

طبقه‌بندی نواحی زیست اقلیمی مرتعی ایران بر اساس تحلیل طیفی

عالیه کشاورز^۱، رضا مدرس^{۲*}، سید علی‌رضا گوهری^۳

چکیده

این مطالعه با هدف ارائه یک پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی برای ایران بر اساس تغییرات طیف توان میانگین ماهانه تولید خالص اولیه (NPP: Net Primary Production) مناطق مرتعی ایران انجام شد. نوسانات طیف توان میانگین ماهانه سیگنال NPP مناطق مرتعی ایران طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از روش چگالی طیف توان (Power Spectrum Density) در باند فرکانسی بین ۱۰۰-۰ هرتز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ۲۴ زیر پهنه زیست اقلیمی ۴ دوره مشترک در همه سایت‌ها در فرکانس‌های ۰ (هیچ تغییری تکرار نمی‌شود)، ۸/۳۴ (۳/۵۹ روز)، ۱۶/۶۶ (۱/۸۰ روز) و ۲۵ (۱/۲ روز) هرتز مشاهده شد که نشان می‌دهد عمده تغییرات داده در آن دوره‌ها اتفاق می‌افتد و تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تاثیر اثرات جهانی و منطقه‌ای نسبت به اثرات محلی می‌باشد. بیشترین توان این طیف‌ها در مقیاس‌های زمانی بالا متمرکز شده است؛ بنابراین چرخه‌های با فرکانس پایین تر (مقیاس زمانی بالاتر) چرخه‌های مهم‌تری نسبت به چرخه‌های با فرکانس بالاتر (مقیاس زمانی کم‌تر) می‌باشند و نشان می‌دهند که تغییرات NPP مرتعی ایران طولانی مدت و اقلیمی است. در تحقیق حاضر با استفاده از نتایج طیف توان میانگین ماهانه سیگنال NPP مرتعی و با کمک روش خوشه‌بندی واردز و فاصله مربع اقلیدوسی ایران به ۵+۱ پهنه زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی گردید. به نظر می‌رسد این روش تطابق خوبی بین مرزهای زیستی و آب و هوا فراهم می‌کند. جهت بررسی ارتباط طیفی بین مناطق زیست اقلیمی مرتعی در داخل گروه‌های همگن از تکنیک همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج همبستگی نشان داد همبستگی بالایی از نظر طیفی در داخل گروه‌ها با سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد بین مناطق زیست اقلیمی مرتعی به خصوص در خوشه دوم و پنجم مشاهده شد.

کلمات کلیدی: تولید خالص اولیه، مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، طیف توان، طبقه‌بندی پوشش گیاهی ایران

^۱ عالیه کشاورز، دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران رایانامه: Aliyeh.keshavarz@gmail.com

^{۲*} رضا مدرس، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران رایانامه: reza.modarres@iut.ac.ir

^۳ سید علی‌رضا گوهری، دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران رایانامه: ar.gohari@iut.ac.ir

مفهوم پهنه‌بندی زیست اقلیمی با اولین پهنه‌بندی‌های پوشش گیاهی جهان در اوایل قرن نوزدهم مطرح شد و در اوایل قرن بیستم با درک بهتر از گردش جوی به یک مفهوم مدرن تبدیل شد (۶). اولین تلاش جهانی برای ارتباط انواع پوشش گیاهی با مقادیر واقعی آب و هوایی (دما و بارش) توسط روبل (۳۰) انجام شد. آب و هوا در یک قلمرو، مجموعه‌ای پیچیده است که از عناصر متعددی مانند بارندگی، دما، تشعشع، رطوبت، رژیم باد و غیره تشکیل شده است. ترکیب این عوامل با تأثیر توپوگرافی و خاک، نقش مهمی در توسعه گیاهان و در نتیجه در توزیع آنها ایفا می‌کند (۹). در طبقه‌بندی زیست اقلیمی، الگوهای آب و هوایی در سراسر کشورها برای نشان دادن ارتباط آنها با توزیع گونه‌های گیاهی در سرتاسر یک کشور یا در منطقه محدودی از یک کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲۰). در همین راستا تاکنون در ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با طبقه‌بندی زیست اقلیمی ایران با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است. افراد مختلفی چون تریگوبوف و مبین (۳۷)، حیدری و علیجانی (۱۶)، ترابی و جهانبخش اصل (۳۶)، مسعودیان (۲۷)، هنفی و حاتمی (۱۴)، رضیئی (۲۹)، طاووسی و همکاران (۳۴)، فتحی و همکاران (۱۲) با استفاده از برخی پارامترهای اقلیمی، پهنه‌بندی اقلیمی ایران را انجام دادند. پابو، سه منطقه زیست اقلیمی (۲۰)، زهاری (۴۴)، چهار منطقه جغرافیایی گیاهی، دجامعلی (۷)، ۳ ماکرواقلیم و ۱۰ زیست اقلیم و خطی و صابری (۲۰)، ۱۴ منطقه زیست اقلیمی رویشی برای ایران ارائه کردند. پهنه‌بندی زیست اقلیمی ایران بر اساس تقسیمات، از نویسنده‌ای به نویسنده دیگر متفاوت است اما به طور کلی توافق گسترده‌ای را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر جهت پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران، از ویژگی‌های چگالی طیف توان Power Spectrum Density میانگین ماهانه تولید خالص اولیه (NPP) مرتعی ایران استفاده شد. NPP، جز مهم اکوسیستم‌های زمینی است و نشان‌دهنده ظرفیت تولید جوامع گیاهی در محیط طبیعی است. پایش نوسانات NPP می‌تواند به ارزیابی تغییرات اکولوژیکی منطقه‌ای و مقدار کربن کمک کند و می‌تواند پایه‌ای علمی برای تدوین سیاست‌های تطبیقی که تغییرات جهانی را مورد توجه قرار می‌دهند، فراهم کند (۳۸). برآورد NPP، با استفاده از برداشت‌های میدانی کاری زمان‌بر و پرهزینه است و در مقیاس وسیع انجام دادن آن مشکل است، به همین دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به خصوص سنجنده مودیس MODIS و داده‌های سنجنش از دور، یک راهکار سریع و مقرون به صرفه، برای برآورد NPP به خصوص در مقیاس وسیع محسوب می‌شود (۴۱). تحلیل طیفی توان NPP بر اساس داده‌های سنجنش از دور به ارزیابی تولید گیاهان در مناطقی با مقیاس وسیع کمک می‌کند و اطلاعات مهمی در مورد الگوهای تغییرات NPP نشان می‌دهد. طیف توان روشی است که امکان شناسایی نوسانات نسبتاً قوی را فراهم می‌کند که توسط پیک‌های فرکانس با دامنه نسبتاً بالا و رفتار مقیاس‌پذیری ارائه می‌شوند (۳۵). روشی است که امکان بررسی دقیق نحوه رفتار یک سیگنال یا سری زمانی را در حوزه فرکانس فراهم می‌کند. در این پژوهش از روش PSD برای شناسایی دوره‌های غالب و شباهت‌های طیفی بین NPP ماهیانه مرتعی در مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران

نشریه علوم آب و خاک

استفاده شد. با توجه به مرور منابع انجام شده، تاکنون تحقیقی جهت بررسی تغییرات زمانی-مکانی NPP با استفاده از روش چگالی طیف توان انجام نشده است. در ارتباط با روش PSD، تلسکا و همکاران (۳۵) ویژگی‌های طیفی توان شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI رودخانه ابرو (Ebro) اسپانیا را از سال ۱۹۵۰-۲۰۰۶ در مقیاس‌های زمانی بین ۱-۴۸ ماه با استفاده از روش PSD مطالعه کردند. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای خواص طیفی شاخص‌های خشکسالی در حوزه ابرو، منجر به شناسایی اثرات جهانی یا منطقه‌ای متمایز از اثرات محلی شد. همچنین در ارتباط با مطالعات NPP، ژانگ و همکاران (۴۲) بر اساس Google Earth Engine (GEE)، ویژگی‌های تغییرات مکانی-زمانی NPP در Qinghai-Tibetan Plateau (QTP) چین را از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ مورد مطالعه قرار دادند و اثرات تغییرات آب و هوا، ارتفاع و فعالیت‌های انسانی بر NPP را مورد بررسی قرار دادند. هی و همکاران (۱۵) از مدل Carnegie Ames Stanford Approach (CASA) جهت ارزیابی تغییرات تولید خالص اولیه تحت تاثیر خشکسالی در منطقه کوه‌های Qinba چین از سال ۲۰۰۱-۲۰۱۸ استفاده کردند. لین و همکاران (۲۳) روش (EEMD) Ensemble Empirical Mode Decomposition را برای آنالیز الگوهای زمانی-مکانی و تولید خالص اولیه و ارتباط آنها با عوامل هیدروترمال و فعالیت‌های انسانی در مقیاس‌های زمانی مختلف در رودخانه زرد چین از سال ۲۰۰۰-۲۰۲۰ استفاده کردند. لیو (۲۴) تغییرات NPP را در استان گانسو چین در بیوم‌های جنگل، علفزار، کشاورزی و بیابان را نسبت به تغییرات آب و هوا مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. وی و همکاران (۳۹) تغییرات مکانی و زمانی NPP و ظرفیت مخزن کربن در شانسی چین را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ تجزیه و تحلیل کرده و نشان دادند هر دو روند افزایشی را در دوره مورد مطالعه به دلیل تاثیر عوامل طبیعی مانند بارش و ارتفاع و همچنین فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین را نشان دادند. ساکی و همکاران (۳۱) تحقیقی بر روی تغییرات NPP در بیوم‌های استان اصفهان انجام دادند. نتایج نشان داد که NPP در غرب استان بیشتر و به تدریج به سمت شرق کاهش می‌یابد. همچنین، میانگین سالانه NPP بیوم‌ها مشخص شد که بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزار تحت تاثیر بارش و دما قرار دارند، در حالی که دما عامل اصلی کنترل‌کننده NPP در بیوم‌های جنگل و کشاورزی است. عراقی و همکاران (۱) پژوهشی بر روی تاثیر تغییرات اقلیمی بر مراتع در دامنه شمالی رشته کوه البرز انجام داده و رابطه بین NPP و نوسانات اقیانوسی اتمسفری را بررسی کردند. نتایج نشان داد که NPP در فصول بهار و تابستان بیشتر و در پاییز و زمستان کمتر است. همچنین، تاثیر عوامل اقلیمی، به ویژه بارش و الینو بر تغییرات NPP در شمال کشور مشهود بود. صیدزاده و همکاران (۳۳) مطالعه‌ای برای بررسی و مدل‌سازی تغییرات NPP در مناطق رویشی ایران، از جمله مناطق خزری، بلوچی، نیمه بیابانی و جنگل‌های خشک انجام دادند. نتایج نشان داد که سری‌های زمانی مقادیر ماهیانه NPP در این مناطق ایستا و دارای ویژگی فصلی با دوره ۱۲ ماهه هستند و می‌توان این مناطق را با مدل فصلی ARIMA مدل‌سازی کرد. سنایی و همکاران (۳۲) تغییرات ماهانه NPP و ارتباط آن با خشکسالی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر NPP، بیش از ۵۰ گرم در ماه، در فصل بهار و اوایل تابستان در مناطق مرطوب اتفاق می‌افتد و

