنـد. نتـایج آنهـا روند سـبز شـدن قابل توجهی را در کشـورهای چین و هند نشـان داد. همچنین، اســـتنتاج دوگانـه‌ای از رابطـه بین LAI و LST را گزارش کرده‌اند. بدین صـورت که در چین، یک ارتباط ناچیز بین روند سبز شـدن و دما ظاهر شـد اما در هند، روند سبز شـدن قابل توجه ممکن است عاملی در کاهش دما باشد. بنابراین، در صورت ادامه روند سبز شـدن، ممکن است دما تثبیت شـود. محققین اظهار داشـتند که می‌توان روندهای هر دو کشـور را به سـیاسـت‌های مختلف مدیریت کاربری زمین و ســیاســـت‌های کنترل گازهای گلخانه‌ای که توسط این کشورها اتخاذ شده است، نسبت داد.

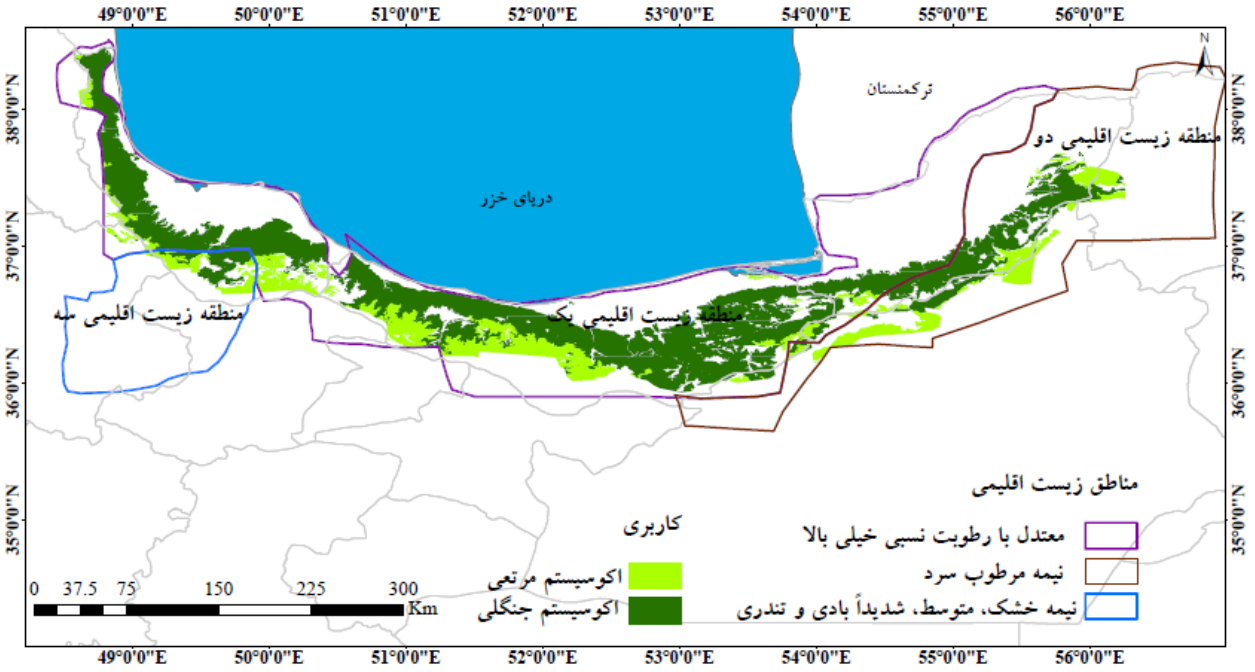
تغییرات پوشـــش گیاهی را می‌توان در مقیاس‌هـای مختلف زمانی و مکانی از طریق داده سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی حاصـل از داده‌های ماهواره‌ای پایش کرد. شـاخص سـطح برگ، یکی از شـــاخص‌های کاربردی و مهم در این زمینه اســـت. تغییرات زمانی در پوشش گیاهی ممکن است به صورت روندهای افزایشـی (Greening) یا کاهشـی (Browning) باشـد. شـناخت این تغییرات و تعیین روند آنها در گذشـته و آینده می‌تواند راه‌گشـای تصمیم‌گیری مؤثر برای مدیریت و بهبود سیمای سرزمین در زمینه حفاظت از منابع طبیعی، احیای زیســـتگاه‌ها، مدیریت منابع آبی، کشـــاورزی پایدار، مبارزه با بیابان‌زایی و کاهش مخاطرات طبیعی نیز باشـــد. از طرفی مطالعه روند تغییرات LST و LAI می‌تولند فرآیندهای اکولوژیکی و تعاملات جو- زیست‌کره را نشان دهد و مبنایی را برای نظارت بر پوشـــش گیاهی و بازخورد آب و هوا ایجاد کند. این ارزیابی‌ها منجر به شـناخت هر چه بیشـتر شـرایط اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود و این امر قاعدتاً مدیریتی اصولی‌تر در زمینه مقابله با پیامدهای اکولوژیکی که مراتع، جنگل‌ها، سلامت انسان و اقتصاد کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به همراه خواهد داشت.

موقعیت منحصر به فرد مناطق شمالی ایران در حاشیه دریای خزر، از جمله اســـتقرار رشـــته کوه های مرتفع و توپوگرافی پیچیده، تنوع بارندگی و الگوهای اقلیمی این منطقه را به دنبال داشـته اسـت، به طوری که سـه زون مختلف زیسـت اقلیم را پوشش می‌دهد. بنابراین، بررسی شرایط مکانی و زمانی پوشش گیاهی شـمال ایران (پوشـش جنگلی و مرتعی) مهم و ضـروری است. در این مطالعه، فرضیه‌هایی بررسی شده است که براساس آن‌هـا، رونـد تغییـرات LAI و LST در منـاطق مختلف زیســـت‌اقلیمی شـــمال ایران در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ متفاوت خواهـد بود و تفاوت‌هـای قـابـل توجهی در تغییرات مکانی و زمانی این شـاخص‌ها بین اکوسـیسـتم‌های مرتعی و جنگلی هر یک از این مناطق مشـاهده می‌شـود. همچنین فرض بر این است که تغییرات LAI و LST در فصول مختلف در طول دوره مورد مطالعه، الگوهای خاصـی از تغییرات فصـلی در این مناطق را نشان خواهد داد.

در این مطالعه، ما از داده‌های LAI و LST مشاهدات حسگر طیف‌سنجی تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) استفاده کردیم تا (الف) روندهای تغییر LAI و LST را در ســـال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۲ در مناطق مختلف زیســـت‌اقلیمی شـــمال کشـــور مشـــخص کنیم، (ب) تفاوت تغییرات مکانی- زمانی LAI و LST را در اکوسـیسـتم‌های مرتعی و جنگلی هر یک از مناطق زیست اقلیمی شمال کشور را بررسی کنیم و (ج) تغییرات LAI و LST در فصـول مختلف در طول دوره مورد مطالعه را تفسـیر کنیم.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مناطق زیست اقلیمی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

