

طبقه‌بندی نواحی زیست اقلیمی مرتعی ایران بر اساس تحلیل طیفی

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۱۵)

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 ۰-۱۰۰ 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 دیده شد که نشان می‌دهد عمده تغییرات داده در آن دوره‌ها اتفاق می‌افتد و تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تأثیر اثرات جهانی و منطقه‌ای نسبت به اثرهای محلی است. بیشترین توان این طیف‌ها در مقیاس‌های زمانی زیاد متمرکز شده است؛ بنابراین چرخه‌های با فرکانس کمتر (مقیاس زمانی بیشتر) چرخه‌های مهم‌تری نسبت به چرخه‌های با فرکانس بیشتر (مقیاس زمانی کمتر) هستند و نشان می‌دهند که تغییرات NPP مرتعی ایران طولانی‌مدت و اقلیمی است. در پژوهش حاضر با استفاده از نتایج طیف توان میانگین ماهانه سیگنال NPP مرتعی و با کمک روش خوشه‌بندی واردز و فاصله مربع اقلیدوسی ایران به ۱+۵ پهنه زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شد. به نظر می‌رسد این روش تطابق خوبی بین مرزهای زیستی و آب‌وهوا فراهم می‌کند. برای بررسی ارتباط طیفی بین مناطق زیست اقلیمی مرتعی در داخل گروه‌های همگن از تکنیک همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج همبستگی نشان داد همبستگی زیادی از نظر طیفی در داخل گروه‌ها با سطح معنی‌داری ۰/۰۱ درصد بین مناطق زیست اقلیمی مرتعی به‌خصوص در خوشه دوم و پنجم دیده شد.

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

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

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: reza.modarres@iut.ac.ir

مقدمه

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 آب‌وهوایی (دما و بارش) توسط روبل (۳۰) انجام شد. آب‌وهوا 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 آب‌وهوایی در سراسر کشورها برای نشان‌دادن ارتباط آن‌ها با توزیع گونه‌های گیاهی در سرتاسر یک کشور یا در منطقه محدودی از یک کشور بررسی می‌شود (۲۰). در همین راستا تاکنون در ایران نیز پژوهش‌های 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)، حنفی و حاتمی (۱۴)، رضیئی (۲۹)، طاووسی و همکاران (۳۴) و فتحی و همکاران (۱۲) با استفاده از برخی پارامترهای اقلیمی، پهنه‌بندی اقلیمی ایران را انجام دادند. پابو (۲۰) سه منطقه زیست اقلیمی، زهاری (۴۳) چهار منطقه جغرافیایی گیاهی، دجامعلی (۷) سه ماکرواقلیم و ده زیست اقلیم و خطیبی و صابری (۲۰) چهارده منطقه زیست اقلیمی رویشی برای ایران ارائه کردند. پهنه‌بندی زیست اقلیمی ایران بر اساس تقسیمات، از نویسنده‌ای به نویسنده دیگر متفاوت است؛ اما به‌طور کلی توافق گسترده‌ای را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر برای پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران، از ویژگی‌های چگالی طیف توان (Power Spectrum Density) میانگین ماهانه تولید خالص اولیه (NPP) مرتعی ایران استفاده شد. NPP جزء 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 انجام‌دادن آن مشکل است. به همین دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌خصوص سنجنده مودیس MODIS و داده‌های سنجنش‌ازدور، یک راهکار سریع و مقرون‌به‌صرفه برای برآورد NPP به‌خصوص در مقیاس وسیع محسوب می‌شود (۴۰). تحلیل طیفی توان NPP بر اساس داده‌های سنجنش‌ازدور 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 به نسبت قوی را فراهم می‌کند که توسط پیک‌های فرکانس با دامنه به نسبت زیاد و رفتار مقیاس‌پذیری ارائه می‌شوند (۳۵). طیف توان 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 استفاده شد. باتوجه‌به مرور منابع انجام‌شده، تاکنون پژوهشی برای 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. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای خواص طیفی شاخص‌های خشکسالی در حوزه ابرو، منجر به شناسایی اثرهای جهانی یا منطقه‌ای متمایز از اثرهای محلی شد. همچنین در ارتباط با مطالعات NPP، ژانگ و همکاران (۴۱) بر اساس Google Earth Engine (GEE)، ویژگی‌های تغییرات مکانی - زمانی NPP در Qinghai-Tibetan Plateau (QTP) چین را از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ مطالعه کردند و اثرهای تغییرات آب‌وهوا، ارتفاع