نشریه علوم آب و خاک

NPP در اکوسیستم‌های مرتعی ایران در حال افزایش است. همانطور که ذکر شد تا کنون مطالعات متعددی بر روی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی انجام شده است، اما در تحقیق حاضر هدف بررسی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی ایران با استفاده از روش چگالی طیف توان و طبقه بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران از دیدگاهی جدید با کمک نتایج حاصل از تغییرات طیف توان NPP ماهیانه مرتعی ایران می‌باشد. پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی کشور می‌تواند در مدیریت صحیح این مناطق مفید واقع شود و راهکارهای مناسبی برای مقابله با تغییرات ارائه دهد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در مقیاس کل کشور در اکوسیستم‌های مرتعی با کمک مرزبندی خطی و صابری (۲۰) انجام شد. خطی و صابری (۲۰) بر اساس تحلیل کتابخانه‌ای، پارامترهای اقلیمی مؤثرتر بر رشد و نمو (پراکنش) گونه‌های گیاهی در مناطق مختلف ایران را انتخاب کردند. سپس نقشه پوشش گیاهی ایران را بر نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران منطبق کردند و دقیقاً در داخل هر پهنه اقلیمی به بررسی تیپ‌های گیاهی غالب در آن پهنه پرداختند. در مجموع کل مناطق به ۱۴ پهنه زیست اقلیمی و ۲۴ زیرپهنه زیست اقلیمی تقسیم‌بندی شدند. جزئیات شرایط اقلیمی و گونه‌های غالب در هر یک از مناطق زیست اقلیمی در مطالعه خطی و صابری (۲۰) به صورت کامل ارائه گردیده است. بطور خلاصه مناطق رویشی شماره ۹، ۱۱ و ۱۳ که در فلات مرکزی ایران واقع شده‌اند، عمدتاً دارای اقلیم بسیار بیابانی گرم و بادی همراه با گرد و غبار هستند. بارش سالانه این مناطق عمدتاً کمتر از ۱۳۰ میلی‌متر می‌باشد. مناطق رویشی شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۴: این مناطق که در نزدیکی خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند عمدتاً مناطق بسیار گرم و مرطوب بیابانی را تشکیل می‌دهند. بارش سالانه این مناطق عمدتاً کمتر از ۲۲۰ میلی‌متر می‌باشد. منطقه رویشی شماره ۳: این منطقه با اقلیم نیمه مرطوب بسیار گرم و نسبتاً همراه با گرد و غبار در غرب ایران می‌باشد. بارش سالانه این منطقه حدود ۳۳۸ میلی‌متر می‌باشد. مناطق رویشی شماره ۱، ۲، ۴ و ۵: این مناطق عمدتاً کوهستانی و مرتفع بوده و لذا دارای اقلیم مرطوب خیلی سرد و نسبتاً برفی می‌باشند. بارش سالانه این مناطق حدود ۶۰۰ میلی‌متر بوده و گونه‌های گیاهی غالب آنها عمدتاً به شکل کروی هستند. منطقه رویشی شماره ۶: این منطقه در شمال ایران محصور بین رشته کوه‌های البرز و دریای خزر می‌باشد. اقلیم این منطقه معتدل و بسیار مرطوب است. متوسط بارندگی این منطقه از غرب به شرق از ۴۵۰ میلی‌متر تا ۱۱۰۰ میلی‌متر متغیر می‌باشد. منطقه رویشی شماره ۷: این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و سرد می‌باشد و دارای متوسط بارش سالانه ۲۰۰ میلی‌متر است. منطقه رویشی شماره ۸: این منطقه دارای اقلیم نیمه مرطوب سرد با متوسط بارش سالانه ۳۱۴ میلی‌متر می‌باشد (۳۲).

نشریه علوم آب و خاک

در تحقیق حاضر روش‌های مورد استفاده بر پایه تحلیل طیفی و خوشه‌بندی اطلاعات حاصل از آن می‌باشد. در ابتدا به منظور پایش NPP در اکوسیستم‌های مرتعی نقشه موقعیت کاربری‌های مراتع کل کشور از طریق سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تهیه گردید. بر اساس این نقشه مساحت اراضی مرتعی کشور در سال ۲۰۲۲، ۶۷۴،۵۸۱ کیلومتر مربع تخمین زده شده است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران، ۲۴ زیر منطقه زیست اقلیمی و کاربری‌های مرتع در شکل (۱) نمایش داده شده است.

داده‌ها

در این مطالعه از شاخص پوشش گیاهی NPP مرتعی برای کل ایران، بر اساس تولیدات سنجنده مودیس از وب سایت <https://modis.gsfc.nasa.gov> که در اختیار کاربران قرار می‌گیرد استفاده شد. این تولیدات مودیس دارای تفکیک زمانی ۸ روزه، تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و سیستم تصویر سینوسی و فرمت TIFF هستند. مقادیر این شاخص برای هر پهنه مورد مطالعه برش داده شد و سری زمانی بر اساس مقادیر میانگین ماهانه NPP مرتعی ایران، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ تشکیل شد. سری زمانی به صورت یک سری پیوسته ماهانه در طول دوره مورد مطالعه استفاده گردید.

تحلیل طیفی

تحلیل طیف توان داده‌های NPP ماهانه مرتعی ایران با استفاده از چگالی طیف توان (Power Spectral Density (PSD) انجام شد. PSD یک کمیت ریاضی است که محتوای طیفی یک سیگنال را مشخص می‌کند و نحوه توزیع توان سیگنال در فرکانس را توضیح می‌دهد (۴۰). با استفاده از طیف توان، سیگنال به یک سری چرخه تجزیه می‌شود که قدرت آنها با دامنه (amplitude) نشان داده می‌شود. هرچه دامنه بزرگتر باشد، چرخه قوی تر است. در واقع یعنی عمده تغییرات داده در آن فرکانس اتفاق می‌افتد. شناسایی چرخه‌ها یا نوسانات قوی در یک سیگنال برای شناسایی عوامل خارجی احتمالی که می‌توانند مسئول چنین رفتاری باشند، بسیار مهم است (۳۵). در یک سیگنال اگر تغییرات شدید و سریع باشد (روزانه، ماهانه، فصلی) فرکانس بالا بوده و اگر تغییرات کند باشد (تغییرات اقلیمی هموار و طولانی مدت) فرکانس پایین است و اگر تغییراتی در طول زمان نباشد، فرکانس صفر خواهد بود (۳). در تحلیل PSD، خروجی‌ها توصیف کننده توان باندهای فرکانسی مختلف هستند. در مطالعه حاضر بررسی نوسانات طیف توان سیگنال NPP بین فرکانس ۰-۱۰ هرتز انجام شد. فرکانس با واحد سیکل بر ثانیه (هرتز) اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس و دوره رابطه معکوس دارند و $T = \frac{1}{f}$ می‌باشد. فرکانس صفر قابل محاسبه نمی‌باشد و یک نوسان طولانی مدت را نشان می‌دهد. در فرکانس صفر هیچ تغییری تکرار نمی‌شود. در این پژوهش برای نشان دادن تفاوت توان در هر باند فرکانسی در تمام مناطق مرتعی ایران از نرم افزار متلب استفاده شد.

نشریه علوم آب و خاک

همچنین جهت بدست آوردن PSD (۴۰): ابتدا عبارت تبدیل فوریه تابع دامنه فضا (یا زمان) $u(t)$ را در نظر بگیرید:

$$U(v) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{i2\pi vt} dt \quad (1)$$

V متغیر فرکانس است. توجه داشته باشید که عبارات در اینجا از یک قرارداد

مثبت در کرنل فوریه استفاده می‌کنند، انتخابی که در کاربردهای علمی رایج است. همچنین توجه داشته باشید که تبدیل، هیچ ثابت

مقیاس اضافی در تعریف خود ندارد. از قضیه پلانچرل، مساحت زیر $|U(v)|^2$ همه انرژی در $u(t)$ است. این قضیه را می‌توان

$$\int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |U(v)|^2 dv \quad (2)$$

نوشت:

سپس می‌توانیم چگالی طیف انرژی را تعریف کنیم:

$$E(v) = |U(v)|^2 \quad (3)$$

که دارای واحد انرژی در واحد فرکانس است. اگر تابع $u(t)$ تبدیل فوریه نباشد اما توان میانگین محدودی داشته باشد، می‌توان آن

$$u_T(t) = \begin{cases} u(t) & -\frac{T}{2} \leq t < \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

را کوتاه کرد.

که تبدیل فوریه دارد $\mathcal{F}[u_T(t)] = U_T(v)$. توجه داشته باشید که در عمل، حتی اگر یک تابع تبدیل فوریه باشد، مجموعه داده‌ها

همیشه گسسته و کوتاه هستند. بنابراین، کار زیر برای تمام موارد عملی استفاده از PSD برای مشخص کردن سطوح نوری کاربرد

دارد. از قضیه پلانچرل $[U_T(v)]^2$ توزیع انرژی بر فرکانس سیگنال کوتاه شده $u_T(t)$ را نشان می‌دهد. سپس می‌توان طیف انرژی

$$G_T(v) = \frac{[U_T(v)]^2}{T} \quad (5)$$

نرمال شده را نوشت:

که دارای واحدهای توان در واحد فرکانس است. سپس چگالی طیف توان برای $u_T(t)$ (با عرض T در فضای سیگنال) را می‌توان

$$\text{PSD}(v) = G(v) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{[U_T(v)]^2}{T} \quad (6)$$

تعریف کرد:

خوشه بندی و ترسیم خوشه ها

در این تحقیق جهت طبقه بندی NPP مرتعی کل ایران بر اساس شباهت طیفی، از نتایج طیف توان سیگنال NPP مرتعی ماهانه ایران

