نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

تعیین ارتفاع مناسب کشت گونه‌های درختی غیربومی در جنگل‌های شمال ایران بر مبنای شاخص‌های گرمایی

مهدی حلمی‌جدید[۱] و *زهرا آقاشریعتمداری[۲]

[۱]دانشجوی دکتری گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

[۲]استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۵

چکیده

سابقه و هدف: پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اجزاء مهم اکوسیستم‌های طبیعی تأثیرپذیری بسیار زیادی از شاخص‌های اقلیمی دارد. در این راستا شاخص‌ها و مدل‌های بسیاری با هدف روشن ساختن ارتباط اقلیم و پوشش گیاهی ارائه شده‌اند. از میان عوامل مختلف اقلیمی تغییرات دمای هوا در مدیریت توزیع پوشش گیاهی در مناطق مرطوب نقش مهمی دارد. از آن‌جا که اغلب مطالعات صورت‌گرفته در ایران در رابطه با پوشش گیاهی بر مبنای روش‌های آماری و سنجش از دور بوده است و تنها به پایش تغییرات پوشش گیاهی می‌پردازند، بنابراین معرفی و ارائه شاخص‌های اقلیمی جهت پیش‌بینی پوشش گیاهی طبیعی ضروری است. هدف از این بررسی ارزیابی و معرفی مناسب‌ترین شاخص اقلیمی دمایی و استفاده از آن به‌منظور پیش‌بینی ارتفاع مناسب جهت کشت گونه‌های جنگلی غیربومی به‌خصوص سوزنی‌برگان در جنگل‌های شمال ایران است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در دو مقیاس مکانی انجام شده است. در گام اول سه شاخص WI (شاخص گرمایی)، BWI (شاخص گرمایی زیستی) و EWI (شاخص گرمایی مؤثر) با استفاده از داده‌های اقلیمی دمای متوسط ماهانه ۳۴ ایستگاه سینوپتیک نوار شمالی کشور در دوره آماری ده ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۴) محاسبه شد. تغییرات ارتفاعی شاخص‌ها به‌صورت روابط گرادیان ارتفاعی به‌دست آمد و نقشه‌های تغییرات ارتفاعی هر شاخص ترسیم شد. در گام دوم به‌منظور بررسی دقیق کارائی شاخص‌های محاسبه شده در تعیین گسترشگاه پوشش گیاهی، منطقه مورد مطالعه کوچکتر و محدود به جنگل آموزشی پژوهشی خیرود شد. در این مرحله نقشه‌های گسترشگاه تیپ‌های جنگلی منطقه‌ی خیرود جمع‌آوری‌شده و با نقشه‌های پوشش گیاهی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: در این بررسی مطالعه تطبیقی چند شاخص دمایی جدید با توزیع پوشش گیاهی و درختی سه استان گلستان، مازندران و گیلان صورت گرفته و پوشش درختی پیش‌بینی‌شده توسط این شاخص‌ها با نقشه موجود گسترشگاه تیپ‌های جنگلی منطقه پاتم و بهاربن مقایسه شده است. با توجه به گونه‌های ثبت شده منطقه تمامی شاخص‌ها پیش‌بینی خوبی از پوشش درختی و جنگلی منطقه ارائه می‌دهند. تحلیل‌های آماری نشان دادند که شاخص گرمایی

* مسئول مکاتبه: zagha@ut.ac.ir

مؤثر (EWI) با بیش‌ترین میزان همبستگی ($R^2 = ۰/۹۶$) و کم‌ترین مقدار خطا ($RMSE = ۳/۹ ^\circ C$) مناسب‌ترین شاخص جهت برآورد پتانسیل پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه است. این شاخص با درنظر گرفتن توأم دامنه و میانگین سالانه دما، پیش‌بینی دقیق‌تری (تفکیک بهتر) از پوشش گیاهی به‌ویژه در مناطقی با اختلاف ناچیز در مقادیر شاخص WI، ارائه می‌دهد. همچنین با ارائه روابط گرادیان ارتفاعی شاخص‌ها، ارتفاع مناسب از لحاظ شرایط دمایی جهت کشت گونه‌های درختی غیربومی که پتانسیل دمایی را برای ورود به جنگل‌های شمال ایران دارند، پیشنهاد شده است.

نتیجه‌گیری: پوشش گیاهی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص EWI نسبت به سایر شاخص‌ها همپوشانی بیش‌تری با پوشش گیاهی شمال کشور داشته است. علاوه‌بر این با خطای کم‌تر در تخمین ارتفاع مرزهای تغییرات هر شاخص، پیش‌بینی دقیق‌تری جهت ورود گونه‌های غیربومی به منطقه ارائه می‌دهد. با توجه گذشت به حدود ۵ دهه از ورود گونه‌های سوزنی‌برگ به جنگل‌های شمال و کشت آن‌ها در ارتفاعات مختلف و ناموفق بودن اکثر جنگل‌کاری‌هایی که در ارتفاعات متوسط کم‌تر از ۹۰۰ متر از سطح دریا انجام شده است پیشنهاد می‌شود در ادامه جنگل‌کاری‌های آتی ارتفاعات مناسب پیش‌بینی‌شده از سطح دریا توسط شاخص EWI مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص گرمایی، گونه‌های درختی، شمال ایران، پوشش گیاهی

مقدمه

اقلیم از دیرباز به‌عنوان یکی از عوامل محیطی مهم تأثیرگذار بر نوع پوشش گیاهی و نحوه توزیع آن بوده است (۱۰، ۲۷ و ۲۸) و تغییرات آن در دهه‌های اخیر اثرات مهم و معنی‌داری بر عملکرد اکوسیستم‌ها از مقیاس جهانی تا مقیاس‌های کوچک محلی گذاشته است (۲۹ و ۲۰). از این‌رو نیاز به مدل‌های جدید که با توجه به ارتباط بین اکوسیستم‌ها و تغییرات اقلیمی طراحی شده‌اند افزایش پیدا کرده است (۳). پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اجزای مهم اکوسیستم‌های طبیعی، تأثیرپذیری بسیار زیادی از اقلیم دارد. شاخص‌ها و مدل‌های زیادی در راستای رابطه اقلیم و پوشش گیاهی ارائه شده است (۱۶) که می‌توانند روابط موجود و اثرات متقابل را بهتر و روشن‌تر بیان کنند. البته باید توجه داشت شاخص‌ها و پارامترهای اقلیمی به‌تنهایی اطلاعات کافی از پوشش گیاهی و اکوسیستم را ارائه نمی‌دهند (۵ و ۲۶). اگرچه مدل‌هایی که امروزه بر پایه دینامیک وجود دارند یک روش معقول برای مطالعات پوشش گیاهی در راستای تغییر اقلیم محسوب می‌شوند، اما هنوز هم برخی مدل‌ها و شاخص‌های اقلیم زیستی که بر پایه داده‌های گذشته است مانند دمای بیولوژیکی سالانه از جمله روش‌های اساسی برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی پوشش گیاهی به‌حساب می‌آیند (۲۱ و ۲۳).