کشور ایران به دلیل وجود اختلاف ۱۵ درجه‌ای دما که بین جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین نقطه آن وجود دارد، همچنین تنوع توپوگرافی و بارندگی حاکم بر آن دارای مناطق زیست اقلیمی متعددی است. بر اساس مطالعه خطیبی (۱۲) کشور ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره و ۱۹۷ متغیر اقلیمی به ۱۴ منطقه زیست اقلیمی (Bio-climatic region) همگن تقسیم‌بندی شده است. سه منطقه‌ی زیست اقلیمی واقع در حاشیه دریای خزر در این تحقیق به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده‌اند. همچنین در راستای ارتقاء دقت مطالعه روند LAI و LST، مراتع و جنگل‌های موجود در این مناطق از سایر کاربری‌ها جدا و مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل ۱). جزئیات شرایط اقلیمی و گونه‌های گیاهی غالب در هر یک از مناطق زیست اقلیمی در مطالعه‌ی خطیبی (۱۲) به طور کامل ارائه شده است. به طور خلاصه، منطقه شماره ۱ تحت عنوان "منطقه زیست اقلیمی معتدل، با رطوبت نسبی خیلی بالا " با مساحت ۱۶۲۶۹۷۴ هکتار جنگل و ۳۸۶۷۳۹ هکتار مرتع در سواحل دریای خزر واقع شده و شامل سطح وسیعی از استان مازندران به اضافه تمامی مناطق استان گیلان (بجز محدوده کوچکی در جنوب این استان) با متوسط ارتفاع ۱۱۱۷/۹۳ متر می‌باشد. منطقه شماره ۲ که تحت عنوان منطقه زیست اقلیمی نیمه مرطوب سرد نام‌گذاری شده است، ۳۴۲۴۳۳/۷۴ هکتار جنگل و ۱۳۳۵۸۸ هکتار مرتع از شمال شرقی کشور در ناحیه هیرکانی را به خود اختصاص می‌دهد. میانگین ارتفاع این پهنه زیست‌اقلیمی ۱۲۹۸/۲۹ متر است و نیمه جنوبی استان گلستان، نیمه شمالی و شمال غربی استان خراسان شمالی و بخش‌های شمالی استان سمنان را در برمی‌گیرد و به صورت نوار باریکی در امتداد سواحل خزر، بخش‌های کوچکی از جنوب شرقی استان مازندران را شامل می‌شود. منطقه شماره ۳، منطقه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

زیست اقلیمی نیمه خشک متوسط، سرد، شدیداً بادی و تندری نام دارد که با مساحت ۷۱۴۲۲ هکتار جنگل و ۴۲۰۷۸ هکتار نواحی مرتعی در جنوب استان گیلان و بخش‌هایی از این استان (رودبار، منجیل)، مناطقی در شمال غرب استان قزوین و مناطقی در شرق و شمال شرق استان زنجان قرار دارد. میانگین ارتفاع این پهنه اقلیمی ۱۵۱۳/۰۹ متر می‌باشد. نقشه موقعیت کاربری جنگل‌ها و مراتع کل کشور نیز از وب سایت مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (Research Institute of Forests and Rangelands R.I.F.R,2022; www.rifr-ac.ir) تهیه شد.

داده‌های مورد استفاده

محصول شاخص سطح برگ (MODIS/061/MYD15A2H V6.1) دارای قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه، سطح داده ۶، برای این مطالعه به کار رفت. برای تولید این محصول، الگوریتم، بهترین پیکسل موجود را از روی حسگرهای Terra و Aqua طی دوره ۸ روز انتخاب می‌کند (https://doi.org/10.5067/MODIS/MYD15A2H.061).

محصول دمای سطح زمین، روزانه (MODIS/061/MOD11A2 V6.1) از حسگر Terra دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه، سطح داده ۶، نیز مورد استفاده قرار گرفت. هر مقدار پیکسل داده‌های LST و LAI میانگین یک دوره ۸ روزه است.

(https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.061) .

روش کار

پیش‌پردازش داده‌ها

سامانه گوگل ارث انجین (Google Earth Engine, GEE) برای استخراج محصول LST و LAI از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ مورد استفاده قرار گرفت. فیلتراسیون در GEE برای انتخاب شناسه مجموعه داده شاخص سطح برگ و دمای سطح زمین، دوره مطالعه و باندهای مورد نظر استفاده شد. مقادیر دمای سطح زمین و شاخص سطح برگ به ترتیب در عوامل مقیاس ۰/۰۲ و ۰/۱ ضرب شدند. برای تجزیه و تحلیل، وضوح یک کیلومتر در نظر گرفته شد. شاخص سطح برگ در سامانه GEE تا وضوح یک کیلومتر با روش نزدیک‌ترین همسایه تهیه و استخراج شد.

روش تشخیص تغییر

برای تشخیص تغییرات LAI از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ داده‌ها به دو دوره تقسیم شدند: از ۲۰۱۱-۲۰۰۱ (دوره مرجع) و از ۲۰۲۲-۲۰۱۲ (دوره آزمایشی). به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی، تصویر شاخص سطح برگ مربوط به سال های ۲۰۲۲-۲۰۱۲ از تصویر مربوط به سال های ۲۰۱۱-۲۰۰۱ کسر شد.

آنالیزهای آماری

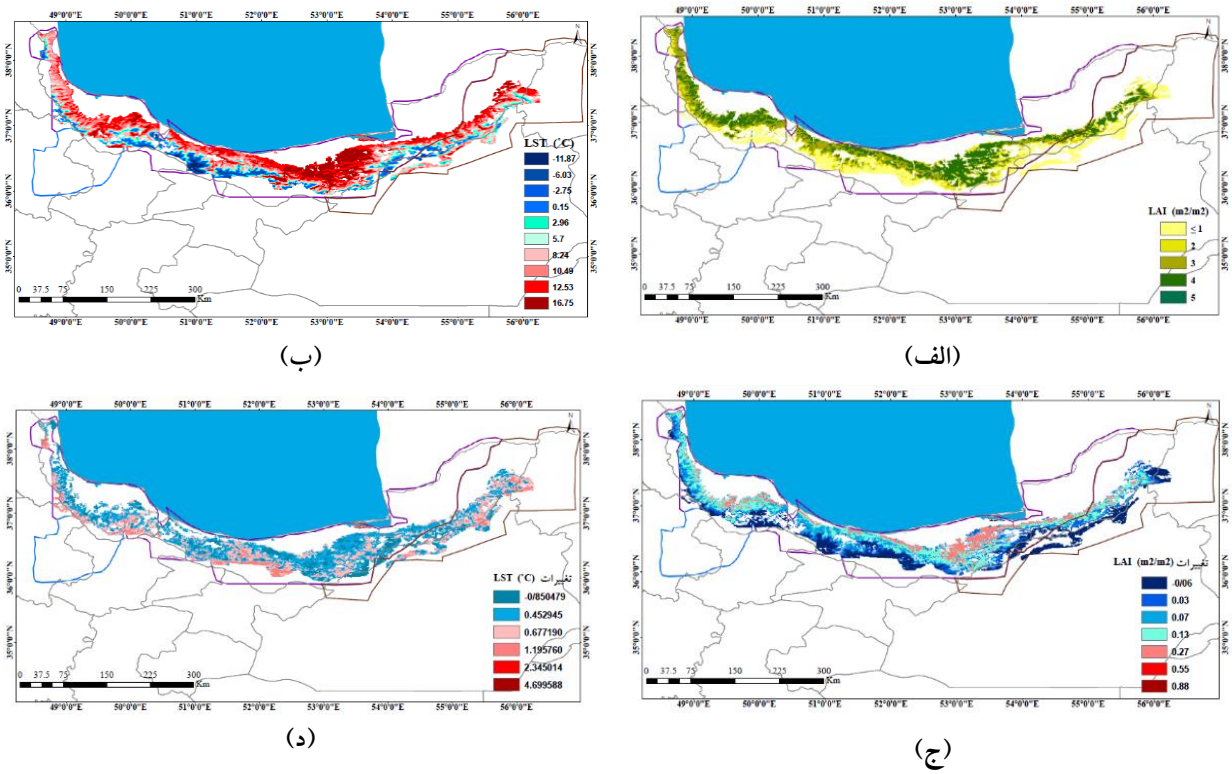
معنی‌داری روند تغییرات شاخص سطح برگ با استفاده از روش آماری ناپارامتری من–کندال (۱۳،۱۰) و میزان شیب خط روند به روش برآورد کننده شیب خط سن (۲۰،۱۹) ارزیابی شد. در صورتی که یک سری زمانی همبستگی مثبت داشته باشد، آزمون شناسایی روند (به طور مثال، آزمون من کندال)، روند قابل توجهی را بیشتر از یک سری مستقل پیشنهاد می‌کند. برای اصلاح این وضعیت، پیشنهاد شده است که سری‌های زمانی قبل از انجام تست شناسایی روند «پیش‌سفید» شوند (۲۲). در این مطالعه، ابتدا همبستگی بین سری‌های ماهانه بررسی شد و با توجه به وجود خودهمبستگی بین سری‌های ماهانه هر دو شاخص مورد مطالعه، ابتدا ضریب خود همبستگی

(Autocorrelation Function, ACF) سری‌های ماهانه LAI و LST محاسبه شد و سپس آزمون من کندال پیش‌سفید کردن (Prewhitening Mann Kendal, PW-MK) روی داده‌های پیش‌سفید شده اعمال شد.