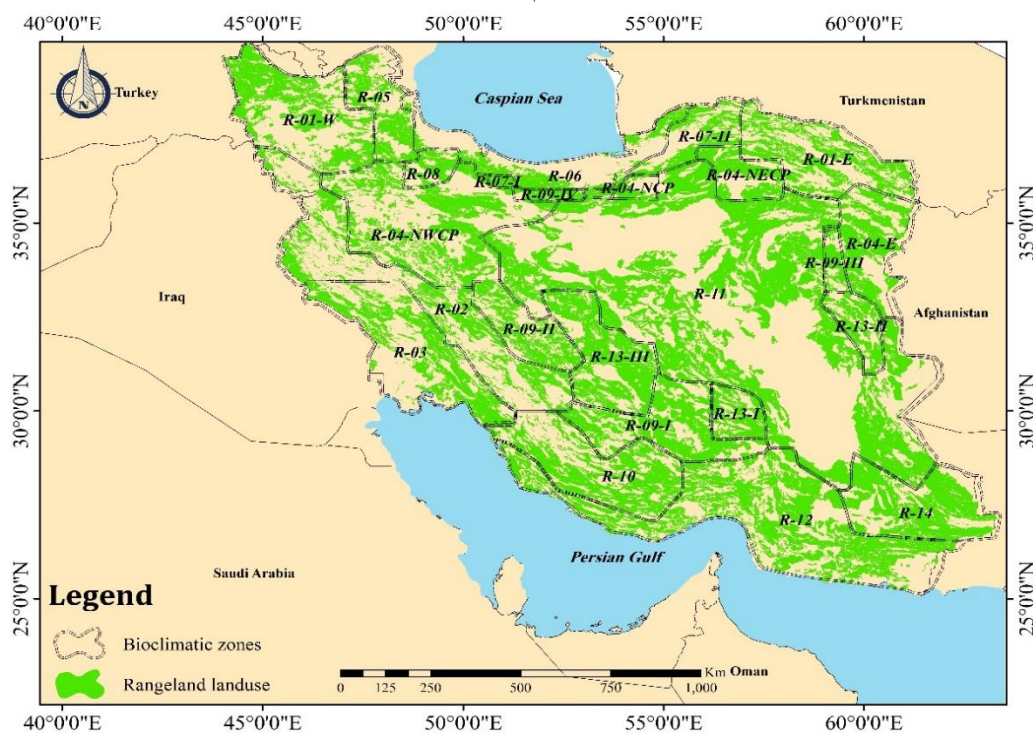
طی دوره آماری ۲۰۰۲-۲۰۰۰ با کمک خوشه‌بندی به روش واردز (Word's Method) و فاصله مربع اقلیدوسی از نرم افزار SPSS

و SAS استفاده شد. خوشه‌بندی مناطق به معنای تفکیک مناطق به گروه‌هایی است که تمامی اعضای هر گروه ویژگی‌های مشترکی

دارند. دمروس (۸)، مسعودیان (۲۶)، ناتان و امسی‌ماهون (۲۸) نشان دادند که روش واردز نتایج بهتری نشان می‌دهد؛ بنابراین ما از

روش واردز برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های طیف توان NPP ایران در این پژوهش استفاده کردیم.

نشریه علوم آب و خاک



شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی کشور ایران، بیست و چهار زیر منطقه زیست اقلیمی و کاربری‌های مرتع

نتایج

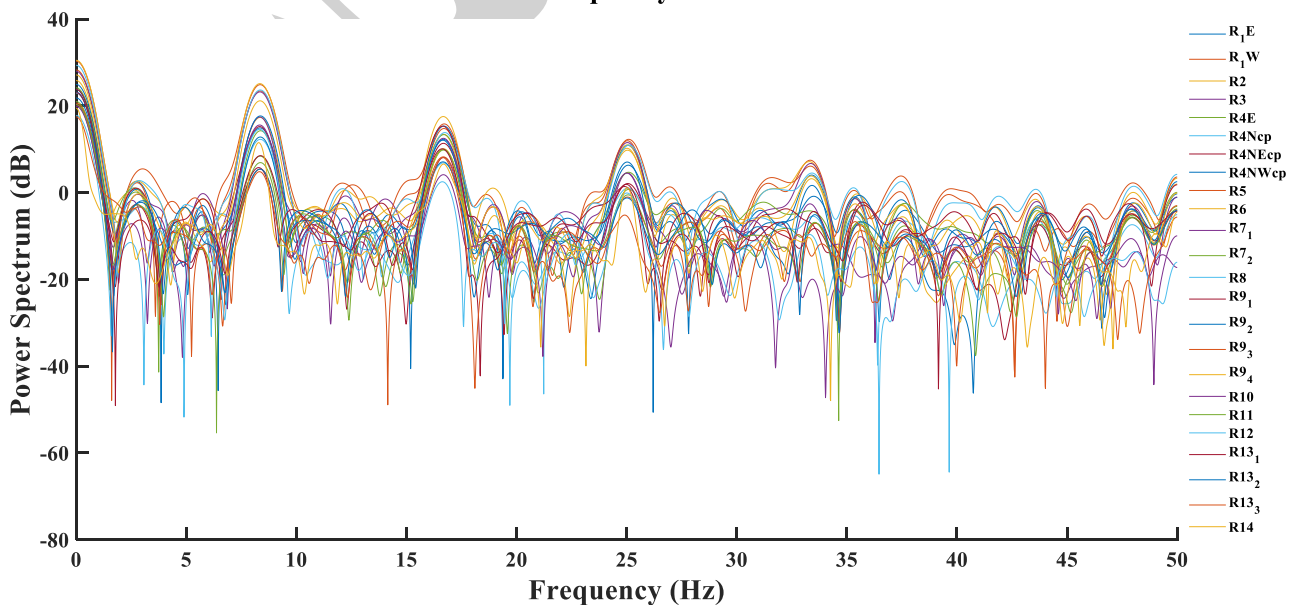
آنالیز طیفی سری زمانی NPP مرتعی

طیف توان سری زمانی میانگین ماهانه NPP مرتعی ایران برای تمام مناطق مرتعی با استفاده از روش چگالی طیف توان محاسبه شد. شکل (۲) طیف‌های توان میانگین ماهانه NPP مرتعی برای تمام مناطق را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود تمام طیف‌ها رفتاری کاملاً مشابه در فرکانس‌های ۰، ۸/۳۴، ۱۶/۶۶ و ۲۵ هرتز (Hertz (Hz)) نشان می‌دهند. شکل (۲) نشان می‌دهد که در مقیاس‌های زمانی بیشتر (فرکانس کمتر)، طیف توان در فرکانس به‌طور همگن‌تر از مقیاس‌های زمانی کمتر توزیع شده است. به عبارت دیگر، برای مقیاس‌های زمانی بالاتر، تابع توان مناطق مختلف همپوشانی بهتری نسبت به فرکانس پایین‌تر نشان می‌دهند. هرچه فرکانس بالاتر می‌رود رفتار طیفی NPP بین مناطق مختلف تفاوت بیشتری نشان می‌دهد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد تا فرکانس ۲۵ هرتز بین طیف‌ها تطابق مشاهده شد و از فرکانس ۲۵ هرتز به بعد تطابق بین طیف‌ها کاهش پیدا می‌کند. فرکانس صفر بیشترین توان را در بین تمام فرکانس‌ها داشت. این موضوع نشان می‌دهد که چرخه‌های با فرکانس پایین‌تر (مقیاس زمانی بالاتر) چرخه‌های مهم‌تری نسبت به چرخه‌های با فرکانس بالاتر (مقیاس زمانی کم‌تر) هستند. زیرا دارای بیشترین توان در بین فرکانس‌های مختلف هستند و نشان می‌دهند که عمده تغییرات NPP در این فرکانس‌ها (دوره‌ها) اتفاق می‌افتد. بالا بودن توان در یک فرکانس نشان می‌دهد که این فرکانس در سری زمانی مورد نظر در بخش طیفی غالب است. هر چرخه‌ای دامنه بیشتری داشته باشد، در واقع تغییرات بیشتری از طیف را به خود اختصاص می‌دهد. اگر یک چرخه در تعداد زیادی از مناطق قابل توجه باشد، این چرخه می‌تواند مربوط به اثرات جهانی بر NPP باشد و اگر یک چرخه برای مکان‌های محدودی قابل توجه باشد می‌تواند اثرات محلی بر

نشریه علوم آب و خاک

NPP را توصیف کند. در تمام طیف‌ها ۴ چرخه مهم فتوستتزر روزانه مشاهده شد که نشان می‌دهد عمده تغییرات NPP در آن دوره‌ها اتفاق می‌افتد. فرکانس‌های صفر (اقلیمی-طولانی)، ۸/۳۴ (۳/۵۹ روز)، ۱۶/۶۶ (۱/۸۰ روز) و ۲۵ (۱/۲ روز) هرگز در تمام طیف‌ها مشترک هستند. بنابراین، چنین چرخه‌هایی نشان‌دهنده اثرات جهانی (یعنی چرخه‌هایی در الگوی گردش جوی) هستند که می‌توانند NPP مرتعی ایران را تحت تاثیر قرار دهند. فرکانس‌های دیگر در تعداد محدودی از طیف‌ها مشترک هستند که نشان‌دهنده اثرات محلی بر NPP مرتعی ایران می‌باشند. فرکانس ۳۳/۳۷ (۰/۹ روز) در مناطق یک غربی، ۲، ۵، ۶، ۸، ۷ یک، ۹ دو، ۹ چهار و ۴ شمال غربی فلات مرکزی با توان مثبت مشاهده شد. تغییرات فتوستتزر روزانه NPP مرتعی ایران به ترتیب هر ۳/۵۹ روز، ۱/۸۰ روز و ۱/۲ روز دارای تکرار هستند که این ویژگی می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت NPP مرتعی مورد توجه قرار گیرد. بیشترین توان مربوط به فرکانس صفر بود که فرکانس صفر نشان‌دهنده عدم تکرار تغییرات است. همچنین بیشترین طیف توان به ترتیب در مناطق زیست اقلیمی ۵ و ۶ (حاشیه دریای خزر)، ۸ (زنجان و قزوین)، منطقه ۷ یک (جنوب تهران)، منطقه یک غربی (آذربایجان شرقی و غربی) و منطقه ۹ چهار (جنوب منطقه خزری) در فرکانس صفر مشاهده شد. مناطق زیست اقلیمی ۱۰، ۱۲ و ۱۴ (حاشیه خلیج فارس و دریای عمان)، منطقه ۳ غربی، منطقه ۱۱ (فلات مرکزی)، منطقه ۹-سه، ۴ شرقی و ۴ شمال شرقی فلات مرکزی دارای کمترین طیف توان در فرکانس صفر می‌باشند. همچنین به ترتیب منطقه ۱۴، منطقه ۱۳ دو، منطقه ۹ سه، منطقه ۱۱ و منطقه ۱۲ در چرخه فتوستتزر روزانه ۲۵ (۱/۲ روز) هرگز دارای توان منفی می‌باشند و در بین تمام مناطق زیست اقلیمی مرتعی کمترین توان مربوط به زیست اقلیم مرتعی ۱۴ در جنوب شرقی ایران می‌باشد.