این شاخص‌ها از روش‌های مختلفی از جمله جمع کردن مقادیر دما در طول فصل رشد گیاه، دماهای پایین در فصل زمستان و میزان رطوبت قابل دسترس گیاه محاسبه می‌شوند (۱٤ و ۳۰). شاخص‌های زیست‌اقلیمی کمک می‌کنند تا اطلاعات بیش‌تری درباره پوشش گیاهی و نحوه توزیع آن در اختیار قرار گیرد. مناطق مختلف حتی در مقیاس‌های کوچک، از نظر وضعیت بارش و دما دارای شرایط متفاوتی هستند و این تفاوت باعث برتری و برتری هر مدل برای استفاده در یک منطقه مشخص می‌شود (۷). معمولاً مدل‌ها و شاخص‌های اقلیم زیستی بهترین عملکرد را در مناطقی که با توجه به اطلاعات و داده‌های آن‌جا ساخته شده‌اند یا مناطق نزدیک آن‌ها دارند. شاخص‌های جدید می‌توانند تغییراتی که در

اکوسیستم‌ها ایجاد می‌شود را در برگرفته و حتی نشان‌دهنده این تغییرات و اطلاعات آن باشند (۱۹).

بیش‌ترین تأثیر اقلیمی برای زندگی گیاه مربوط به مجموع دما در طول فصل رشد است. چیو و همکاران (۲۰۰۸) چهار شاخص دمایی ABT[1]، BWI[2]، WI[3] و EWI[4] را برای پیش‌بینی پوشش گیاهی تایوان مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص EWI به‌دلیل استفاده از دمای فصلی نسبت به سایر شاخص‌ها دقت بیش‌تری دارد (۲). همچنین چیو و همکاران (۲۰۱۲) شاخص WI را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مناطقی با مقادیر WI یکسان وجود دارند که دامنه دمای سالانه متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند (۱). با وجود تفاوتی که در اثر اختلاف دامنه دمای سالانه دو منطقه در پوشش گیاهی وجود دارد، این شاخص به‌خوبی این تفاوت را نشان نمی‌دهد. بنابراین با دخالت دادن دامنه دمای سالانه به‌عنوان دمای فصلی شاخص EWI را معرفی کردند که تفاوت دمایی مناطق را برای پیش‌بینی پوشش گیاهی به‌خوبی نشان می‌دهد.

موسوی‌گرمستانی و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای که بر روی جنگل‌کاری کاج سیاه در دو منطقه از ساری از ارتفاع ۷۰ تا ۱۵۰۰ متری از سطح دریا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تنها جنگل‌کاری نواحی مرتفع و بیش از ۱۳۰۰ متر از سطح دریا دارای وضعیت خوب ارزیابی‌شده است (۱۸). قلی‌زاده (۲۰۰۰) در نهال‌کاری آزمایشی چند گونه سوزنی‌برگ در ارتفاع ٤٥٠ متر از سطح دریا، در جنگل خیرود نوشهر به این نتیجه رسید که به‌نظر می‌رسد این ارتفاع از سطح دریا برای کاج سیاه چندان مناسب نیست (۹). گرجی‌بحری و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای که با عنوان ارزیابی جنگل‌شناسی کاج سیاه در جنگل‌کاری‌های شمال کشور بر روی ارزیابی‌ها و یافته‌های پژوهش‌های گذشته انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حداقل در شمال کشور جنگل‌کاری سوزنی‌برگان باید در ارتفاعات متوسط ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و بالاتر انجام شود (۸).

اگرچه در ایران مطالعاتی اندک در زمینه تأثیر پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های اقلیم کشاورزی بر گیاهان زراعی صورت گرفته ولی با توجه به این‌که عمده روش‌های پیش‌بینی پوشش گیاهی در ایران روش‌های آماری و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور است که بیش‌تر به پایش تغییرات پوشش گیاهی می‌پردازند (٤، ۱۱ و ۲۲)، معرفی و ارائه برخی شاخص‌های اقلیمی جهت پیش‌بینی پوشش گیاهی طبیعی و جنگلی جهت پر کردن این خلأ مطالعاتی در ایران ضروری به‌نظر می‌رسد.

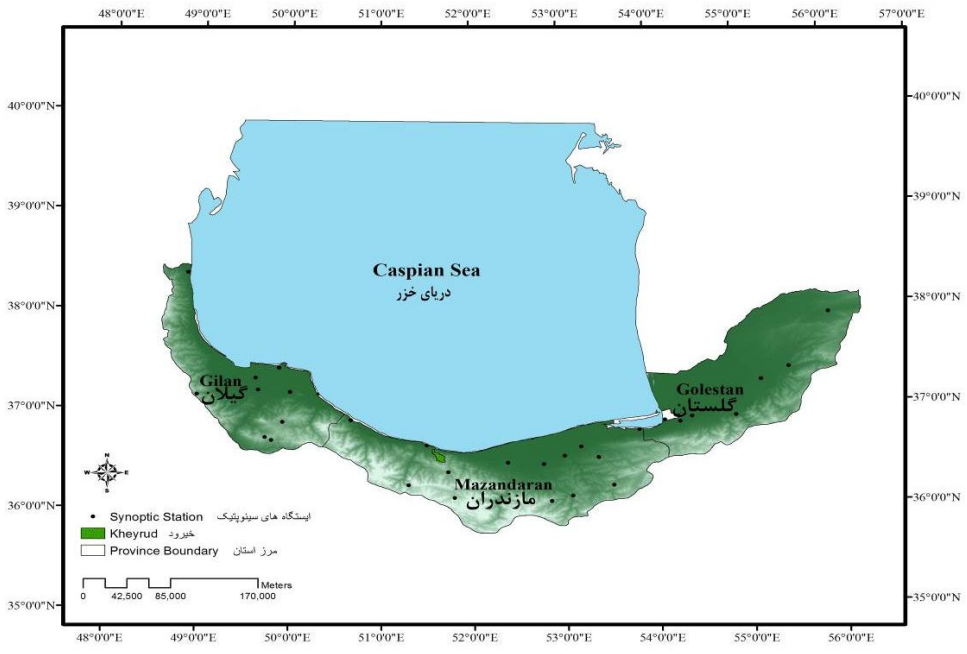
با توجه به‌وجود دریای خزر به‌عنوان تأمین‌کننده رطوبت و رشته‌کوه البرز به‌عنوان مانعی در برابر خروج رطوبت از سه استان گلستان، مازندران و گیلان بارش کافی برای این سه استان مهیا است و یک فرصت خوب برای مشاهده و بررسی اختلاف مناطق جنگلی در طول یک گرادیان حرارتی به‌وجود می‌آید. بنابراین می‌توان گفت در این مناطق رطوبت عامل محدودکننده نیست و مهم‌ترین عامل مؤثر از عوامل اقلیمی، دما است. به‌عنوان هدف اولیه در این پژوهش سعی شده شاخص‌های مورد استفاده در مناطقی که شرایط بارشی و دمایی مشابهی با مناطق شمالی ایران دارد ارزیابی و بهترین شاخص معرفی گردد. در این راستا دقت این شاخص‌ها با نقشه‌های پوشش گیاهی موجود به‌منظور ارائه و معرفی بهترین شاخص برای پیش‌بینی پوشش گیاهی سه استان گلستان، مازندران و گیلان با یکدیگر مقایسه شده است. هدف دوم در این پژوهش استفاده از

1- Annual Biotemperature
2- Biological Warmth Index
3- Warmth Index
4- Effective Warmth Index

شاخص‌های دمایی برای پیش‌بینی ارتفاع مناسب از سطح دریا جهت کشت و جنگل‌کاری گونه‌های غیربومی، به‌خصوص سوزنی‌برگان همیشه‌سبز در جنگل‌های شمال کشور است.