به منظور پیدا کردن نقاط تغییر در سری زمانی داده‌ها آزمون پتیت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]



(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل ۲: (الف) میانگین شاخص سطح برگ و (ب) میانگین دمای روزانه سطح زمین در سال ۲۰۲۲، تفاوت بین میانگین (ج) شاخص سطح برگ و (د) دمای روزانه سطح زمین در بازه‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۱ و ۲۰۲۲-۲۰۱۲

مورد استفاده قرار گرفت. تست پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع برای تشخیص تغییرات معنی‌دار در میانگین سری زمانی می‌باشد. این آزمون به داده‌های پرت حساس نیست و برای داده‌هایی که توزیع آماری خاصی ندارند مناسب است. در این آزمون، ابتدا مقادیر k_i در سری زمانی بر اساس مقدارشان مرتب و رتبه‌های Ti برای مقادیر متناظر k_i مشخص می‌شوند. سپس، مقدار آماره U_K با استفاده از روابط (۵) و (۶) برآورد شده و با مقادیر بحرانی ارائه شده توسط پتیت (۱۵) مقایسه می‌شوند. در صورتی که آماره از مقادیر بحرانی عبور کند، زمان مربوط به داده بیشینه U_t معادل زمان بروز ناهمگنی خواهد بود:

$$Uk=2\sum_{i=1}^{k} Ti - k\ (n+1)\ k = (1,\dots,n) \quad (۵)$$

$$U_t = max|U_K| \quad (۶)$$

k_i: نمایانگر مقدار داده‌ها در سری زمانی در نقطه i است.

T_i: رتبه‌ی هر داده در سری زمانی

n: تعداد کل داده‌ها در سری زمانی

U_t: حداکثر مقدار مطلق آماره U_k در طول سری زمانی

نتایج

میانگین LAI و LST برای سال ۲۰۲۲

با توجه به محصولات LAI و LST در سال ۲۰۲۲ بیشترین میزان سبز شدن در جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک مشاهده شد(شکل ۲. الف). بیشترین مناطقی که مقدار LST بالاتری داشتند در جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک (بخش‌هایی از استان مازندران) و بخش‌های شمالی منطقه زیست اقلیمی شماره

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

دو (شهرستان گنبد کاووس) مشاهده شد. همانطور که در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است، مناطق با بیشترین مقدار شاخص سطح برگ همواره مقدار LST بین ۱۲ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند(شکل ۲. ب).

تغییرات شاخص سطح برگ و دمای روزانه سطح زمین در منطقه رویشی هیرکانی از ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

تغییرات میانگین LAI و LST بین دوره‌های مرجع (۲۰۱۱-۲۰۰۱) و آزمایشی (۲۰۲۲-۲۰۱۲) به منظور بررسی تغییرات مکانی- زمانی پوشش گیاهی به صورت کمّی از طریق تفاوت تصویر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۲. ج و د). تغییرات مثبت LAI از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در منطقه مورد مطالعه بیشتر از تغییرات منفی آن بوده است. در واقع، مناطقی که بیشترین تفاوت را در LAI بین دوره مرجع و آزمایشی داشتند و روند افزایشی را نشان می‌دهند، به ترتیب در جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک (مناطق وسیعی از استان مازندران، تمامی مناطق گیلان به جز محدوده کوچکی از جنوب این استان، نزدیکترین نقاط به سواحل دریای خزر)، منطقه زیست اقلیمی شماره سه (نواحی مرتعی گیلان شامل شهرهای منجیل و رودبار) و منطقه زیست اقلیمی شماره دو (نیمه جنوبی استان گلستان و نیمه شمال و شمال غربی خراسان شمالی) بودند. افزایش LAI مشاهده شده بین ۱/۴۶۹ – ۳/۸۰۵ مترمربع بر متر مربع بود. همچنین مساحت بسیار کمی از پهنه‌های اقلیمی مذکور دارای افزایش ۶/۱۴۱ مترمربع در هر متر مربع در مقدار LAI بودند. شاخص سطح برگ در بخش‌هایی از مراتع و جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک و همچنین در جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره دو، کاهش یافت (مراتع شهرستان‌های گلوگاه و بهشهر). این امر به‌ویژه در بخش‌هایی از جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره دو یعنی شمال شرق هیرکانی با مقادیر (۰/۱- تا ۰/۴- مترمربع/مترمربع) از سال ۲۰۰۱ را نشان داد. تغییرات در میانگین LST بین دوره مرجع و آزمایشی در اکثر پهنه‌های زیست اقلیمی منطقه مورد مطالعه، منفی بود (شکل ۲. د). نتایج، این تغییرات را در جنگل‌ها منفی‌تر از مراتع نشان داد (مراتع ۳- تا ۰/۸+ و جنگل ها ۴- تا ۶- درجه سانتی‌گراد). به طوری که در مراتع منطقه زیست اقلیمی شماره یک، تغییرات میانگین LST بیشتر و در بخش‌هایی چون مراتع شهرستان‌های گلوگاه و بهشهر مثبت است (۲/۳۶- تا ۰/۸۴+).