Default Frequency Resolution



شکل شماره (۲) طیف توان ۲۴ زیر پهنه زیست اقلیمی مرتعی ایران

نتایج خوشه‌بندی مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران با استفاده از نتایج طیف توان سیگنال NPP مرتعی و روش خوشه‌بندی واردز و فاصله مربع اقلیدوسی، در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول شماره (۱)، خوشه بندی ۲۴ زیر پهنه زیست اقلیمی ایران بر اساس طیف توان تولید خالص اولیه (NPP) مرتعی با استفاده از روش واردز و فاصله مربع اقلیدوسی

خوشه بندی						
	I	II	III	IV	V	V I
مناطق زیست اقلیمی	R1E	R1W	R13 I	R4E	R3	R14
	R2	R5	R13III	R9III	R10	
	R4NWCP	R6	R9 II	R13 II	R12	
	R7 II	R7 I		R4NECP		
	R9 I	R8		R11		
		R9IV		R4NCP		

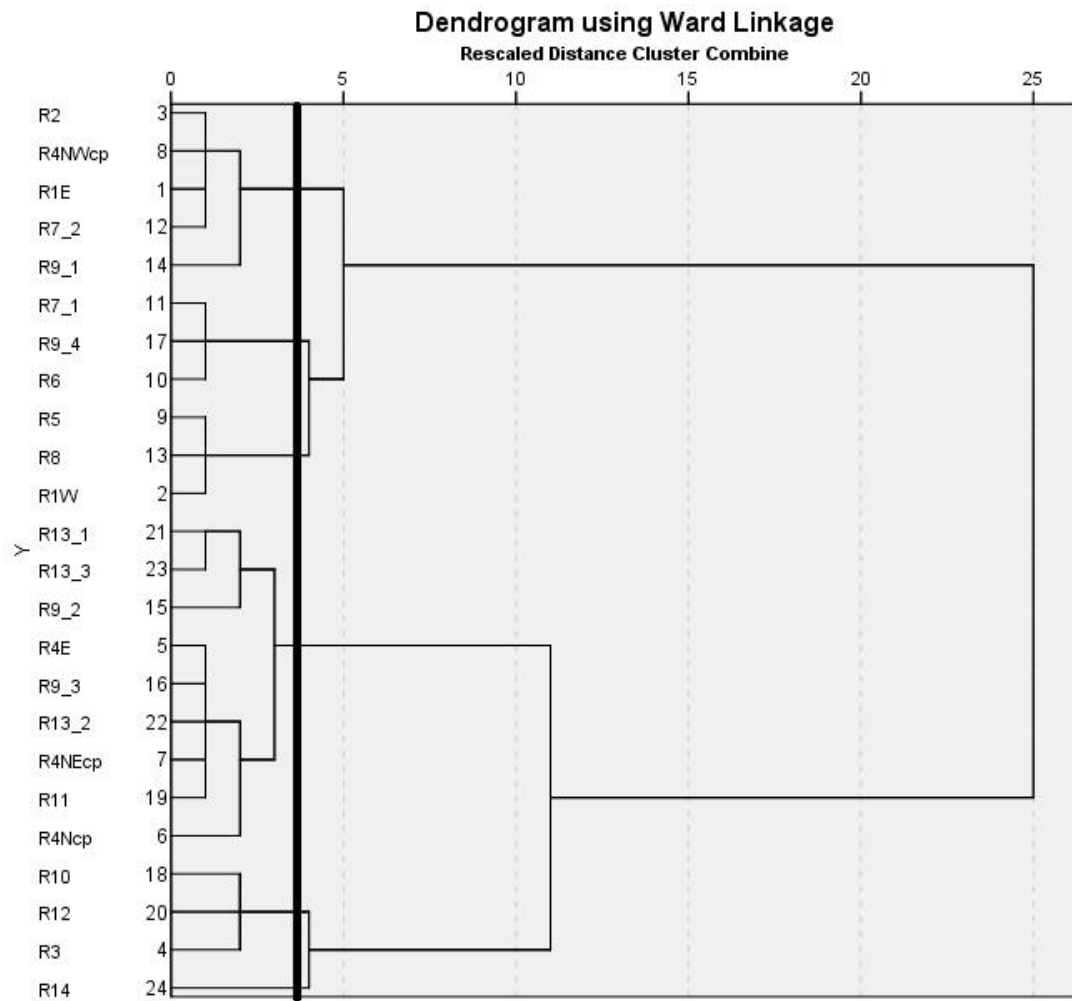
* I: خوشه ۱، II: خوشه ۲، III: خوشه ۳، IV: خوشه ۴، V: خوشه ۵ و V I: خوشه ۶

با کمک نتایج چگالی طیف توان تولید خالص اولیه، ایران به ۵+۱ پهنه بر اساس بیشترین شباهت طیفی تقسیم گردید. به دلیل اینکه ۵ خوشه هر کدام شامل چند زیست اقلیم مرتعی می باشد، اما یک خوشه شامل تنها یک زیست اقلیم مرتعی می باشد، به جای ۶ پهنه از ۱+۵ استفاده گردید. با توجه به شکل دندروگرام و مقدار t (شکل‌های ۳ و ۴) در حالت وجود ۵ خوشه، مقدار t به حداقل می رسد از طرف دیگر با توجه به شکل دندروگرام و مبنای چشمی و تجربه نویسندگان و گروه‌بندی بر اساس فاصله ۵، ناحیه R14 می‌تواند یک خوشه مجزا باشد. بنابراین تعداد ۶ گروه برای گروه‌بندی تابع طیفی پوشش گیاهی در این مطالعه در نظر گرفته شد. مناطقی که از لحاظ میزان و توزیع توان سیگنال NPP در فرکانس‌های مختلف بیشترین شباهت را با همدیگر داشتند در یک گروه قرار گرفتند. پهنه R14 به دلیل اینکه کمترین توان و شباهت طیفی را با سایر پهنه‌ها داشت در هیچ کدام از گروه‌ها قرار نگرفت و به صورت یک خوشه مجزا تقسیم بندی شد. بررسی‌ها نشان داد زیست اقلیم‌های مرتعی طبقه‌بندی شده در هر یک از گروه‌ها دارای شرایط اقلیمی و زیستی مشابه هستند. خوشه ۱ شامل: مناطق کوهستانی و نیمه مرطوب، خوشه ۲ شامل: مناطق مرطوب خزری و نیمه مرطوب قسمتی از شمال غرب کشور، خوشه ۳ شامل: نیمه خشک حاشیه فلات مرکزی، خوشه ۴ شامل: مناطق خشک فلات مرکزی، خوشه ۵ شامل: مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و خوشه ۶ شامل: منطقه ای خشک در قسمت جنوبی استان سیستان و بلوچستان می‌باشند. به‌طور مختصر فرم‌های رویشی غالب خوشه ۱ (I) علفی-بوته‌ای، خوشه ۲ (II) علفی-بوته‌ای، خوشه ۳ (III) بوته‌ای-علفی-درختچه‌ای، خوشه ۴ (IV) بوته‌ای-درختچه‌ای-علفی-درختی، خوشه ۵ (V) درختچه‌ای-بوته‌ای-علفی، خوشه ۶

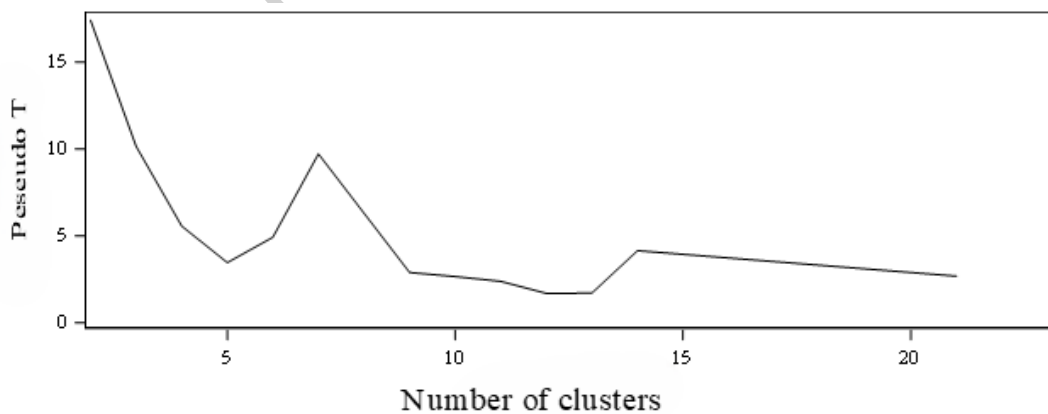
نشریه علوم آب و خاک

(V I) بوته‌ای-درختچه‌ای می‌باشند. شکل‌های ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب توابع طیفی مناطق مختلف در هر گروه را نشان می‌دهند.

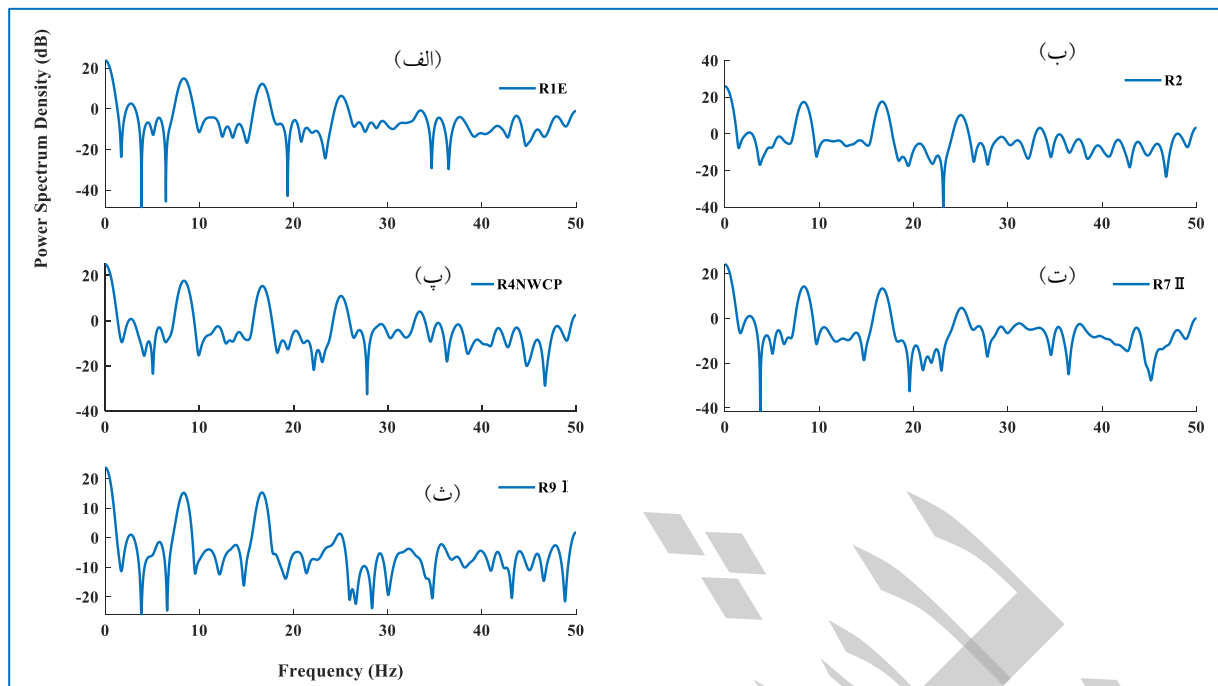
شکل ۱۱ بر اساس این طبقه‌بندی، مناطق شش‌گانه مرتعی ایران را بر اساس تابع طیفی NPP نشان می‌دهد.