می‌توان این مناطق را با مدل ARIMA فصلی 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 NPP در اکوسیستم‌های مرتعی ایران در حال افزایش است. همان‌طور که گفته شد، تاکنون مطالعات متعددی روی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی انجام شده است. اما هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی ایران با استفاده از روش چگالی طیف توان و طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران از دیدگاهی جدید با کمک نتایج حاصل از تغییرات طیف توان NPP ماهیانه مرتعی ایران است. 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 شده است. به طور خلاصه مناطق رویشی شماره ۹، ۱۱ و ۱۳ که در فلات مرکزی ایران واقع شده‌اند، بیشتر دارای اقلیم بسیار بیابانی گرم و بادی همراه با گردوغبار هستند. بارش سالانه این مناطق

و فعالیت‌های انسانی بر NPP را بررسی کردند. هی و همکاران (۱۵) از مدل Carnegie Ames Stanford Approach (CASA) برای ارزیابی تغییرات تولید خالص اولیه تحت تأثیر خشکسالی در منطقه کوه‌های Qinba چین از سال ۲۰۰۱-۲۰۱۸ استفاده کردند. لین و همکاران (۲۳) روش Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) 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 در استان گانسو چین در بیوم‌های جنگل، علفزار، کشاورزی و بیابان را نسبت به تغییرات آب‌وهوا مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. وی و همکاران (۳۸) 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 NPP و ظرفیت مخزن کربن طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشتند. ساکی و همکاران (۳۱) پژوهشی 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 با میانگین سالانه NPP بیوم‌ها مشخص شد که بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزار تحت تأثیر بارش و دما قرار دارند؛ در حالی که دما عامل اصلی کنترل‌کننده NPP در بیوم‌های جنگل و کشاورزی است. عراقی و همکاران (۱) پژوهشی روی تأثیر تغییرات اقلیمی بر مراتع در دامنه شمالی رشته‌کوه 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 تأثیر عوامل اقلیمی، به ویژه بارش و ال‌نینو 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، نیمه‌بیابانی 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

عمدتاً کمتر از ۱۳۰ میلی‌متر است.

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 است.

منطقه رویشی شماره ۳: این منطقه با اقلیم نیمه‌مرطوب بسیار گرم و به نسبت همراه با گردوغبار در غرب ایران است. بارش سالانه این منطقه حدود ۳۳۸ میلی‌متر است.

مناطق رویشی شماره ۱، ۲، ۴ و ۵: این مناطق عمدتاً کوهستانی و مرتفع بوده و بنابراین دارای اقلیم مرطوب خیلی سرد و به نسبت برفی هستند. 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 رشته‌کوه‌های البرز و دریای خزر است. اقلیم این منطقه معتدل و بسیار مرطوب است. متوسط بارندگی این منطقه از غرب به شرق از ۴۵۰ میلی‌متر تا ۱۱۰۰ میلی‌متر متغیر است.

منطقه رویشی شماره ۷: این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است و دارای متوسط بارش سالانه ۲۰۰ میلی‌متر است. منطقه رویشی شماره ۸: این منطقه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد با متوسط بارش سالانه ۳۱۴ میلی‌متر است (۳۲).