روند LAI در پهنه‌های اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی

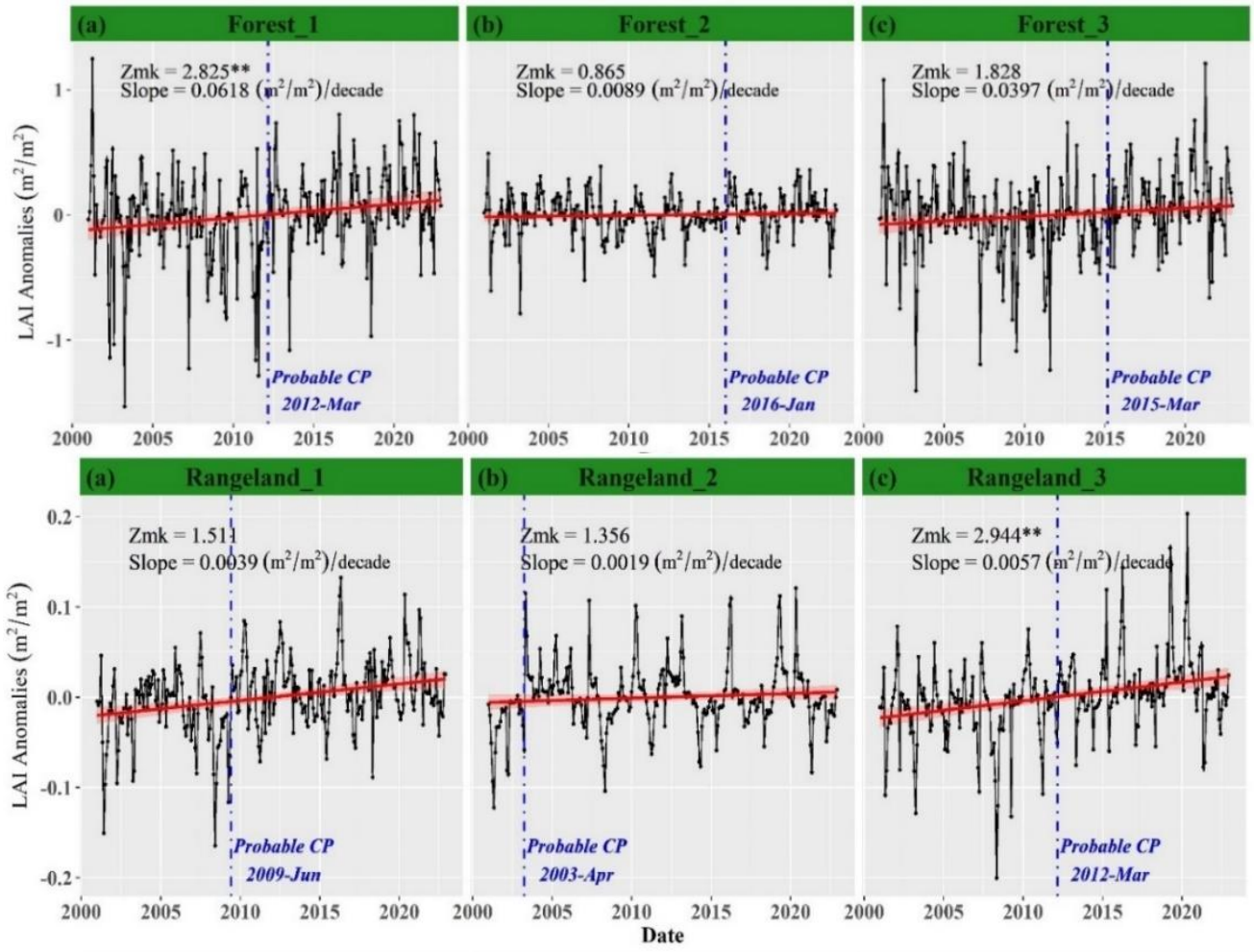
الگوی زمانی روند در LAI برای جنگل و مراتع، پهنه‌های مختلف اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی به ترتیب در شکل ۳ نشان داده شده است. جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک (Forest_1) با مقدار آماره Z برابر با ۲/۸۲۵ و مراتع منطقه زیست اقلیمی شماره سه (Rangeland_3) با مقدار آماره Z برابر با ۲/۹۴۴ در هر دو سطح ۰/۹۵ و ۰/۹۹ دارای روند معنی‌داری بودند. شیب تغییرات برای این دو منطقه به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۰۵ متر مربع در متر مربع در هر دهه شناسایی شد. نتایج نشان داد که عمده تغییرات افزایشی معنی‌دار LAI در ماه‌های مارس تا آوریل (اواخر زمستان تا اواسط بهار) در اغلب پهنه‌های اقلیمی رخ داده است. لازم به ذکراست که به طور کلی آماره‌های روند مربوط به LAI در تمامی پهنه‌های زیست اقلیمی مورد مطالعه مثبت بود. مقادیر آماره‌های Z، شیب تغییرات در هر دهه (شیب) و نقطه احتمال تغییر روند (Probable CP) برای هر یک از پهنه‌ها در شکل‌های مربوطه آورده شده است.

روند LST در پهنه‌های اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی

الگوی زمانی روند در LST برای جنگل‌ها و مراتع واقع در پهنه‌های مختلف اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی در شکل ۴ نشان داده شده است. جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره دو (Forest_2) با مقدار آماره Z برابر با ۲/۰۷۱ در سطح ۰/۹۵ دارای روند معنی‌داری است. شیب روند تغییرات LST در این جنگل‌ها

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]



شکل ۳ . روند LAI در جنگل‌ها (ردیف بالا) و مراتع (ردیف پایین) واقع در پهنه‌های اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

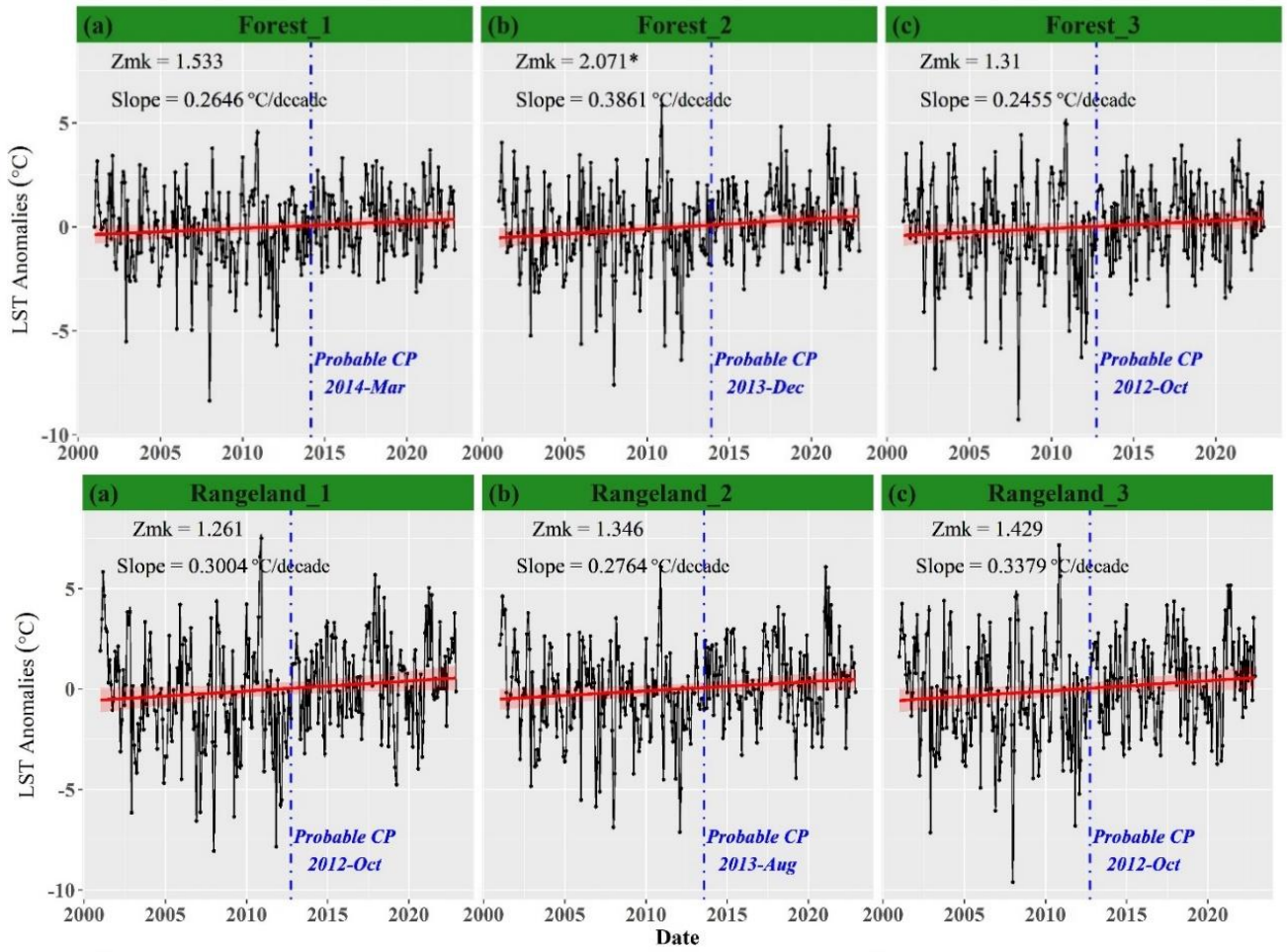
۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در هر ده سال می‌باشد. تغییرات افزایشی معنی‌دار LST در این پهنه مربوط به ماه دسامبر (اواخر پاییز) می‌باشد. نوسانات زیادی در روند تغییرات LST در طول دوره مورد مطالعه رخ داد، به طوری که در جنگل و مراتع تمامی پهنه‌ها شاهد افت دما در سال ۲۰۰۸ بودیم ولی اکثر این مناطق فاقد روند معنی‌دار بودند. البته لازم به ذکر است که بر اساس نتایج، آماره روند تغییرات دمای روزانه سطح زمین در تمامی پهنه‌های مورد مطالعه مثبت بود و در منطقه زیست اقلیمی شماره سه LST بیشتر از دو منطقه دیگر بوده است.