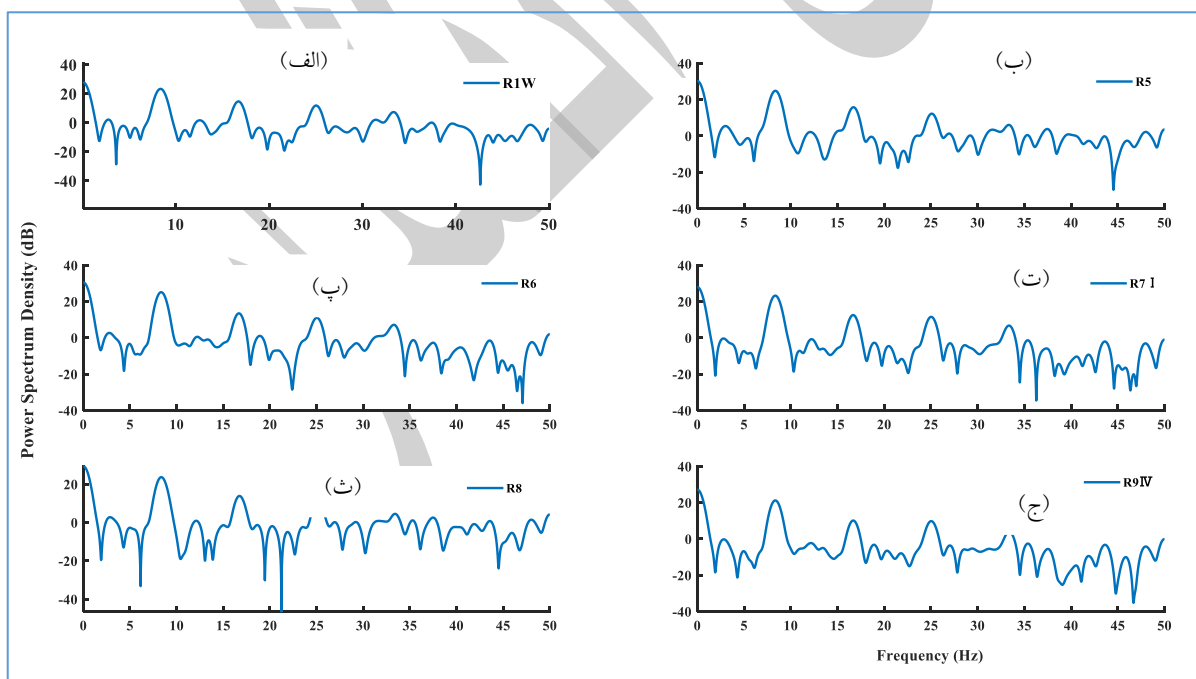
شکل شماره (۳) نمودار دندروگرام زیست پهنه‌های مرتعی ایران در ۲۴ زیر پهنه مورد مطالعه



شکل شماره (۴) نمودار شبه T (Pseudo T-cuadrado) زیست پهنه‌های مرتعی ایران در ۲۴ زیر پهنه مورد مطالعه

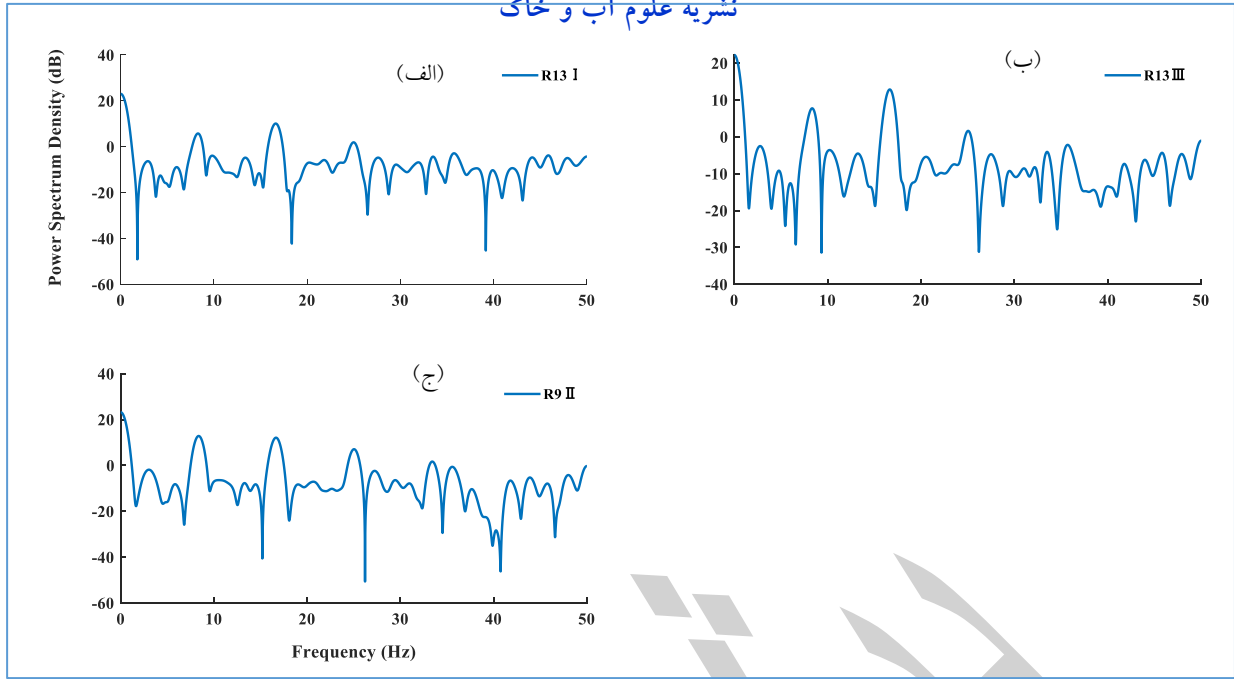


شکل شماره (۵): نمودار طیف توان خوشه ۱ (I) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، (الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی یک شرقی (R1E) (ب)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۲ (R2) (پ)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴-شمال غربی فلات مرکزی (R4NWCP) (ت)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۷ دو (R7 II) (ث)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ یک (R9 I).

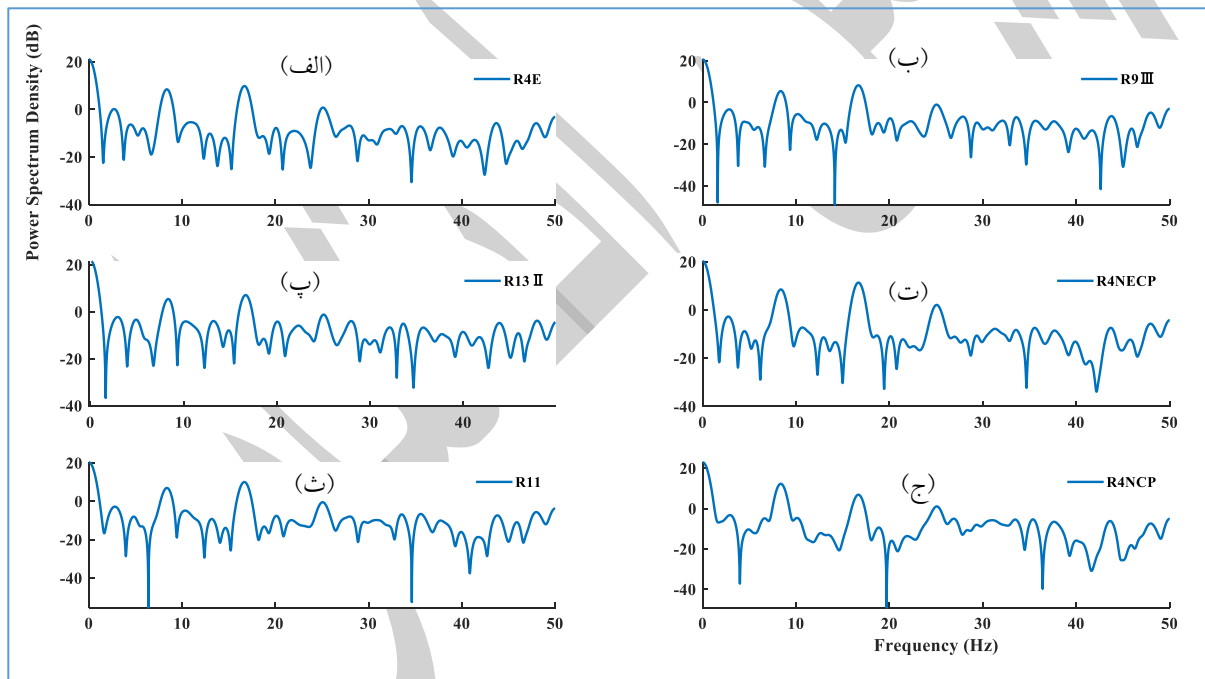


شکل شماره (۶): نمودار طیف توان خوشه ۲ (II) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، (الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی یک غربی (R1W) (ب)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۵ (R5) (پ)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۶ (R6) (ت)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۷ یک (R7 I) (ث)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۸ (R8) (ج)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ چهار (R9IV).