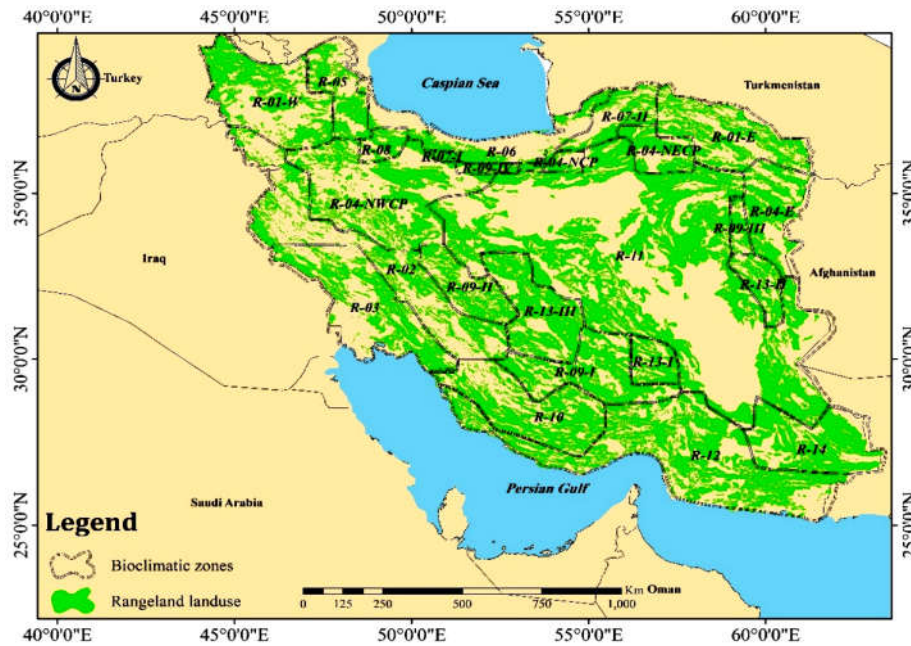
در پژوهش حاضر روش‌های مورد استفاده بر پایه تحلیل طیفی و خوشه‌بندی اطلاعات حاصل از آن است. در ابتدا به منظور پایش NPP در اکوسیستم‌های مرتعی، نقشه موقعیت کاربری‌های مراتع کل کشور از طریق سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تهیه شد. بر اساس این نقشه مساحت اراضی مرتعی کشور در سال ۲۰۲۲، ۶۷۴،۵۸۱ کیلومترمربع تخمین زده شده است. موقعیت جغرافیایی کشور ایران، ۲۴ زیرمنطقه 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 وبسایت <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 شد.

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 (۳۹). 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 قوی‌تر است. در واقع به این معنی است که 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 زیاد بوده و اگر تغییرات کند باشد (تغییرات اقلیمی هموار و طولانی‌مدت)، فرکانس کم است و اگر تغییراتی در طول زمان نباشد، فرکانس صفر خواهد بود (۳). در تحلیل PSD، خروجی‌ها توصیف‌کننده توان باندهای فرکانسی مختلف هستند. در مطالعه حاضر بررسی نوسانات طیف توان سیگنال NPP بین فرکانس ۰-۱۰ هرترز انجام شد. فرکانس با واحد سیکل بر ثانیه (هرترز) اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس و دوره رابطه معکوس دارند و $T = \frac{1}{f}$ است. فرکانس صفر قابل



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کشور ایران، بیست و چهار زیرمنطقه زیست اقلیمی و کاربری‌های مرتع

تبدیل فوریه نباشد؛ اما توان میانگین محدودی داشته باشد، می‌توان آن را کوتاه کرد.

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

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 مطالبی که در ادامه بیان می‌شود، 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 نرمال شده را نوشت:

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

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

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

محاسبه نیست 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 نرم‌افزار متلب استفاده شد.