مواد و روش‌ها

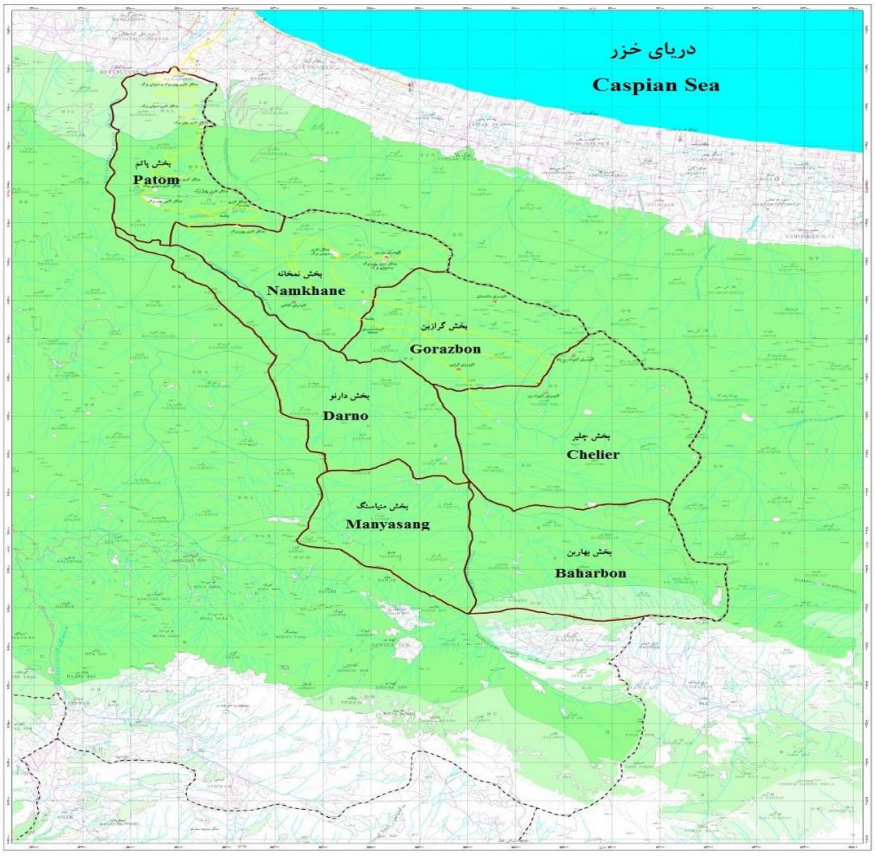
موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه شده: این مطالعه در دو مقیاس مکانی صورت گرفته است. در گام اول شاخص‌ها برای نوار شمال کشور شامل استان‌های گلستان، مازندران و گیلان محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و در مرحله بعد به‌منظور بررسی کارایی شاخص‌ها در تعیین گسترش‌گاه پوشش‌های گیاهی، منطقه مورد مطالعه کوچک‌تر و محدود به جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود شده است. استان گلستان با مساحت بیش از ۷/۲۰۴۳ کیلومترمربع از استان‌های شمالی کشور دارای محدوده طول و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۶ تا ´۸ °۳۸ شمالی و ´۵۷ °۵۳ تا ´۲۲ °۵۶ شرقی، استان مازندران با مساحت ۲۳۷۵۶/٤ کیلومترمربع دارای محدوده طول و عرض جغرافیایی ´٤۷ °۳۵ تا ´۳۵ °۳۶ شمالی و ´۳٤ °۵۰ تا ´۱۰ °۵٤ شرقی و استان گیلان با مساحت حدود ۱٤۷۱۱ کیلومترمربع دارای محدوده طول و عرض جغرافیایی ´۳۵ °۳۶ تا ´۲۷ °۳۸ شمالی و ´۵۳ °٤۸ تا ´۳٤ °۵۰ شرقی است. این سه استان توسط رشته‌کوه بلند البرز که به‌صورت دیواری مرتفع در مسافتی طولانی، خط ساحلی و جلگه‌های کناره‌ای دریای مازندران را محصور کرده است، از بقیه سرزمین ایران جدا گردید است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیای و نقشه رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه (نوار شمالی کشور حاشیه دریای خزر).

Figure 1. Geographical situation and digital elevation map of study area (north of Iran strip).

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود به مساحت ۱۰۰ کیلومترمربع در محدوده طول و عرض جغرافیایی ´۲۷ °۳٦ تا ´٤۰ °۳٦ شمالی و ´۳۲ °۵۱ تا ´٤۳ °۵۱ شرقی است که در حدود هفت کیلومتری شرق نوشهر قرار گرفته است. پایین‌ترین قسمت آن‌که مرز شمالی آن را نیز تشکیل می‌دهد با ارتفاع حدود ۱۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد در مجاورت روستای نجارده شروع‌شده و تا ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر در ییلاق بالا شکل ۲ موقعیت جنگل خیرود و بخش‌های آن را نشان‌می‌دهد (۱۲).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود.

Figure 2. Geographical situation of Educational and research Kheirud forest.

پوشش گیاهی سه استان گلستان، مازندران و گیلان بسیار متنوع است و هر بازه ارتفاعی پوشش درختی خاص خود را دارد. تیپ غالب جنگل‌های شمال کشور پهن‌برگان خزان‌کننده است. تنها گونه درختی همیشه‌سبز در این جنگل‌ها شمشاد است که از درختان ساحلی است و در قسمت‌های پایین و کم ارتفاع جنگل‌های شمال و تا ارتفاع ۱۱۰۰ متری سطح دریا می‌روید. در دهه‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای ورود گونه‌های سوزنی‌برگ همیشه‌سبز به جنگل‌های شمال شده که عمدتاً ناموفق بوده است.

داده‌های اقلیمی: داده‌های مورد نیاز این پژوهش شامل داده‌های اقلیمی دمای متوسط ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک نوار شمالی کشور (استان‌های گیلان، مازندران و گلستان) است که برای ۳٤ ایستگاه در دوره آماری سی‌ساله (۱۹۸۵-۲۰۱٤) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده و پس از کنترل کیفیت

و آزمون همگنی مورد استفاده قرار گرفته است. برخی ایستگاه‌های موجود در منطقه دارای دوره آماری کم‌تر از ۳۰ سال می‌باشند، اما با توجه به این‌که در ارتفاع‌های نزدیک به این ایستگاه‌ها، ایستگاهی با آمار ۳۰ ساله وجود ندارد، با توجه به مدل لارس دوره آماری و میانگین دماهای آن‌ها تا سال ۱۹۸۵ ساخته شده است (۱۵)، دامنه‌ی دمای متوسط سالانه منطقه بین ۱۰/۳ درجه در ایستگاه سیاه بیشه تا ۲٤/۷ درجه در ایستگاه گنبدکاووس در نوسان است. میانگین دمای ماهانه (MT) منطقه در هر سه استان در ماه‌های جولای و اوت (مرداد و شهریور) بیش‌ترین و در ماه‌های ژانویه و فوریه (بهمن و اسفند) کم‌ترین مقدار را دارا است.

شاخص‌های گرمایی: در این مطالعه سه شاخص گرمایی مطالعه شده و کارایی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. این شاخص‌ها شامل شاخص گرمایی WI (۱۳)، شاخص گرمای زیستی BWI (۱٦) و شاخص گرمایی مؤثر EWI (۱) می‌باشند، که شاخص آخر توسط چیو و همکاران (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن ارتباط دمای فصلی و مجموع دمای سالانه با هدف افزایش دقت به‌دست آمده است. مهم‌ترین مزیت شاخص‌های مورد استفاده این است که در آن‌ها تنها از متغیر دمای هوا استفاده‌شده است و این متغیر در تمام ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی اندازه‌گیری می‌شود. کمبود داده‌ها و همچنین عدم دیده‌بانی منظم متغیرهایی مانند تبخیر و تعرق پتانسیل، تابش، مقادیر حدی دما در مقیاس‌های بزرگ باعث شده که از این متغیرها در این شاخص‌ها استفاده نشوند. جدول ۱ شاخص‌های گرمایی و فرمول محاسباتی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص‌های گرمایی.