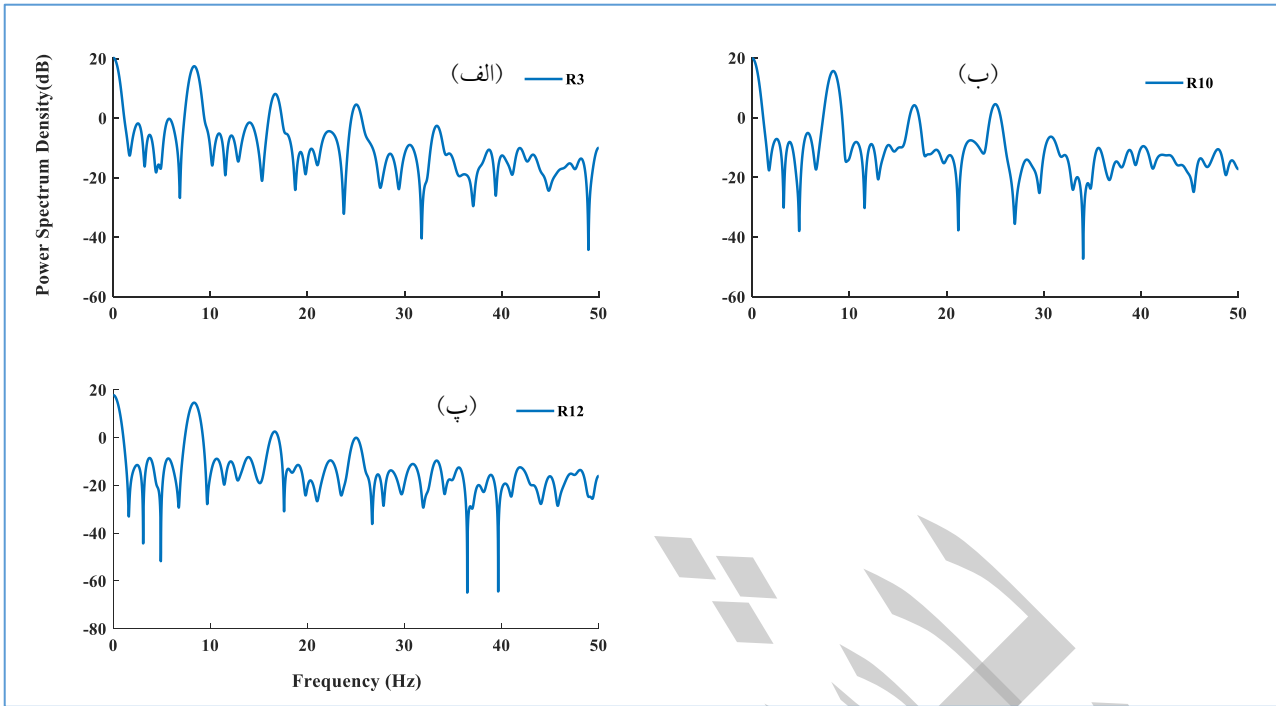
نشریه علوم آب و خاک



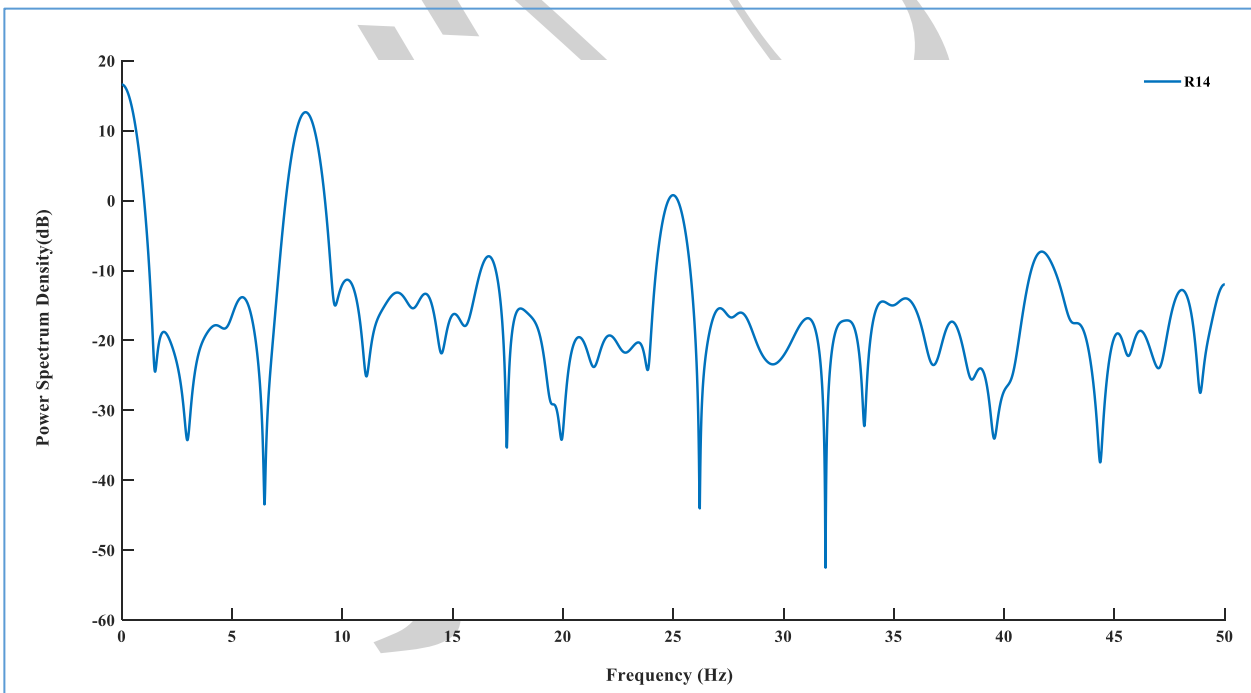
شکل شماره (۷): نمودار طیف توان خوشه ۳ (III) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۳ یک (R13 I) ب)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۳ سه (R13 III) پ)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی نه دو (R9 II).



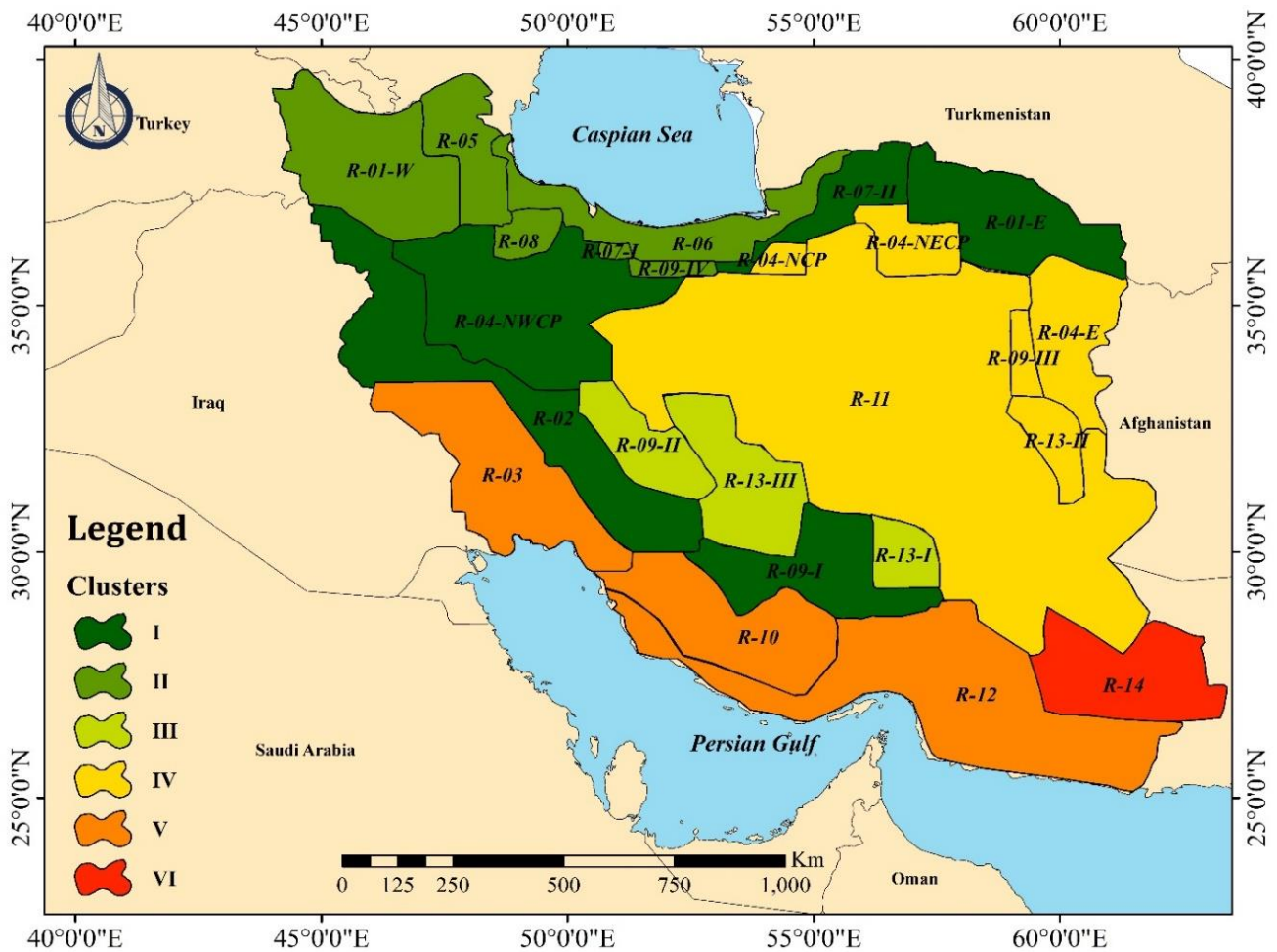
شکل شماره (۸): نمودار طیف توان خوشه ۴ (IV) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴- شرقی (R4E) ب)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ سه (R9 III) پ)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۳ دو (R13 II) ت)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴-شمال شرقی فلات مرکزی (R4NECP) ث)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۱ (R11) ج)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی شمال فلات مرکزی (R4NCP)



شکل شماره (۹): نمودار طیف توان خوشه ۵ (V) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۳ (R3) ب)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۰ (R10) پ)، منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۲ (R12)



شکل شماره (۱۰): نمودار طیف توان خوشه (V I) منطقه زیست اقلیمی اقلیمی ۱۴ (R14)



شکل شماره (۱۱) طبقه‌بندی زیست اقلیمی ایران بر اساس طیف توان سیگنال NPP مرتعی (مرزبندی خطی و صابری)

ضریب همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شده بر اساس تحلیل طیفی

به منظور بررسی میزان شباهت طیفی میان مناطق زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شده بر اساس تحلیل طیفی و صحت طبقه‌بندی هر یک از ۵+۱ گروه طبقه‌بندی شده با روش چگالی طیف توان، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد: مناطقی که از لحاظ طیفی به هم شباهت بیشتری دارند دارای میزان همبستگی بیشتر و مناطقی که از لحاظ طیفی به هم شباهت کمتری دارند دارای میزان همبستگی کمتری می‌باشند. ضریب همبستگی بین پهنه‌ها در هر گروه به طور متوسط به ترتیب خوشه‌ها برابر با: ۰/۸۱، ۰/۹۶، ۰/۸۴، ۰/۸۲ و ۰/۹۲ می‌باشد. آزمون همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شده بر اساس تحلیل طیفی در هر خوشه نشان داد که همبستگی بسیار بالایی بین پهنه‌ها در داخل خوشه‌ها در سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد به خصوص در خوشه شماره ۲ و ۵ وجود دارد که نشان می‌دهد پهنه‌ها از نظر طیفی به خوبی طبقه‌بندی شده اند (جداول شماره ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) و پهنه‌هایی که از نظر اقلیمی و زیستی شباهت بیشتری دارند از لحاظ طیفی نیز بیشتر بهم شبیه هستند.