همچنین برای به دست آوردن PSD (۳۹)، 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 نوشت:

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

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 $u(t)$

خوشه‌بندی و ترسیم خوشه‌ها

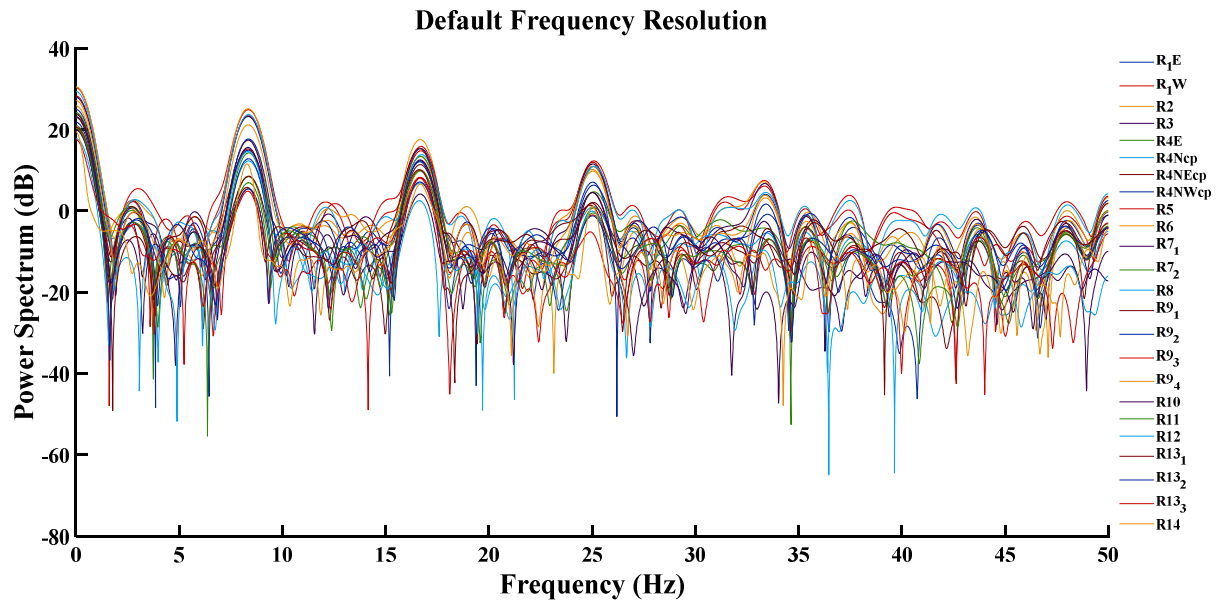
در این پژوهش برای طبقه‌بندی NPP مرتعی کل ایران بر اساس شباهت طیفی، از نتایج طیف توان سیگنال NPP مرتعی ماهانه ایران طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۲ با کمک خوشه‌بندی به روش واردز (Word's Method) و فاصله مربع اقلیدوسی از نرم‌افزار SPSS و SAS استفاده شد. خوشه‌بندی مناطق به معنای تفکیک مناطق به گروه‌هایی است که تمامی اعضای هر گروه ویژگی‌های مشترکی دارند. دمرس (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.

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. با توجه به شکل ۲، 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 بیشتر، تابع توان مناطق مختلف همپوشانی بهتری نسبت به فرکانس کمتر نشان می‌دهند. هرچه فرکانس بیشتر می‌شود، رفتار طیفی NPP بین مناطق مختلف تفاوت بیشتری نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، تا فرکانس ۲۵ هرتز بین طیف‌ها تطابق دیده 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 کمتر (مقیاس زمانی بیشتر)، چرخه‌های مهم‌تری نسبت