Table 1. Thermal indices.

شاخص‌های گرمایی Thermal indices	فرمول‌ها Formulas	مرجع Reference
WI	$WI=\sum_{i=1}^{12}(MT_i-5) \quad for \quad MT_i\rangle 5$	کیرا (۱۹۹۱) Kira (1991)
BWI	$BWI=\sum_{i=1}^{12}(MT_i-10) \quad for \quad MT_i\rangle 10$	نی (۱۹۹۷) Ni (1997)
EWI	$EWI=WI-(0.5\times ATR)$	چیو (۲۰۰۸) Chiu (2008)

MT= mean monthly temperature

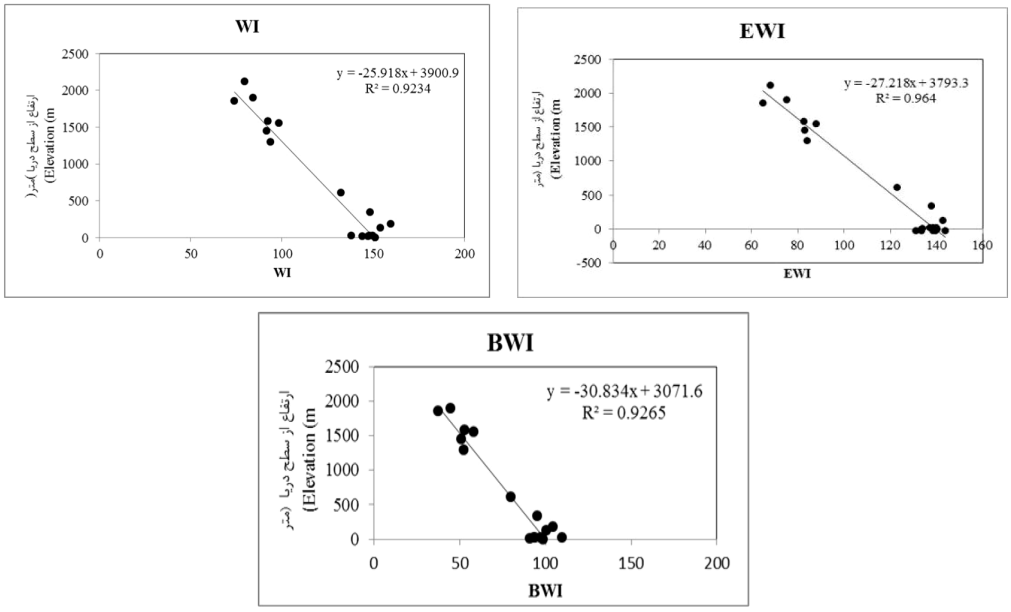
ATR= MT (in the Warmest month of year) – MT (in the coldest month of year)

تمامی شاخص‌ها برای همه ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی محاسبه شد. تغییرات هر یک از شاخص‌ها با ارتفاع به‌منظور پیش‌بینی ارتفاعات متوسط تغییرات هر شاخص به‌صورت گرادیان‌هایی ترسیم شد و پس از محاسبه مقدار ضریب تبیین (R^2) و خطای RMSE برای هر شاخص یک رابطه گرادیان ارتفاعی تعیین شد (شکل ۳) و نقشه‌های پوشش گیاهی با توجه به هر شاخص در محیط GIS و با در نظر گرفتن لایه خطا ترسیم گردید (شکل ٤). نقشه‌های گسترش‌گاه تیپ‌های جنگلی منطقه خیرود جمع‌آوری‌شده و با نقشه‌های پوشش گیاهی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۲ چکیده‌ای از پوشش گیاهی مناطق و کلاس‌بندی آن‌ها در مطالعات شرق آسیا را نشان می‌دهد.

جدول ۲- کلاس‌بندی‌های مناطق تیپ‌های پوشش گیاهی با توجه به شاخص‌های گرمایی در برخی از مطالعات شرق آسیا.

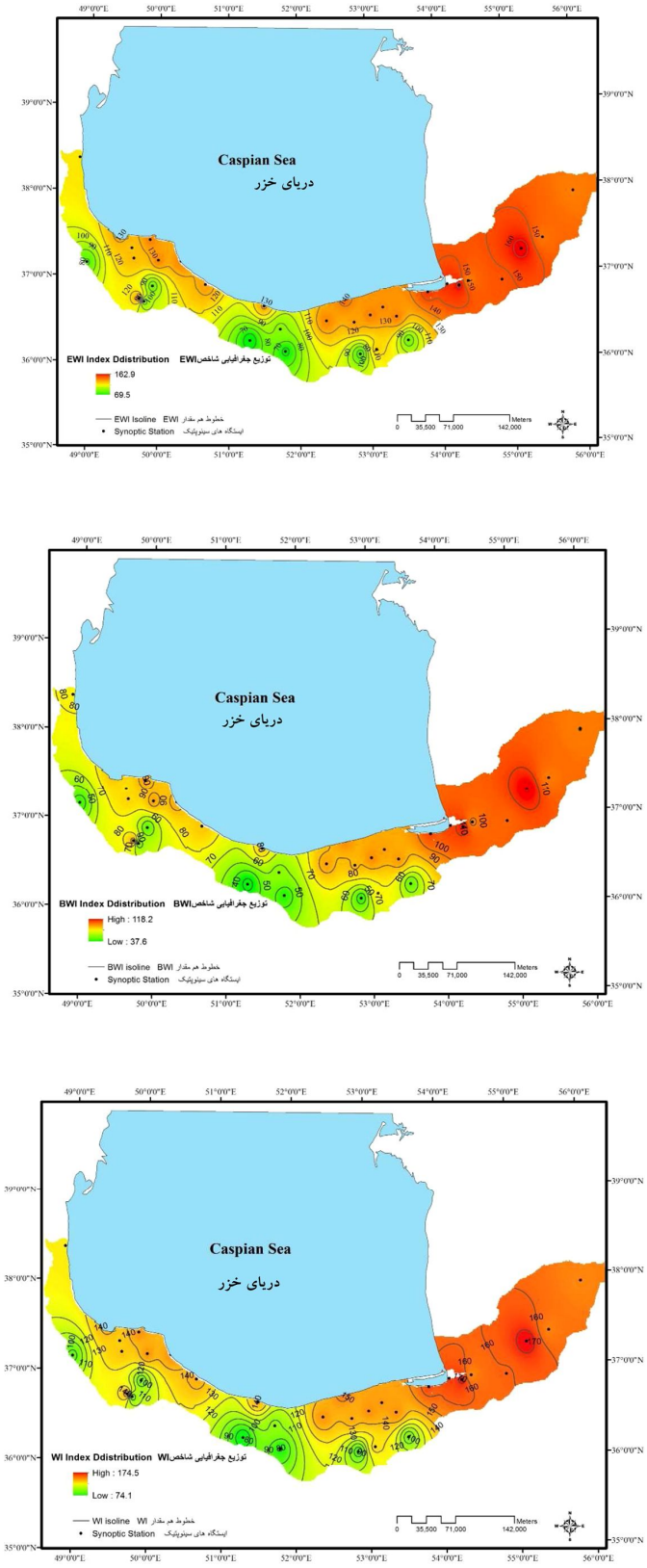
Table 2. Vegetation zones based on different climate-vegetation classification schemes and thermal indices (Su, 1984b; Ni, 1997; Fang, 2001; Chiu et al., 2008) in humid East Asia. (BWI: biological warmth index; WI: warmth index; EWI: effective warmth index).