نشریه علوم آب و خاک

جدول شماره (۲) نتایج همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی در خوشه I

I	R1E	R2	R4NWcp	R7 II	R9 I
R1E	۱				
R2	۰/۸۵	۱			
R4NWcp	۰/۸۸	۰/۹۳	۱		
R7 II	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۶	۱	
R9 I	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۱	۱

جدول شماره (۳) نتایج همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی در خوشه II

II	R1W	R5	R6	R7_1	R8	R9_4
R1W	۱					
R5	۰/۹۸	۱				
R6	۰/۹۶	۰/۹۵	۱			
R7_1	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۱		
R8	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۴	۱	
R9_4	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۱

جدول شماره (۴) نتایج همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی در خوشه III

III	R13 I	R13III	R9 II
R13 I	۱		
R13III	۰/۹۰	۱	
R9 II	۰/۸۳	۰/۷۹	۱

جدول شماره (۵) نتایج همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی در خوشه IV

IV	R4E	R9III	R13 II	R4NEcp	R11	R4Ncp
R4E	۱					
R9III	۰/۹۵	۱				
R13 II	۰/۹۱	۰/۹۵	۱			
R4NEcp	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۸۴	۱		
R11	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۴	۱	
R4Ncp	۰/۷۴	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۷۰	۰/۶۰	۱

نشریه علوم آب و خاک

جدول شماره (۶) نتایج همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی در خوشه V

V	R3	R10	R12
R3	۱		
R10	۰/۹۳	۱	
R12	۰/۹۲	۰/۹۲	۱

بحث

در این تحقیق از نتایج طیف توان سیگنال ماهانه NPP در طول دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۲ در اکوسیستم‌های مرتعی ایران جهت طبقه‌بندی مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران استفاده شد و این طبقه‌بندی جدید با طبقه‌بندی قبلی مورد مقایسه قرار گرفت. در ابتدا نتایج تجزیه و تحلیل ویژگی‌های طیفی شاخص NPP برای ۲۴ زیر پهنه زیست اقلیمی مرتعی منجر به شناسایی اثرات جهانی یا منطقه‌ای متمایز از اثرات محلی شد. مشخص شد که برخی از سیگنال‌های دوره‌ای در تمام مناطق مشترک هستند، درحالی‌که برخی فقط در تعدادی از مناطق مشترک هستند. در ۲۴ زیر پهنه زیست اقلیمی مرتعی ۴ دوره مشترک در تمام مناطق (چرخه غالب فتوسنتز: اقلیمی-طولانی، ۳/۵۹ روز، ۱/۸۰ روز، ۱/۲ روز) در سیگنال NPP وجود دارد که نشان می‌دهد عمده تغییرات NPP در این دوره‌ها اتفاق می‌افتد. این می‌تواند منجر به شناسایی دوره‌هایی شود که تقریباً در همه مکان‌ها به‌عنوان اثر انگشت پدیده‌های جهانی یا منطقه‌ای موثر بر کل پهنه‌ها مشترک است. از طرف دیگر، سیگنال‌های دوره‌ای که فقط در تعدادی از مناطق قابل تشخیص هستند، می‌توانند برخی از اثرات محلی را توضیح دهند (چرخه فتوسنتز ۰/۹ روز). بنابراین می‌توان عنوان کرد تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تاثیر اثرات جهانی و منطقه‌ای نسبت به تغییرات محلی قرار می‌گیرد (۳۵). همچنین در پژوهش حاضر بیشترین توان در مقیاس‌های زمانی بالا (صفر) متمرکز شده است، که بیانگر این است که تغییرات NPP ایران طولانی مدت و اقلیمی است. این رفتار عمدتاً، NPP مربوط به بازه‌های زمانی طولانی‌تر را مشخص می‌کند، که می‌تواند به طور موثرتری برای تحقیقات پیش‌بینی تغییرات NPP استفاده شود. فرکانس‌های بالا و اغتشاشات، بیشتر خود را در جزئیات نشان داده و فرکانس‌های پایین و تغییرات اقلیمی هموار و طولانی مدت، خود را در تقریب‌ها نمایان می‌سازند. به طور معمول تقریب مهمترین بخش سیگنال است که اطلاعات پس زمینه داده‌ها را نشان می‌دهد (۴ و ۱۷). به‌علاوه بررسی پهنه‌های زیست اقلیمی مرتعی نشان داد، تغییرات توان پهنه‌های زیست اقلیمی مرتعی در چرخه‌های غالب روزانه متفاوت است. بیشترین توان سیگنال NPP در چرخه‌های غالب روزانه مربوط به مناطق مرطوب و نیمه مرطوب و کمترین توان مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و در برخی موارد در مناطق خشک و نیمه خشک (به ترتیب منطقه ۱۴، منطقه ۱۳ دو، منطقه ۹ سه، منطقه ۱۱ و منطقه ۱۲) در دوره بازگشت ۱/۲ روز، میزان تغییرات NPP منفی می‌باشد. همچنین بیشترین توان در فرکانس صفر (تغییرات NPP) مربوط به مناطق مرطوب و نیمه مرطوب و کمترین توان مربوط

نشریه علوم آب و خاک

به مناطق خشک و نیمه خشک است. NPP به طور قابل توجهی در سطح زمین و در بین انواع مختلف اکوسیستم به دلیل ترکیب جامعه گیاهی، طول فصل رشد، بارش، دما و تابش خورشیدی متفاوت است. NPP در طول زمان در نوسان است و با تغییرات فیزیکی و اکولوژیکی که در بازه‌های زمانی مختلف رخ می‌دهد، همراه است. در مقیاس‌های چند ثانیه تا چند ساعت، NPP در طول فصل رشد به محرک‌های محیطی فتوستنتز پاسخ می‌دهد (۱۹). در مقیاس‌های زمانی کوتاه، متغیرهای آب و هوایی مانند دمای هوا، بارش و ساعات آفتابی مستقیماً بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله هدایت روزنه‌ای، فتوستنتز گیاهان و تنفس تأثیر می‌گذارند (۱۱).

مناطق مرطوب به دلیل میزان بالای رطوبت، تنوع گیاهی بالا، فتوستنتز بالا و دوره رشد گیاهی طولانی نوسانات فتوستنتز روزانه بیشتری از خود نشان می‌دهند. بنابراین دارای چرخه تغییرات فتوستنتز روزانه بیشتری نسبت به مناطق خشک و نیمه خشک هستند. همچنین به دلیل میزان بالاتر تولید خالص اولیه و فرم رویشی غالب علفی-بوته ای و چرای بیشتر دام‌ها، رشد مجدد پوشش گیاهی بیشتر است. در کنار تأثیرات عمومی مربوط به چرا، عموماً مواد غذایی موجود در ادرار و مدفوع دام‌ها، برای رشد گیاه مفید است و باعث افزایش فتوستنتز روزانه و تولید گیاه می‌شود (۲). در مناطق خشک و نیمه خشک NPP به شدت توسط عوامل آب کنترل می‌شود و به دلیل دمای بالا، شاهد کاهش طول دوره رشد، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوستنتز هستیم (۵، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۵ و ۴۳)؛ بنابراین چرخه تغییرات فتوستنتز روزانه در این مناطق کمتر است. بر اساس مطالعات انجام شده، قلچ نیا و همکاران (۱۳) بیان کردند درصد پوشش و تولید با بارندگی در ارتباط است و بارندگی بر تمام شکل‌های رویشی تأثیر گذار است. همچنین در بررسی رابطه بین تولید و پوشش گیاهی، ابرهیمی (۱۰) نشان داد تقریباً در جاهایی که پوشش گیاهی بیش‌تری وجود داشته است برآورد بیشتری از تولید صورت گرفته است و بالعکس. نتایج ساکی و همکاران (۳۱)، عراقی و همکاران (۱)، صیدزاده و همکاران (۳۳) و سنایی و همکاران (۳۲) در رابطه با تغییرات زمانی و مکانی مرتعی ایران مشابه نتایج ما هستند.

نهایتاً، جهت طبقه‌بندی نواحی زیست اقلیمی مرتعی ایران، مطابق روش چگالی طیف توان و خوشه بندی، ایران به ۵+۱ زیست پهنه اقلیمی مرتعی تقسیم گردید. مناطقی که از لحاظ میزان تغییرات توان در چرخه‌های غالب روزانه دارای شباهت بیشتری بودند در یک گروه قرار گرفتند. مناطقی که دارای میزان توان بیشتر و مثبت (چرخه غالب فتوستنتز روزانه) بودند جزو مناطق مرطوب و نیمه مرطوب و در مقابل مناطق با میزان توان کمتر و حتی منفی (چرخه غالب فتوستنتز روزانه) در برخی مناطق، جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی شدند. پهنه زیست اقلیمی مرتعی R14 به صورت تنها در یک گروه مجزا قرار گرفت. این پهنه رویشی اقلیمی در جنوب شرق ایران و فقط شامل مناطقی در مرکز استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. این پهنه خشک، خیلی گرم، غباری و تندری است (۲۰). پایین بودن میزان NPP و چرخه فتوستنتز روزانه در این پهنه اقلیمی رویشی نسبت به سایر پهنه‌ها علاوه بر درجه حرارت بالا، به دلیل غباری و تندری بودن بالای منطقه می‌باشد که باعث کاهش میزان فتوستنتز در این پهنه رویشی می‌شود.

نشریه علوم آب و خاک

جهت بررسی میزان صحت طبقه‌بندی، پهنه‌های زیست اقلیمی مرتعی تفکیک شده با استفاده از روش چگالی طیف توان با چند روش طبقه‌بندی زیست اقلیمی مقایسه شدند. در واقع با مقایسه و تحلیل این روش‌ها می‌توانیم به نتیجه‌گیری بهتری در مورد اینکه آیا طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران درست انجام شده است یا خیر می‌رسیم. بررسی مقایسات نشان داد: ۱- روش گوسن و کوپن: در این روش، بخش‌های زیادی از کشور جز پهنه اقلیمی بیابانی طبقه‌بندی می‌شود، قسمت‌هایی از کشور جز مناطق بیابانی و نیمه بیابانی قرار می‌گیرند که از لحاظ پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی این تقسیم بندی صحیح نمی‌باشد. ۲- روش آمبرژه: در این روش، پهنه‌بندی اقلیمی در مناطق مرتفع به واقعیت نزدیک است اما در سایر نقاط کشور از واقعیت دور است. ۳- روش دومارتون اصلاح شده: در این روش، طبقه‌بندی بر اساس بارندگی و درجه حرارت انجام شده که بین برخی پهنه‌ها از لحاظ بارندگی و درجه حرارت همگنی مشاهده نمی‌شود. ۴- روش پایو: مناطق با میزان بارندگی بسیار متفاوت در یک پهنه قرار می‌گیرند و ناهمگنی بسیار زیاد دیده می‌شود. ۴- سیستم طبقه‌بندی جهانی: بین پهنه‌بندی جدید و سیستم طبقه‌بندی جهانی شباهت‌های زیادی دیده می‌شود. خوشه ۱ روش طیف توان شباهت زیادی به زیست اقلیم مدیترانه فصلی-قاره‌ای، خوشه ۵ روش طیف توان به منطقه بیابان گرمسیری، خوشه ۴ روش طیف توان به زیست اقلیم مدیترانه بیابانی-قاره‌ای شباهت دارد، اما خوشه ۳ روش طیف توان جز طبقه بندی مدیترانه بیابانی-قاره‌ای قرار گرفته است. در پهنه‌بندی سیستم طبقه‌بندی جهانی مرزهای واحدهای جغرافیایی اصلی شناسایی شده در ایران تا حد زیادی با مرزهای ماکروبیوکلیماتیک جهانی منطبق است و مغایرت‌های اصلی شامل بخش شرقی جنوبی خزر و برخی مناطق در فلات مرکزی ایران است و دلیل آن می‌تواند کوه‌نگاری پیچیده ایران باشد. ۵- پهنه‌بندی اقلیم رویشی ایران با کمک روش‌های آماری چند متغیره: پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی با کمک روش چگالی طیف توان تطابق زیادی با پهنه‌بندی اقلیم رویشی ایران با کمک روش‌های آماری چند متغیره (۲۰) نشان داد و در تفکیک اقلیم رویشی ایران با دیدگاه متفاوت نسبت به روش آماری چند متغیره به نتایج خوبی رسید و می‌توان عنوان کرد طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران با روش چگالی طیف توان به خوبی طبقه‌بندی شده است. این تحقیق می‌تواند کاربردهای مختلفی داشته باشد؛ از جمله کاربردهای تحقیق حاضر می‌توان به ارائه تغییرات مکانی- زمانی NPP اکوسیستم‌های مرتعی ایران در دو دهه اخیر اشاره کرد. همچنین دیگر کاربرد این پژوهش این است که طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران با روش چگالی طیف توان سیگنال NPP مرتعی می‌تواند به‌عنوان یک روش جدید جهت استفاده محققین معرفی گردد؛ اما پیشنهاد می‌شود با توجه به کوه‌نگاری پیچیده ایران جهت بررسی صحت پژوهش، داده‌های خاک به همراه داده‌های NPP جهت مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای برای تفکیک پهنه‌های زیست اقلیمی مرتعی ایران به کار رود. می‌توان از تلفیق روش آماری چند متغیره و چگالی طیف توان جهت طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران استفاده کرد.