به چرخه‌های با فرکانس بیشتر (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. زیاد بودن توان در یک فرکانس نشان می‌دهد که این فرکانس در سری زمانی مد 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 اثرهای جهانی بر NPP باشد و اگر یک چرخه برای مکان‌های محدودی قابل توجه باشد، می‌تواند اثرات محلی بر NPP را توصیف کند. در تمام طیف‌ها ۴ چرخه مهم فتوسنتز روزانه دیده 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) هرتز در تمام طیف‌ها مشترک هستند؛ بنابراین، چنین چرخه‌هایی نشان‌دهنده اثرهای جهانی (یعنی چرخه‌هایی در الگوی گردش جوی) هستند که می‌توانند NPP مرتعی ایران را تحت تأثیر قرار دهند. فرکانس‌های دیگر در تعداد محدودی از طیف‌ها مشترک هستند که نشان‌دهنده اثرهای محلی بر NPP مرتعی ایران هستند. 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 دیده شد. تغییرات فتوسنتز 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 دیده شد. مناطق زیست اقلیمی ۱۰، ۱۲ و ۱۴ (حاشیه خلیج فارس و دریای عمان)، منطقه ۳، منطقه ۱۱ (فلات مرکزی)،



شکل ۲. طیف توان ۲۴ زیرپهنه زیست اقلیمی مرتعی ایران

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 هیچ‌کدام از گروه‌ها قرار نگرفت و به صورت یک خوشه مجزا تقسیم‌بندی شد. بررسی‌ها نشان داد زیست اقلیم‌های مرتعی طبقه‌بندی‌شده 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: منطقه‌ای خشک در قسمت جنوبی استان سیستان و بلوچستان هستند. به طور 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،

منطقه ۹-سه، ۴ شرقی و ۴ شمال شرقی فلات مرکزی دارای کمترین طیف توان در فرکانس صفر هستند. همچنین به ترتیب منطقه ۱۴، منطقه ۱۳ دو، منطقه ۹ سه، منطقه ۱۱ و منطقه ۱۲ در چرخه فتوسنتز روزانه ۲۵ (۱/۲ روز) هرتز دارای توان منفی هستند و در بین تمام مناطق زیست اقلیمی مرتعی کمترین توان مربوط به زیست اقلیم مرتعی ۱۴ در جنوب شرقی ایران است.