تغییرات سری زمانی سالانه LAI و LST در فصول مختلف در اکوسیستم‌های مرتع و جنگل منطقه رویشی هیرکانی

رابطه بین LAI و LST برای مراتع و جنگل‌های منطقه مورد مطالعه در فصل‌های مختلف ارزیابی شد تا پاسخ پوشش گیاهی به تغییرات LST در هر یک از چهار فصل سال مشخص شود (شکل ۵). در اکوسیستم مرتع شاهد رابطه ضعیفی بین LAI و LST در فصول بهار و تابستان (به ترتیب R^2= ۰/۰۵ و R^2= ۰/۱۴) بودیم.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

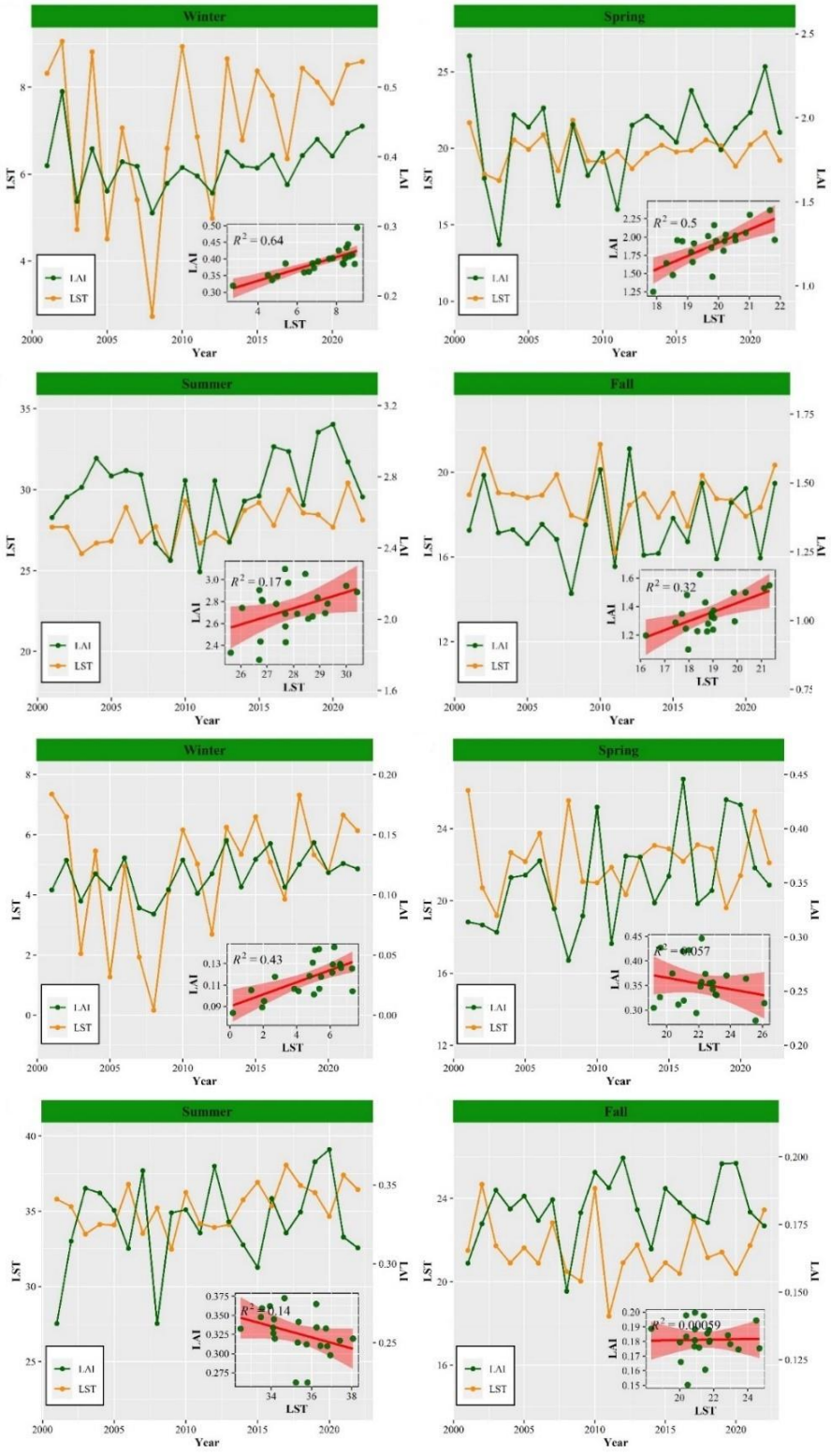
[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]



شکل۴. روند LST جنگل‌ها (الف) و مراتع (ب) واقع در پهنه‌های اقلیمی منطقه رویشی هیرکانی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

هیچ رابطه معناداری بین این دو شاخص در فصل پاییز مشاهده نشد (R^2=۰/۰۰۰۵۹). در حالی که یک رابطه متوسط معنادار در زمستان مشاهده شد (R^2= ۰/۴۳). این امر می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت بالای پوشش گیاهی فتوسنتزی به LST در این فصل باشد. در اکوسیستم جنگلی یک رابطه قوی معنادار در زمستان مشاهده شد (R^2= ۰/۶۴). در بهار و پاییز شاهد رابطه متوسطی بودیم (به ترتیب ۰/۵ =R^2 و۰/۳۲ =R^2). در تابستان این ارتباط ضعیف بود (R^2= ۰/۱۷). مطالعات نشان دادند که در مقیاس جهانی، LAI و LST با هم ارتباط منفی دارند و با افزایش LAI، دمای سطح زمین کم‌تر می‌شود. با این حال، تأثیر LAI منطقه‌ای بر آب و هوای سطح زمین به طور قابل توجهی از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر متفاوت است (۱۷). به طوری که در این مطالعه، میانگین مقدار LAI سالانه در اکوسیستم جنگلی حدود ۱/۵۸ بود که در آن میانگین LAI در تابستان (۲/۷۲) و به دنبال آن بهار (۱/۸۸) بالاترین مقدار را داشتند. در تمامی فصول اثر سبز شدن در اکوسیستم جنگلی منطقه رویشی هیرکانی مشاهده شد. همچنین، میانگین مقدار LST سالانه در اکوسیستم جنگلی حدود ۱۸/۴۱ درجه سانتی‌گراد بود که بیشترین مقدار به ترتیب مربوط به تابستان (۲۷/۸۶) و بهار (۱۹/۸۱) بدست آمد. این مطالعه، رابطه مستقیم بین LAI و LST در اکوسیستم جنگلی در مقیاس منطقه‌ای

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]



(الف)

(ب)