سو (۱۹۸٤) در مرکز تایوان (۲٤و۲۵) (Su, 1984)	نی (۱۹۹۷) در شرق چین (Ni, 1997)	فنگ (۲۰۰۱) در شرق چین (٦) (Fang, 2001)	چیو (۲۰۰۸) در تایوان (Chiu, 2008)
مناطق سرد و معتدل نیمه‌مرتفع، منطقه نراد Cold-temperate subalpine Abies zone (WI = 12-36)	مناطق سرد و معتدل، جنگل‌های سوزنی‌برگان Cold-temperate (boreal) coniferous forest zone (BWI = 15-25)	مناطق سرد و معتدل، جنگل‌های سوزنی‌برگان Cold-temperate coniferous forest zone (WI < 50)	مناطق سرد، جنگل‌های سوزنی‌برگان Cold-temperate coniferous mixed forest zone (EWI = 32-68)
مناطق سرد و معتدل کوهستانی، منطقه کاج‌های سوزنی‌برگ Cool-temperate upper montane Tsuga-Picea zone (WI = 36-72)	مناطق سرد و معتدل، جنگل‌های آمیخته پهن‌برگان و سوزنی‌برگان Cool-temperate mixed coniferous-broadleaved forest zone (BWI = 25-50)	مناطق معتدل، جنگل‌های آمیخته سوزنی‌برگان و خزان‌کننده‌ها Temperate mixed coniferous and deciduous forest zone (WI = 50-90)	مناطق سرد و معتدل، جنگل‌های آمیخته سوزنی‌برگان و خزان‌کننده‌ها Cool-temperate coniferous and deciduous mixed forest zone (EWI = 68-108)
مناطق معتدل کوهستانی، منطقه بلوط ارتفاعات بالا Temperate montane Quercus (upper) zone (WI = 72-108)	مناطق گرم و معتدل، جنگل‌های پهن‌برگان خزان‌کننده Warm-temperate deciduous broadleaved forest zone BWI = 50-80)(	مناطق گرم و معتدل، جنگل‌های پهن‌برگان خزان‌کننده Warm-temperate deciduous broadleaved woodland zone (WI = 90-120)	مناطق گرم و معتدل، جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ همیشه‌سبز Warm-temperate evergreen broadleaved mixed forest zone (EWI = 108-146)
مناطق گرم و معتدل، منطقه بلوط ارتفاعات پایین‌تر Warm-temperate montane Quercus (lower) zone (WI = 108-144)	مناطق نیمه‌گرمسیری، جنگل‌های پهن‌برگ همیشه‌سبز Subtropical evergreen broadleaved forest zone (BWI = 80-150)	مناطق گرم و معتدل، جنگل‌های آمیخته پهن‌برگان همیشه‌سبز و خزان‌کننده Warm-temperate mixed deciduous and evergreen broadleaved forest zone (WI = 120-5)	مناطق نیمه‌گرمسیری، جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ و همیشه‌سبز Subtropical evergreen broadleaved mixed forest zone (EWI = 146-214)
مناطق نیمه‌گرمسیری و کوهپایه‌ای، منطقه بلوط همیشه سبز Subtropical submontane Machilus-Castanopsis zone (WI = 144-216)	مناطق گرمسیری، جنگل‌های بارانی و موسمی Tropical rain forest and monsoon forest zone (BWI = 150-200)	مناطق نیمه‌گرمسیری، جنگل‌های پهن‌برگ همیشه‌سبز Subtropical evergreen broadleaved forest zone (WI = 135-240)	



شکل ۳- گرادیان‌های ارتفاعی شاخص‌های گرمایی در منطقه مورد مطالعه.

Figure 3. ----------.



شکل ٤- نقشه توزیع جغرافیایی شاخص‌های گرمایی.

Figure 4. Geographical distribution of thermal indices.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل نمودارهای گرادیان ارتفاعی: باتوجه به این‌که تغییرات تمامی شاخص‌ها متناسب با تغییرات ارتفاعی و تحت‌تأثیر افزایش ارتفاع و کاهش دماهای میانگین در منطقه است بنابراین می‌توان هر یک از آن‌ها را با یک گرادیان ارتفاعی نشان‌داد. بهترین خط معادله پیش‌بینی در بین خطوط گرادیان، معادله خطی درجه یک بوده که دارای بالاترین مقدار R^2 و کم‌ترین مقدار خطای RMSE است. جدول ۳ نتایج تحلیل آماری سه شاخص پیش‌بینی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، شاخص EWI بهترین پیش‌بینی را ارائه می‌دهد.

جدول ۳- ضریب همبستگی R^2 و خطا RMSE برای گرادیان‌های شاخص‌های گرمایی.

Table 3. Correlation Coefficient and RMSE error for Gradients of Thermal indices.

شاخص‌ها indices	(RMSE ^oC)	R^2
EWI	3.9	0.96
WI	4.8	0.92
BWI	5.1	0.92

نتایج تحلیل شاخص‌های پیش‌بینی: در سرتاسر سه استان گلستان، مازندران و گیلان، شاخص BWI بین ۳۷/۵ و ۱۱۸/۲ درجه سلسیوس، WI بین ۷٤/۱ و ۱۷٤/۵ درجه سلسیوس و EWI بین ٦٤/۸ و ۱٦۲/۹ درجه سلسیوس تغییر می‌کنند. تمامی شاخص‌ها در ایستگاه سیاه‌بیشه با ارتفاع ۱۸۵۵ متر از سطح دریا کم‌ترین و در ایستگاه گنبدکاووس با ارتفاع ۳۷ متر از سطح دریا بیش‌ترین مقدار را دارا هستند. با وجود ایستگاه‌های مرتفع‌تر از ایستگاه سیاه‌بیشه، به دلایل جغرافیایی و توپوگرافی میانگین دماهای ماهانه این ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها کم‌تر بوده و همین امر موجب حداقل بودن شاخص‌ها در این ایستگاه شده است.

با مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش چیو و همکاران (۲۰۱۲)، نارسایی شاخص WI در نشان دادن تفاوت‌ها که توسط این پژوهشگران گزارش شده است در منطقه مطالعاتی در این پژوهش مشاهده نشد و دلیل آن تغییرات مناسب و یکنواخت دامنه دمای سالانه و شاخص‌ها با افزایش ارتفاع و کم بودن اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار دامنه دمای سالانه در منطقه مطالعاتی بوده است. آن‌چنان‌که دامنه دمای سالانه در ایستگاه ماسوله با ۱٦/۷ درجه سانتی‌گراد کم‌ترین مقدار و در ایستگاه گنبدکاووس با ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین مقدار را دارا است. محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها و حضور بیش‌تر آن‌ها در ارتفاعات نزدیک به سطح دریا مقایسه را دشوار کرده است، ولی در مواردی با WI نزدیک و مشابه، شاخص EWI واضح‌تر و دقیق‌تر تفاوت مناطق را مشخص می‌سازد.