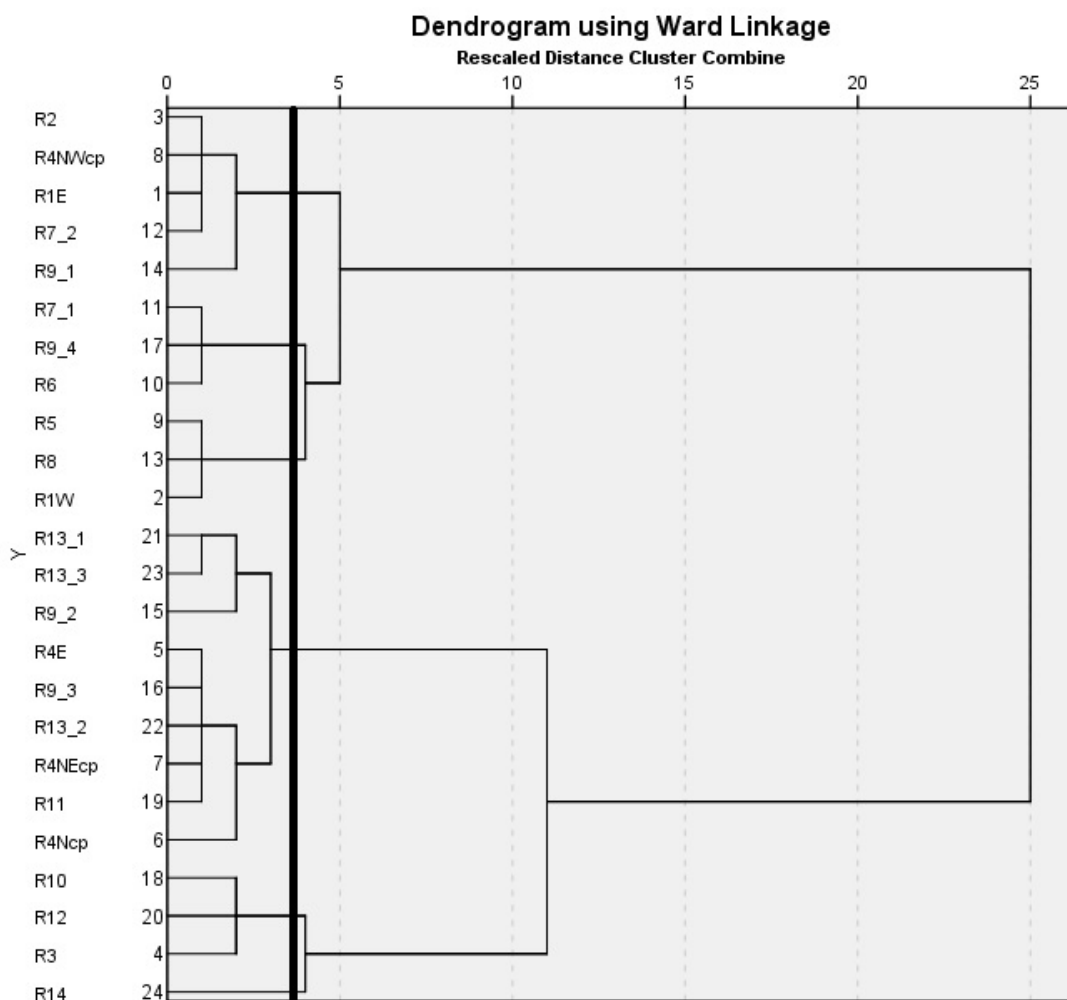
خوشه‌بندی

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. با کمک نتایج چگالی طیف توان تولید خالص اولیه، ایران به ۱+۵ پهنه بر اساس بیشترین شباهت طیفی تقسیم شد. به دلیل اینکه ۵ خوشه هر کدام شامل چند زیست اقلیم مرتعی است اما یک خوشه شامل تنها یک زیست اقلیم مرتعی است، به جای ۶ پهنه از ۱+۵ استفاده شد. باتوجه به شکل دندروگرام و مقدار t (شکل‌های ۳ و ۴) در حالت وجود ۵ خوشه، مقدار t به کمترین مقدار می‌رسد. از طرف دیگر باتوجه به شکل دندروگرام و مبنای چشمی و تجربه نویسندگان و گروه‌بندی بر اساس فاصله ۵،

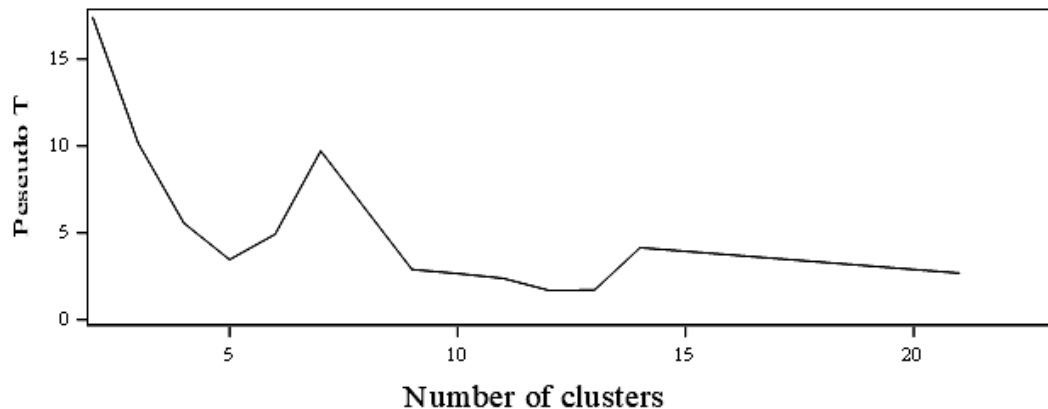
جدول ۱. خوشه‌بندی ۲۴ زیرپهنه زیست اقلیمی ایران بر اساس طیف تولید خالص اولیه (NPP) مرتعی با استفاده از روش واردز و فاصله مربع اقلیدوسی