شکل ۵. پراکنش نقطه‌ای تغییرات سری زمانی سالانه LAI و LST در فصل‌های مختلف در اکوسیستم‌های جنگلی (الف) و مرتعی (ب)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

جدول ۱. تغییرات سری زمانی سالانه LAI و LST در فصل‌های مختلف در اکوسیستم‌های جنگلی

اکوسیستم	متغیر	آماره	پاییز	تابستان	بهار	زمستان
جنگل	شاخص سطح برگ	آماره روند من-کندال	۰/۲۸۲	۱/۲۴۱	۰/۷۳۳	۱/۵۷۹
		شیب تغییرات در هر دهه	۰/۰۲۴	۰/۱۱۲	۰/۱۰۲	۰/۰۲۷
	دمای سطح زمین	آماره روند من-کندال	-۱/۰۷۲	۲/۱۴۳*	۰/۶۷۷	۰/۹۵۹
		شیب تغییرات در هر دهه	-۰/۲۹۶	۰/۹۹۴	۰/۳۰۴	۰/۷۶۳

جدول ۲. تغییرات سری زمانی سالانه LAI و LST در فصل‌های مختلف در اکوسیستم‌های مرتعی

اکوسیستم	متغیر	آماره	پاییز	تابستان	بهار	زمستان
مرتع	**شاخص سطح برگ**	**آماره روند من-کندال**	**۰/۶۷۷**	**۰/۵۰۸**	**۲/۰۸۷***	**۱/۸۶۱**
		شیب تغییرات در هر دهه	**۰/۰۰۳**	**۰/۰۰۵**	**۰/۰۲۵**	**۰/۰۱۱**
	دمای سطح زمین	**آماره روند من-کندال**	**-۰/۱۱۳**	**۲/۰۸۷***	**۰/۵۰۸**	**۱/۰۱۵**
		شیب تغییرات در هر دهه	**-۰/۰۴۵**	**۰/۹۶۱**	**۰/۳۱۱**	**۰/۷۹۲**

را نشان داد. در طول دوره مطالعه، تابستان بیشترین شیب افزایش LAI (۰/۱۱۲ در هر دهه) و به دنبال آن بهار (۰/۱۰۲ در هر دهه)، زمستان (/۲۷ در هر دهه۰) و پائیز (۰/۲۴ در هر دهه) را داشت. LAI در هیچ فصلی در اکوسیستم جنگل روند معنی‌داری از خود نشان نداد. اما LST در فصل تابستان دارای روند معنی‌داری (Z =۲/۱۴۳*) بود. در اکوسیستم مرتعی میانگین مقدار LAI سالانه ۰/۲۴ بود که در آن میانگین LAI در بهار (۰/۳۵) و به دنبال آن تابستان (۰/۳۳) بالاترین مقدار را داشتند. از طرفی، میانگین مقدار LST سالانه در اکوسیستم مرتع ۲۰/۹۴ سانتی‌گراد بود که بیشترین مقدار به ترتیب مربوط به تابستان (۳۵/۳۱) و بهار (۲۲/۲۱) بود. در طول دوره مطالعه، بهار بیشترین شیب افزایش LAI (۰/۰۲۵ در هر دهه)، زمستان (۰/۰۱۱ در هر دهه)، تابستان (۰/۰۰۵ در هر دهه) و پائیز (۰/۰۰۳ در هر دهه) را داشتند. در این اکوسیستم، LAI در فصل بهار دارای روند افزایشی معنی‌داری (Z = ۲/۰۸*) بود. در حالی که LST در فصل تابستان روند افزایشی معنی‌داری (Z = ۲/۰۸۷*) داشت (جدول‌های ۱ و ۲).

بحث

با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای، در این مطالعه روند تغییرات LAI و LST از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ در جنگل‌ها و مراتع پهنه‌های اقلیمی مختلف منطقه رویشی هیرکانی واقع در شمال ایران بررسی شد. از یک رویکرد تشخیص تغییر برای بررسی کمّی تنوع بین سالانه در LAI و LST در شمال کشور بین دو دوره (۲۰۱۱-۲۰۰۱) و (۲۰۲۲ - ۲۰۱۲) استفاده شد. تحلیل روند تغییرات LAI و LST و تنوع بین سالانه آن‌ها درک مناسبی از فرآیندهای اکولوژیکی و تعاملات زیست‌کره – جو حاکم بر جنگل‌ها و مراتع شمال کشور در اختیار ما قرار می‌دهد و مبنایی برای نظارت بر پوشش گیاهی و بازخورد آب و هوا ایجاد می‌کند (۲۵،۲۱). به عنوان مثال، جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک و مراتع منطقه زیست اقلیمی شماره سه به عنوان سبزترین پهنه‌های منطقه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

هیرکانی شناخته شدند. مطالعه حاضر جزئیات فضایی متغیرهای LAI و LST را در شمال کشور با نقشه‌برداری از الگوهای فضایی خطی بین دو دوره (۲۰۱۱ – ۲۰۰۱) و (۲۰۲۲–۲۰۱۲) نشان می‌دهد. تفاوت ماهیّت کاربری و پوشش زمین به تفاوت در سبز شدن مناطق مختلف می‌انجامد (۲۱). به طور کلی، در طول دوره مطالعه (۲۰۲۲–۲۰۰۱) روند افزایشی سبز شدن پهنه‌های اقلیمی به ترتیب مربوط به جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره یک، منطقه زیست اقلیمی شماره سه و منطقه زیست اقلیمی شماره دو بوده است. بدین ترتیب که هر چه فاصله از دریای خزر بیشتر می‌شود روند سبز شدن کمتری را از خود نشان می‌دهد. منطقه زیست اقلیمی شماره یک نزدیکترین منطقه به دریای خزر و مرطوب‌ترین منطقه زیست اقلیمی مورد مطالعه است و درصد رطوبت بالای این منطقه می‌تواند دلیلی برای پایداری این اکوسیستم در برابر تغییرات اقلیمی که در بازه مورد مطالعه حاشیه خزری را تهدید کرده است، باشد. از طرف دیگر، تنوع توده‌ی درختی این منطقه با بهبود کیفیت مشخصه‌های خاک، به نسبت دو منطقه دیگر باعث سلامت و روند سبزینگی مثبت این منطقه شده است. نتایج حاصل، مقدار روند سبز شدن و قهوه‌ای شدن مناطق زیست اقلیمی مورد مطالعه را بین دو بازه زمانی ۲۰۱۱–۲۰۰۱ و ۲۰۲۲–۲۰۱۲ به ترتیب برابر با (۰/۷۶ – ۸/۲۳) و ۰/۸۶ متر مربع در متر مربع نشان داد. در مقایسه با این نتیجه، پژوهشی توسط Khare و همکاران (۲۰۲۱) انجام شده است که بر نقش کلیدی دریای خزر به عنوان منبع اصلی بارش در منطقه هیرکانی تأکید دارد. ایشان نیز بیان کرده‌اند که رشد بیشتر پوشش گیاهی در طول‌های جغرافیایی غربی (بخش‌های غربی منطقه زیست اقلیمی شماره یک، منطقه زیست اقلیمی شماره سه) را می‌توان به فاصله نزدیک‌تر بین دریای خزر و کوه‌های البرز نسبت داد، که باعث افزایش نرخ بارش در طول سال می‌شود(۱۱). تغییرات LST در این بازه زمانی دارای روند افزایشی در بازه ۴/۶۹ – ۰/۴۵ درجه سانتی‌گراد و روند کاهشی ناچیزی به مقدار ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد بود. برای درک بهتر الگوی تغییرات LAI و LST در مناطق زیست اقلیمی مختلف منطقه رویشی هیرکانی، روند زمانی آن‌ها در هر منطقه زیست اقلیمی ارزیابی شد. رابطه LAI و LST نشان می‌دهد که چگونه تفاوت در LAI در پهنه‌ها بر روند LST تأثیر می‌گذارد. رابطه منفی معنی‌داری بین LAI و LST در جنگل‌های منطقه زیست اقلیمی شماره دو (Forest_2) مشاهده شد (شکل۵). نبود رابطه مشخص و قوی در مراتع و جنگل‌های سایر پهنه‌های اقلیمی می‌تواند به دلیل دخالت‌های انسانی (به طور مثال آتش‌سوزی، جنگل‌زدایی، خشکسالی و ...) همچنین نزدیکتر بودن به دریای خزر باشد. با توجه به برخی مطالعات در سایر نواحی دنیا که در مناطق کاملاً مرطوب و نزدیک منابع آبی همچون اقیانوس آرام، اطلس و هند، انجام گرفته (۲۳،۹،۲) ونتیجه گرفتند با افزایش دما، بارندگی هم افزایش می‌یابد، این توجیه تقویت می‌شود که پهنه‌های زیست اقلیمی نزدیکتر به دریای خزر (پهنه زیست اقلیمی شماره یک) با افزایش دما در نتیجه تبخیر بیشتر، بارندگی بیشتری دارتد که منجر به افزایش LAI نیز خواهد شد. رابطه LAI و LST در فصول مختلف سال در اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی الگوی متفاوتی از خود نشان داده است. به طوری که در اکوسیستم جنگل، در زمستان (R^2 = ۰/۶۴) و بهار (R^2 = ۰/۵) شاهد رابطه معنی‌دار بین این دو شاخص بودیم که دلیل اصلی آن را می‌توان به حفظ بیشتر دمای سطح زمین توسط پوشش گیاهی بر اثر نزولات جوی در این دو فصل، حاصلخیزی زیر اشکوب، فعالیت‌های مدیریتی و افزایش دمای سطح زمین با توجه به زاویه تابش خورشید نسبت داد. در فصل تابستان دمای سطح زمین از روند معناداری برخوردار بود (Z = ۲/۱۴۲). در این فصل، رابطه ضعیفی بین دو شاخص مورد نظر مشاهده شد (R^2 = ۰/۱). نکته قابل توجه اینکه در فصل تابستان در اکوسیستم جنگل شاهد افزایش شاخص سطح برگ نسبت به سایر فصول هستیم که می‌تواند به دلیل اوج رشد تاج‌پوشش درختان در این فصل باشد. همچنین ترکیب تاج‌پوشش توده‌های جنگلی به طور مثال توده‌ی راش–