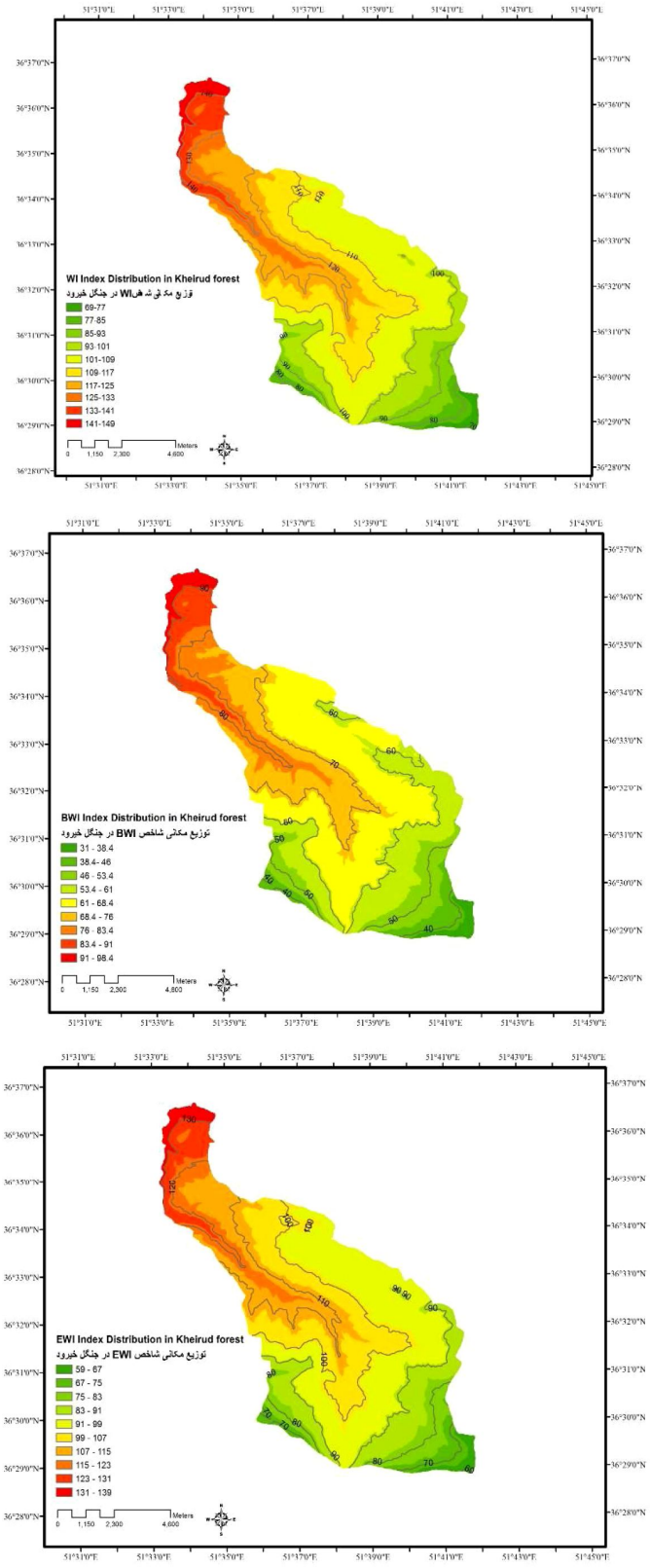
نتایج تحلیل نقشه‌های پوشش گیاهی و نقشه‌های پیش‌بینی جنگل خیرود: شکل ۵ نقشه تغییرات سه شاخص دمایی در جنگل خیرود و شکل ٦ نقشه‌های

تیپ‌بندی پوشش گیاهی دو بخش پاتم و بهاربن از این جنگل که با ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی و محاسبات این مطالعه همپوشانی دارد را نشان می‌دهد. با توجه به مطالعات سو (۱۹۸٤) گونه بلوط ارتفاعات بالا در مناطقی با (۷۲ – ۱۰۸) =WI و گونه بلوط ارتفاعات پایین‌تر در مناطقی با (۱۰۸– ۱٤٤) =WI حضور داشته است (۲٦)، که طبق گرادیان‌های ترسیمی و فرمول‌هایشان ارتفاع متوسط حضور گونه بلوط در جنگل خیرود به‌ترتیب در ارتفاعات (۱۱۰۰– ۲۰۳۵) و (۱٦٥–۱۱۰۰) متر از سطح دریا پیش‌بینی‌شده است. بنابراین با توجه به نقشه‌های تیپ‌بندی، در ارتفاعات مذکور حضور گونه بلوط ارتفاعات پایین در منطقه پاتم و حضور گونه بلوط ارتفاعات بالا در منطقه بهاربن تأیید می‌شود.

تنها گونه درختی پهن‌برگ همیشه‌سبز جنگل‌های شمال کشور و خیرود، شمشاد است که در نقشه‌های تیپ‌بندی در ارتفاعات متوسط سطح دریا تا ۵۰۰ متر از سطح دریا مشاهده می‌شود و توسط هر سه شاخص قابل پیش‌بینی و توجیه‌پذیر است. دو گونه سوزنی‌برگ همیشه‌سبز پیسه‌آ و آبیس که در نقشه‌های تیپ‌بندی جنگل خیرود به‌ترتیب در متوسط ارتفاعات ۹۰۰ و ۸۵۰ متر از سطح دریا مشاهده می‌شوند، تنها توسط شاخص EWI به‌درستی پیش‌بینی‌شده است.

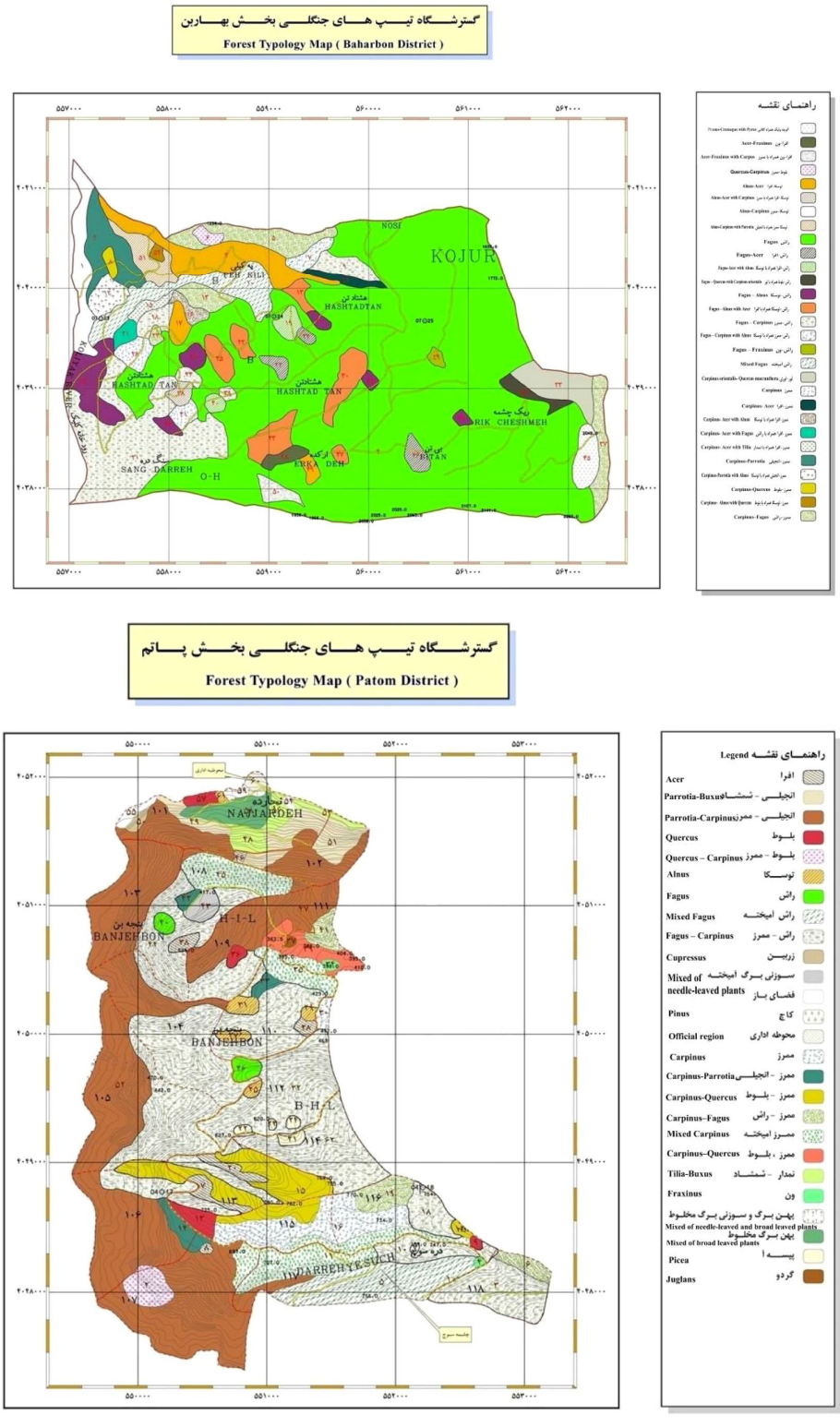
سوزنی‌برگان غیربومی از جمله گونه‌هایی است که از چند دهه قبل کاشت آن به‌صورت گسترده‌ای در شمال ایران شروع شد و در برهه‌ای به‌قدری رواج داشت که نخستین انتخاب در اکثر جنگل‌کاری‌ها این بود که از درختان سوزنی‌برگ غیربومی استفاده شود. بسیاری از این جنگل‌کاری‌ها به‌دلیل ناسازگاری گونه‌های وارداتی با اقلیم شمال ایران پس از چند سال به‌دلیل آفت‌زدگی یا گرما و سرما از بین رفته است. جنگل‌کاری سوزنی‌برگان آمیخته در دو منطقه پاتم و نمخانه به ترتیب در متوسط ارتفاعات ٤۰۰ و ۱۰۵۰ متر از سطح دریا انجام شده است. طبق شاخص EWI و گرادیان‌ها، ارتفاع متوسط جنگل سوزنی‌برگان آمیخته در منطقه ۸۵۳–۱۹٤۲ متر از سطح دریا پیش‌بینی‌شده، بنابراین انتظار می‌رود این جنگل‌کاری در منطقه نمخانه موفق‌تر باشد.