این پژوهش جهت پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران با کمک مرزبندی خطی و صابری و با استفاده از روش چگالی طیف توان انجام شد. با توجه به نتایج تحقیق می‌توان ادعا کرد تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تاثیر اثرات جهانی و منطقه‌ای نسبت به اثرات محلی قرار می‌گیرد و بیشتر تغییرات NPP مرتعی ایران طولانی مدت و اقلیمی است. با استفاده از روش چگالی طیف توان، ایران به ۵+۱ پهنه زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی گردید و مقایسات انجام شده با سایر روش‌های طبقه‌بندی نشان داد، روش چگالی طیف توان سیگنال NPP مرتعی تطابق خوبی بین مرزهای زیستی و آب و هوا فراهم می‌کند و در تفکیک اقلیم رویشی ایران با دیدگاه متفاوت نسبت به روش آماری چند متغیره به نتایج خوبی رسید.

سپاسگزاری

موضوع پژوهش حاضر مستخرج از تز دکتری است و بدین وسیله از حمایت مالی بنیاد علم ایران نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورد.

منابع

- 1-Araghi-Shahri, S. M., S. Soltani, M. Tarkesh and S. Pourmanafi. 2020. Investigating the effects of teleconnection indices on net primary production in the north of Iran's Alborz Mountains. *Journal of applied ecology* 9(3): 1-16. (In Persian).
- 2-Arzani, H. and K. Naseri. 2009. Livestock grazing in Rangeland and pastures, Tehran University Press, third edition, 299 p. (In Persian).
- 3-Azad, N. 2015. Investigating changes in hydrological processes using the combined method of Mann-Kendall test and wavelet transform (case study: Lake Urmia watershed). Tabriz University, Tabriz, Iran. (In Persian).
- 4- Badrzadeh, H. 2014. River flow forecasting using an integrated approach of wavelet multi-resolution analysis and computational intelligence techniques. PhD Thesis, Curtin University.
- 5- Baker N.B. 1996. Photosynthesis and the Environment, ISBN 978-0-306-48135-2, 1996, Editon 1, XII, 491 p.
- 6- Box, E. O. 2016. World bioclimatic zonation. Vegetation structure and function at multiple spatial, temporal and conceptual scales. 3-52.
- 7- Djamali, M., H. Akhiani, R. Khoshravesh, V. Andrieu-Ponel, P. Ponel and S. Brewer 2011. Application of the global bioclimatic classification to Iran: implications for understanding the modern vegetation and biogeography. *Ecologia mediterranea* 37(1): 91-114.
- 8- Domroes, M., M. Kaviani and D. Schaefer. 1998: An Analysis of Regional and Intra-annual Precipitation Variability over Iran using Multivariate Statistical Methods. *Theoretical and Applied Meteorology* 61: 151-159.
- 9-Entrocassi, G. S., R. G. Gavilan and D. Sanchez-Mata. 2020. Subtropical mountain forests of las yungas: vegetation and bioclimate. Springer International Publishing.
- 10-Ebrahimi A. 2017. Effect of vector statistics groups and vegetative forms on estimating the relationship between production and vegetation. Rangeland and Watershed. *Journal of Natural Resources of Iran* 7(1): 19-30. (In Persian).
- 11- Field, C.B., J.T. Randerson, and C.M. Malmstrom. 1995. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 51(1):74-88.
- 12-Fathi Taperast, A., H. Shafizadeh Moghadam and M. Kouchakzadeh. 2022. Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences* (3): 137-154.
- 13- Ghelichnia, H., H. Arzani, M. Akbarzadeh, M. Farahpour and M. Sadat Azimi. 2012. Investigation on variation trends of vegetation and yield in rangelands of Mazandaran province (2001-2005). *Rangeland and desert research in Iran* 19 (20): 203-220.

- 14-Hanafi, A. and I. Hatami. 2013. Producing climate map for Kurdistan Province using information technology system. *Scientific-Research Quarterly Geographical Data (Sepehr)* 22(87): 24-28.
- 15- He, T., X., Dai, W., Li, J., Zhou, J., Zhang, C. Li ... & X. Jiang. 2023. Response of net primary productivity of vegetation to drought: A case study of Qinba Mountainous area, China (2001–2018). *Ecological Indicators*. 149: 110148.
- 16- Heydari, H. and B. Alijani. 1999. Climate classification of Iran using multivariate statistical techniques. *Geographical Research Quarterly* 37: 57-74.
- 17-Karbasi, M. 2018. Application of Empirical Wavelet Transform (EWT) in forecasting of SPEI drought index. Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering, Zanjan University.
- 18-Kardavani, P. 1992. Rangelands, its problems and solutions in Iran, Tehran University Press, first edition, 554 p. (In Persian).
- 19-Kaller, A. 2001. Vegetation-environment interactions in a boreonemoral forest in east central Sweden. Department of Environmental Assessment Swedish University of Agricultural Sciences.
- 20-Khatibi, R. and M. Saberi 2020. Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. *SN Applied Sciences* 2: 1-30.
- 21-Klamkowski, K. and W. Treder 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 71 (4): 159-165
- 22-Koc, M., C. Barutcular and I .Genc. 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. *Crop Science* 43: 2089-2098.
- 23- Lin, Z., Y., Liu, Z., Wen, X., Chen, P., Han, C. Zheng ... and H. Shi. 2023. Spatial–temporal variation characteristics and driving factors of net primary production in the Yellow River Basin over multiple time scales. *Remote Sensing*. 15(22): 5273.
- 24-Liu, Y. K., F. Xie, C. L. Xie, M. J. Peng, G. H. Wu and H.Xia. 2015. Prediction of time series of NPP operating parameters using dynamic model based on BP neural network. *Annals of Nuclear Energy* 85: 566-575.
- 25-Mesdaghi, M. 2005. Plant Ecology. Mashhad Academic Jihad Publications, first edition, 187 p. (In Persian).
- 26- Masoodian, S.A. 1998: An analysis of Tempo Spatial variation or precipitation in Iran. Ph.D. thesis in climatology, University of Isfahan, Iran.
- 27-Masoodian, A. 2003. Climatic Regions of Iran. *Geography and Development* 1(2): 171-184.
- 28- Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Identification of homogeneous regions for the purpose of regionalization. *Journal of Hydrology* 121: 2.
- 29- Razinei, T. 2017. Koppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Earth and Space Physics* 2(1):419-439.
- 30- Rubel, E. 1930. Pflanzengesellschaften der Erde. Huber, Berlin.
- 31-Saki, M., S. Soltani Koupaei, M. Taekesh Esfahani and R. Jafari. 2018. Spatial and temporal changes of net primary production (NPP) and their relationship with climatic factors from 2000 to 2014 in Isfahan Province. *Journal of applied ecology* 7(1): 27-40. (In Persian).
- 32-Sanaei, Z., Modarres, R. and Mohit Esfahani 2023. Evaluation of Spatial and Temporal Changes in Net Primary Production in Iran's Rangeland Ecosystems in Relation to Drought. *Journal of applied ecology* 12 (3):35-52. (In Persian).
- 33-Saydzade, F., S. Soltani and R. Modarres. 2022. Prediction of net primary production changes in different phytogeographical regions of Iran from 2000 to 2016, using time series models. *Journal of applied ecology*. 11(2): 19-35. (In Persian).
- 34- Tavousi, T., C. Kajejamiri Khaledi and M. R. Salari Fanoudi. 2021. Revision of the climatic classification of Iran based on climatic variables. *Desert Management* 8(16): 17-36. (In Persian).
- 35-Telesca, L., S. M. Vicente-Serrano and J. I. Lopez-Moreno. 2013. Power spectral characteristics of drought indices in the Ebro river basin at different temporal scales. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27:1155-1170.
- 36- Torabi, S., S. Jahanbakhsh, B. Alijani and Kh. Shafiei. 1380. Iran's climate classification: application of multivariate method. *Journal of Geographical Research* 39: 151-165.
- 37- Trigubov, V. and S. Mobin. 1348. Guide to Vegetation Map of Iran, Tehran University Press.
- 38-Wei, X., J. Yang, P. Luo, L. Lin, K. Lin and J. Guan. 2022a. Assessment of the variation and influencing factors of vegetation NPP and carbon sink capacity under different natural conditions. *Ecological Indicators* 138: 108834.
- 39-Wei, M., H. Li, M. A. Akram, L. Dong, Y. Sun, W. Hu ... and J. Deng 2022b. Quantifying drought resistance of drylands in northern China from 1982 to 2015: Regional disparity in drought resistance. *Forests* 13(1): 100.
- 40- Youngworth, R. N., B. B. Gallagher and Stamper B. L. 2005. An overview of power spectral density (PSD) calculations. *Optical manufacturing and testing VI* 5869:206-216.
- 41-Zhang, G., Y. Kang, G. Han and K. Sakurai 2011. Effect of climate change over the past half century on the distribution, extent and NPP of ecosystems of Inner Mongolia. *Global Change Biology* 17(1): 377-389.
- 42- Zhang, Y., Q. Hu and F. Zou. 2021c. Spatio-temporal changes of vegetation net primary productivity and its driving factors on the Qinghai-Tibetan Plateau from 2001 to 2017. *Remote Sensing*. 13(8): 1566.
- 43-Zhao, A., D. Wang, K. Xiang and A. Zhang. 2022. Vegetation photosynthesis changes and response to water constraints in the Yangtze River and Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators* 143: 109331.
- 44- Zohary, M. 1973. Geobotanical foundations of the Middle East. Vols 1 and 2. Stuttgart: Fischer.