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

ممرز-پلت (در غرب منطقه زیست اقلیمی شماره یک) منجر به بهبود تنفس میکروبی خاک در تابستان می‌شود (۸) در نتیجه بهبود فعالیت زیستی خاک به عنوان یکی از فرآیندهای اصلی در کنترل کربن بوم سازگان‌های طبیعی، سلامت و کیفیت زی‌توده اکوسیستم جنگلی را به همراه دارد. تنوع پوشش گیاهی در فصل بهار و تابستان باعث شده که نوسانات LST در طول دوره مورد مطالعه کمتر باشد. همچنین، خزان برگ‌ها در فصل پائیز عایقی از برگ روی سطح زمین ایجاد کرده و منجر به بروز نوسانات بسیار کمتری در میزان LST نسبت به زمستان می‌شود. در اکوسیستم مرتعی منطقه رویشی هیرکانی بدلیل وجود تنوع بالای پوشش گیاهی و همچنین یکنواختی میزان بارش، شاهد افزایش میزان LAI به ترتیب در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان هستیم. به طوری که میزان تغییرات این شاخص در زمستان دارای نوسانات کمتری نسبت به سه فصل دیگر است که دلیل آن می‌تواند عدم وجود اندام‌های هوایی گیاهان در فصل زمستان باشد. به طوری که در بهار به دلیل وجود شرایط رویشی مناسب، گونه‌های موجود رشد کرده و در نهایت در تابستان به حداکثر رشد خود می‌رسند. همچنین در پاییز به دلیل اینکه برخی گونه‌ها وارد مرحله زایشی خود شده و ممکن است به مرحله گلدهی برسند، میزان LAI در این فصل نیز به نسبت بهار و تابستان کمتر، اما نسبت به زمستان بیشتر است. به طور کلی، LST در اراضی که پوشش گیاهی کمتری دارند نسبت به اراضی که دارای تنوع پوشش گیاهی و درختی هستند، دارای نوسانات بیشتری است. در این راستا، در فصل زمستان به دلیل اینکه پوشش گونه‌های زیر اشکوب در اکوسیستم جنگلی از بین رفته و اندام‌های هوایی درختان نیز خزان کرده‌اند، انرژی دریافتی از نور خورشید در این فصل بر خصوصیات سطحی خاک تأثیر گذاشته و نوسانات بیشتری را در میزان LST بوجود می‌آورد (۱ تا ۹ درجه). قابل ذکر است که در اکوسیستم جنگلی، نوسانات LAI در تمام فصول با نوسانات LST همسو است.و با افزایش یا کاهش میزان LAI، میزان LST نیز کاهش یا افزایش یافت. درحالی که در اکوسیستم مرتعی منطقه مورد مطالعه، نوسانات LAI و LST در بهار و تابستان رابطه معکوسی داشته و با افزایش LAI شاهد کاهش LST بودیم و بالعکس. بازخورد منفی LST نسبت به LAI می‌تواند به دلیل بازخورد غیر مستقیم اقلیمی باشد. همچنین، اثر خنک‌کنندگی ناشی از سایه‌اندازی تاج پوشش در طول فصل رشد در بهار و تابستان نیز مؤثر می‌باشد. روند تغییرات LAI در منطقه زیست اقلیمی شماره سه معنادار بوده و روند LST این منطقه به نسبت دو منطقه دیگر بیشتر بوده است. در این راستا، لازم به ذکر است که منطقه زیست اقلیمی شماره سه، ارتفاع بیشتری نسبت به دو منطقه زیست اقلیمی دیگر دارد. با توجه به سایر مطالعات از جمله مطالعه دستی‌گردی و همکاران (۷) با افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در ارتفاعات، این امکان به وجود آمده که با افزایش طول دوره رشد و وقوع شرایط دمایی مناسب رشد در ارتفاعات، شرایط زیستی برای رشد بیشتر گیاهان در ارتفاعات مناسب می‌شود. همانطور که ذکر شد، در این منطقه به نسبت دو منطقه دیگر شاهد افزایش دمای سطح زمین بودیم که می‌تواند باعث بهبود شرایط رشد پوشش گیاهی این منطقه شده باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، از تحلیل روند LAI و LST برای تعیین حساسیت LST در کاربری‌های مرتع و جنگل به تغییرات LAI در پهنه‌های زیست اقلیمی مختلف شمال ایران استفاده شد. این رویکرد به ما امکان می‌دهد پی ببریم چگونه سبز شدن پوشش گیاهی، دمای سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات ناهمگن و تنوع در پهنه‌های مختلف اقلیمی را آشکار می‌سازد. نتایج نشان داد که در طول دوره مطالعه، در تمامی مناطق زیست اقلیمی، شاخص سطح برگ رو به افزایش است که نشان از اثربخشی روش‌های مدیریتی خاص، به‌ویژه در جنگل‌های شمالی، در کنترل دمای سطح زمین دارد. همچنین، در اکوسیستم‌های جنگلی، ارتباط مستقیم بین LAI