با توجه به این‌که شاخص EWI ارتفاع مناسب جهت ورود گونه‌های سوزنی‌برگ به‌صورت جنگل‌های آمیخته سوزنی‌برگان و پهن‌برگان خزان‌کننده را (۸۵۳–۱۹٤۲) متر از سطح دریا پیش‌بینی کرده است، نتایج این پژوهش با یافته‌های موسوی‌گرمستانی و همکاران (۲۰۰۵)، قلی‌زاده (۲۰۰۰) و گرجی‌بحری و همکاران (۲۰۰۳) همخوانی دارد (۸، ۹ و ۱۷). در این پژوهش پیشنهاد می‌شود گونه‌ای سوزنی‌برگ غیربومی جهت ورود به جنگل‌های شمال کشور در متوسط ارتفاعات مذکور کشت و جنگل‌کاری شوند. شکل ۷ مناطق مناسب جهت کشت گونه‌های مختلف متناسب با شاخص دمایی EWI در جنگل خیرود را نشان می‌دهد.



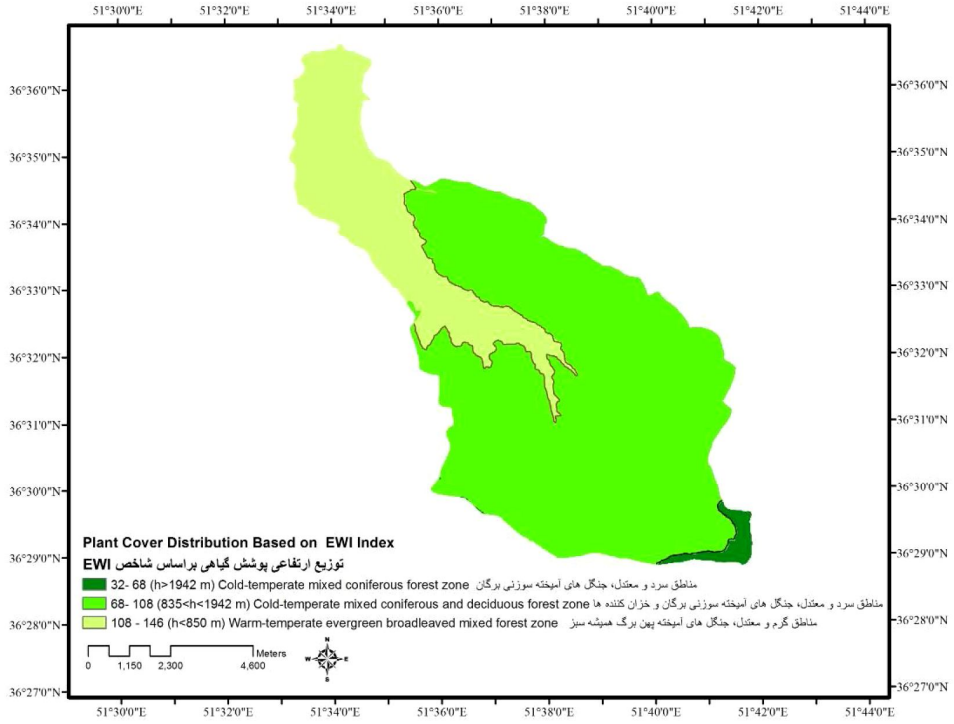
شکل ۵- نقشه تغییرات شاخص BWI، WI و EWI در جنگل خیرود.

Figure 5. Variations map of BWI, WI and EWI in Kheirud forest.



شکل ٦- نقشه گسترشگاه تیپ‌های جنگلی بخش پاتم و بهاربن از جنگل خیرود (۱۲).

Figure 6. Forest typology map of Patom and Baharbon district in Kheirud forest (12).



شکل ۷- نقشه پیش‌بینی ورود گونه‌های درختی متناسب با شاخص EWI در جنگل خیرود.

Figure 7. Prediction map of tree species entrance proportional with EWI index in Kheirud forest.

نتیجه‌گیری کلی

پوشش گیاهی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص EWI نسبت به سایر شاخص‌ها همپوشانی بیش‌تری با پوشش گیاهی شمال کشور داشته است، علاوه بر این با خطای کم‌تر در تخمین ارتفاع مرزهای تغییرات هر شاخص، پیش‌بینی دقیق‌تری جهت ورود گونه‌های غیربومی به منطقه ارائه می‌دهد. با توجه گذشت به حدود ۵ دهه از ورود گونه‌های سوزنی‌برگ به جنگل‌های شمال و کشت آن‌ها در ارتفاعات مختلف و ناموفق بودن اکثر جنگل‌کاری‌هایی که در ارتفاعات متوسط کم‌تر از ۹۰۰ متر از سطح دریا انجام‌شده، پیشنهاد می‌شود در ادامه جنگل‌کاری‌های آتی ارتفاعات مناسب پیش‌بینی‌شده از سطح دریا توسط شاخص EWI مدنظر قرار گیرد.

منابع

1.Chiu, C.A., Lin, P.H., Hsu, C.K., and Shen, Z.H. 2012. A novel thermal index improves prediction of vegetation zones: associating temperature sum with thermal seasonality. Ecological Indicators. 23: 668-674.

2.Chiu, C.A., Lin, H.C., Liao, M.J., and Zeng, Y.H. 2008. A physiognomic classification scheme of potential vegetation of Taiwan. Q. J. For. Res. 30: 89-112.

3.Coulson, D., and Joyce, L. 2006. Indexing variability: a case study with climate change impacts on ecosystems. Ecol. Indicators. 6: 749-769.

4.Darvishsefat, A.A., and Saroei, S. 2003. Evaluation of the potential of Landsat ETM+ for forest density mapping in Zagros forests of Iran. In Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. 4: 2529-2531.

5.De Martonne, E. 1926. L'indice d'aridit´e. Bull Assoc Geogr Fr. 9: 3-5.
6.Fang, J.Y. 2001. Re-discussion about the forest vegetation zonation in eastern China. Acta. Bot. Sin. 43: 522-533.
7.Gavilan, R.G. 2005. The use of climatic parameters and indices in vegetation. A case study in the Spanish Sistema Central. Int. J. Biometeorol. 50: 111-120.
8.Gorji Bahri, Y., Farajipul, R., and Kiadaliri, Sh. 2013. Evaluation black pine silvics in north of Iran forestry. Quar. J. For. Range. 97: 1. 51-57. (In Persian)
9.Gholizadeh, M. 2000. Preliminary results (6 years old) of experimental design coniferous in the Kheirudkenar forest of Noshahr. 239: 4. 53-88. (In Persian)
10.Grisebach, A. 1838. Ueber den einfluss des climats auf die Begr¨anzung der naturlichen floren. Linnaea. 12: 159-200.
11.Joibary, S., Darvishsefat, A.A., and Kellenberger, T.W. 2007. Forest type mapping using incorporation of spatial models and ETM+ data. Pak. J. Biol. Sci. PJBS. 10: 14. 2292-2299.
12.Kheyroud Educational and Research Forest. http://kheyrud.ut.ac.ir/map.aspx.
13.Kira, T. 1991. Forest ecosystems of east and Southeast Asia in a global perspective. Ecol. Res. 6: 185-200.
14.Masuda, K. 2000. A note on the climatic factors controlling the global distribution of vegetation. Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ. 35: 21-30.
15.Meshkatee, A., Kordjazi, M., and Babaeian, I. 2010. Evaluation of LARS-WG model in simulation of some observed meteorological parameters in Golestan province (1993-2007). 16: 19. 81-96. (In Persian)
16.Miller, J., Franklin, J., and Aspinall, R. 2007. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. Ecol. Model. 202: 225-242.
17.Mousavi Garmestani, A., Rasouli, M., and Nazari, M. 1995. Study of coniferous in north of Iran forestry. Inter. J. For. Range. 1: 78-109. (In Persian)
18.Ni, J. 1997. Development of Kira's indices and its application to vegetation-climate interaction study of China. J. Appl. Ecol. 8: 2. 161-170. (In Chinese with English abstract)
19.Bryan, G. 1998. Improving ecological communication: the role of ecologists in environmental policy formation. Ecological Applications. 8: 2. 350-364.
20.Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 3: 637-669.
21.Peng, C. 2000. From static biogeographical model to dynamic global vegetation model: a global perspective on modelling vegetation dynamics. Ecol. Model. 135: 33-54.
22.Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., and Namiranian, M. 2003. Forest area change detection using ETM+ data in northern forest of Iran. In Proceedings of the First International Conference on Envir. Rese. Asset. Bucharest, Romania.
23.Smith, T.M., Shugart, H.H., Bonan, B., and Smith, G.B.J.B. 1992. Modelling the potential response of vegetation to global climate change. Adv. Ecol. Res. 22: 93-116.
24.Su, H.J. 1984a. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (1): analysis of the variation in climatic factors. Q. J. Chin. For. 17: 1-14.
25.Su, H.J. 1984b. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (2): altitudinal vegetation zone in relation to temperature gradient. Q. J. Chin. For. 17: 57-73.
26.Tuhkanen, S. 1980. Climatic parameters and indices in plant geography. Acta Phytogeogr Suecica. 67: 1-110.
27.Von Humboldt, A. 1807. Ideen zu einem Geographie der Pflazen nebst einem naturgem¨alde der Tropel¨ander. T¨ubingen.
28.Wahlenberg, G. 1811. Kamtschadalische Laub und Lebermoose, gesammelt auf der russischen Entdeckungsreise von dem Herrn Hofrath Tilesius und untersucht. Mag Ges Narutf Fr. 5: 289-297.
29.Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., and Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature. 416: 389-395.
30.Whittaker, R.H. 1975. Communities and Ecosystems, 2nd ed. Macmilland, NY, USA. 352: 60-65.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Determining the suitable elevation for exotic tree species in north of Iran forest based on thermal indices

M. Helmijadid[1] and *Z. Aghashariatmadari[2]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad, [2]Assistant Prof., Dept. of Irrigation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran
Received: 04/22/2017; Accepted: 01/25/2018

Abstract

Background and Objectives: Plant cover as a major element of natural ecosystems has high influence from climatic indices. In this regard many models and indices were produced with the aim of clarifying the relationship between climate and plant cover. The air temperature variations have a major role in management of plant cover distribution especially in humid region. The most studies about Plant cover in Iran were based on statistical methods and remote sensing technology and only monitor vegetation changes. So presentation of climatic indices for prediction of natural plant cover is necessary. The aim of this study is evaluation and introduction of most suitable climatic thermal index and use of this for prediction the appropriate elevation for exotic species cultivation especially conifers in north of Iran forests.

Materials and Methods: In the first step, three indices of WI (Warmth Index), BWI (Biological Warmth Index) and EWI (Effective Warmth Index) were calculated based on monthly mean temperature data of 34 north strip synoptic stations of Iran in decade of (2005-2014). Variation of indices with elevation was achieved as altitudinal gradient relations and the variation map of them was drawn. In second step to investigate the efficiency of calculated indices in determination the plant cover distribution, the study region was smaller and limited to educational and research Kheirud forest. In this stage the forest type's distribution maps of Kheirud was collected and compared with indices predicted plant cover distribution maps.

Results: In this research, some new thermal indices with plant and tree cover distribution in Golestan, Mazandaran and Gilan provinces have been comparatively studied and predicted tree cover by these indices was compared with available map of Habitats forest types of Patom and Baharbon. With respect to recorded species of the region, all of the indices present good predictions for the plant cover of the region under study. The results of statistical analysis showed that effective warmth index (EWI) with highest correlation (R^2=0.96) and a lowest error value (RMSE=3.9 ^oC) is the best indicator for estimation the plant cover of the region. This index by considering both range and average of the annual temperature presents the most accurate prediction (better differentiation) for plant cover especially in region that their WI index is similar. As well, the changes of indices with elevation were studied and related regression equation was presented. Furthermore, suitable height in terms of temperature conditions was proposed for exotic species that have thermal potential for importing to the north of Iran forests.

Conclusion: Predicted plant cover by EWI index has more overlapping with north of Iran plant cover in compare to other two indices. Furthermore, with lower error in estimation the elevation of boundary variation has more accurate prediction. With respect to the passage of 5 decades from entering coniferous species in northern forests and cultivation of them in various elevation and The failure of most forest cultivation that conducted on the average height of less than 900 meters above sea level, based on this study proposed that in future forestry the best elevation will estimated with respect to more suitable predicted elevation by EWI index.

Keywords: Thermal indices, Tree species, North of Iran, Plant cover

* Corresponding Author; Email: zagha@ut.ac.ir