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

و LST در تمام فصول سال مشاهده شد، در حالی که در اکوسیستم‌های مرتعی، ارتباط مستقیم در بهار و تابستان و ارتباط معکوس در پاییز و زمستان وجود داشت. افزایش معنی‌دار روزانه و سالانه در دمای سطح زمین در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی مشاهده شد، به جز در فصل بهار که یک روند خنک‌کننده در میانگین دمای سطح زمین مشاهده شد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که نوع پوشش زمین (جنگل یا مرتع) می‌تواند حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تغییرات دمای سطح زمین نشان دهد که به تغییرات در شاخص سطح برگ برمی‌گردد. به طور کلی، در حالی که تغییرات LAI به سمت سبز شدن بودند، اما این تغییرات به اندازه‌ای معنی‌دار نبودند که بتوانند تغییرات قابل توجهی در دمای سطح زمین ایجاد کنند. بنابراین، برای درک بهتر تغییرات دمای سطح زمین ناشی از تغییرات در LAI، مطالعات دقیق‌تر در مناطقی که تحت تاثیر تغییرات قابل توجه در پوشش گیاهی هستند (مانند پروژه‌های جنگل‌کاری بزرگ، فضاهای سبز در نزدیکی شهرها، مناطق مدیریت شده مراتع مانند قرق و ...) ضروری است. این مطالعه اطلاعات ارزشمندی ارائه می‌دهد که برای درک بهتر تعاملات پیچیده بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در مناطق اقلیمی مختلف و فصول مختلف در شمال ایران و همچنین برای اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی و تطبیقی مناسب با اقلیم از جمله: توسعه پروژه‌های جنگل‌کاری، قرق مراتع، ایجاد و توسعه فضای سبز، ضروری است. این راهکارها و استراتژی‌ها نه تنها به بهبود مدیریت زمین و سازگاری با تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند به توسعه پایدار و حفظ اکوسیستم‌های طبیعی نواحی شمالی ایران نیز کمک کنند. با توجه به نتایج این پژوهش، اجرای این راهکارها می‌تواند به کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت زندگی در این مناطق منجر شود.

سپاسگزاری

این پژوهش از رساله دکتری استخراج شده است و بدین وسیله از حمایت‌های دانشگاه صنعتی اصفهان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Azizi, S. and T. J. A. Azizi. 2023. Noninteger dimension of seasonal land surface temperature (LST). *Axioms* 12(6): 607.
2. Burns, D. A., J. Klaus and M. R. McHale. 2007. Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA. *Journal of Hydrology* 336(1-2): 155-170.
3. Chen, C., T. Park, X. Wang, S. Piao, B. Xu, R. K. Chaturvedi, R. Fuchs, V. Brovkin, P. Ciais and R. J. Fensholt. 2019. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability* 2(2): 122-129.
4. Chen, J. M. and T. J. P. Black. 1992. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment* 15(4): 421-429.
5. Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogée, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, C. Bernhofer and A. J. N. Carrara. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437(7058): 529-533.
6. Cowles, J., B. Boldgiv, P. Liancourt, P. S. Petraitis and B. B. Casper. 2018. Effects of increased temperature on plant communities depend on landscape location and precipitation. *Ecology and evolution* 8(11): 5267-5278.
7. Dastigerdi, M., M. Nadi, M. Raeini-sarjaz and K. Kiapasha. 2022. Vegetation trend analysis using NDVI time series of Modis satellite in the northeast of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation* 29(1): 135-150. (In Persian)
8. Karimiyan, A., K. Taheri abkenar, Y. Kooch and A. Salehi. 2019. Effect of canopy composition of tree species on soil organic and mineral properties at west Hyrcanian forests of Iran (Case Study: Korkoroud forests in Noshahr). *Journal of Forest and Wood Product* 72(1): 47-56. (In Persian)
9. Keim, B. D., M. R. Fischer and A. M. Wilson. 2005. Are there spurious precipitation trends in the United States Climate Division database?. *Geophysical Research Letters 32*(4). https://doi.org/10.1029/2004GL021985

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

10. Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Measures. Charles Griffin, London.
11. Khare, S., H. Latifi and S. Khare. 2021. Vegetation growth analysis of UNESCO world heritage Hyrcanian forests using multi-sensor optical remote sensing data. *Remote Sensing*, 13(19): 3965.
12. Khatibi, R. 2016. Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. PhD thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan. Iran (In Persian)
13. Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Journal of the Econometric Society*. 13(3): 245-259.
14. Pan, N., X. Feng, B. Fu, S. Wang, F. Ji and S. J. R. Pan. 2018. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *Remote Sensing of Environment* (214): 59-72.
15. Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* 28(2): 126-135.
16. Qian, Z., Y. Sun, Z. Chen, F. Ji, G. Feng and Q. J. R. S. Ma .2023. Analysis of land surface temperature sensitivity to vegetation in China. *Remote Sensing* 15(18): 4544.
17. Rasul, A., S. A. Ibrahim, A. R. Onojeghuo and H. J. L. Balzter. 2020. A trend analysis of leaf area index and land surface temperature and their relationship from global to local scale. *Land* 9(10): 388.
18. Richardson, A. D., T. F. Keenan, M. Migliavacca, Y. Ryu, O. Sonnentag and M. Toomey. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* 169: 156-173.
19. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324): 1379-1389.
20. Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes Mathematicae* 12(85): 173.
21. Turner, D. P., W. B. Cohen, R. E. Kennedy, K. S. Fassnacht and J. M. Briggs. 1999. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. *Remote Sensing of Environment* 70(1): 52-68.
22. Von Storch, H. 1999. Misuses of statistical analysis in climate research. In: *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*. Elba, Italy. pp. 11-26. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.Wang, J. 1994. The analysis of the hydrological characteristics of the Yarlung Zangbo River and its anabranches. *Bulletin of Soil and Water Conservation* 14(2): 54-58.
23. Zheng, D., Y. Wang, Y. Shao and L.Wang. 2019. The vegetation dynamics and climate change responses by leaf area index in the Mu Us Desert. *Sustainability* 11(11): 3151.
24. Zhu, Z., S. Piao, R. B. Myneni, M. Huang, Z. Zeng, J. G. Canadell, P. Ciais, S. Sitch, P. Friedlingstein and A. J. Arneth. 2016. Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change* 6(8): 791-795.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Evaluation of Spatio-Temporal Changes in Leaf Area Index and Land Surface Temperature in the Bioclimatic Regions of Northern Iran

A. Bazrmanesh[1], S. Soltani Koupaei[2*], M. Tarkesh Esfahani[3] and R. Jafari[2]

(Received: May 29-2024; Accepted: September 22-2024)

Abstract

The present study aimed to investigate the spatio - temporal changes in Leaf Area Index (LAI) and Land Surface Temperature (LST). This research examined the spatial and temporal trends of LST and LAI across the climatic zones of northern Iran from 2001 to 2022, analyzing the data both seasonally and annually using the remote sensing data from MODIS. To assess the trends in the indices studied, the prewhitened Mann-Kendall test was employed due to the significant autocorrelation present in the time series. The trend slope was calculated using Sen's slope estimator. The results showed that during the study period, the leaf area index (LAI) increased across all bioclimatic zones. In forest ecosystems, a direct relationship between LAI and LST was observed in all seasons. In contrast, rangeland ecosystems exhibited a direct relationship in spring and summer, but an inverse relationship in autumn and winter. The Z-values were 2.825 for forests in humid temperate areas and 2.944 for rangelands in semi-arid, windy regions, both indicating a significant greening trend at a 99% confidence level. Analyzing the relationship between changes in LAI and LST can help develop effective management strategies to enhance ecosystem quality in northern regions and adapt to climate change.

Keywords: Leaf area index, Land surface temperature, Trend analysis, Climatic zones, Sen's slope estimator, Prewhitend Mann-Kendall.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.47176/ijae.12.4.10201]

1. PhD student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran.
2. Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran.
3. Asoc. Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ssoltani@iut.ac.ir