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

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



شکل ۳. نمودار دندروگرام زیست پهنه‌های مرتعی ایران در ۲۴ زیرپهنه مورد مطالعه



شکل ۴. نمودار شبه T (Pseudo T-cuadrado) زیست پهنه‌های مرتعی ایران در ۲۴ زیرپهنه مورد مطالعه

طبقه‌بندی شده‌اند (جدول‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) و پهنه‌هایی که از نظر اقلیمی و زیستی شباهت بیشتری دارند، از لحاظ طیفی نیز بیشتر به هم شبیه هستند.

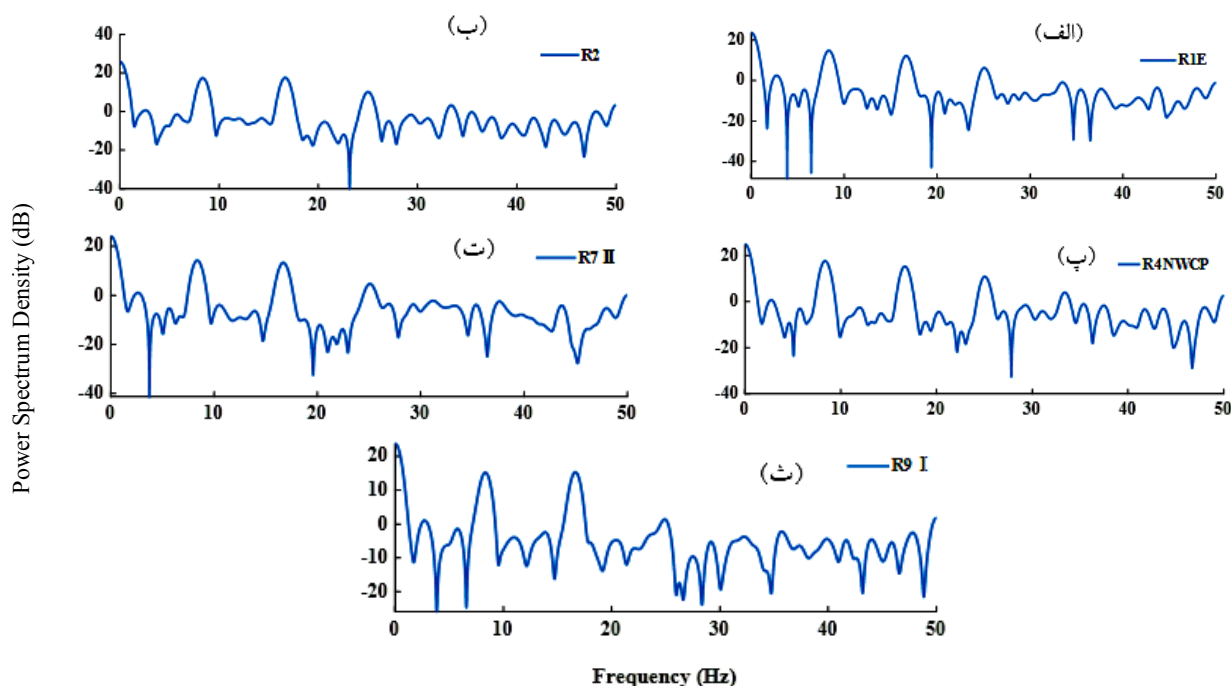
بحث

در این پژوهش از نتایج طیف توان سیگنال ماهانه NPP در طول دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۲ در اکوسیستم‌های مرتعی ایران برای طبقه‌بندی مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران استفاده شد و این طبقه‌بندی جدید با طبقه‌بندی قبلی مقایسه شد. در ابتدا نتایج تجزیه و تحلیل ویژگی‌های طیفی شاخص NPP برای ۲۴ زیرپهنه زیست اقلیمی مرتعی منجر به شناسایی اثرهای جهانی یا منطقه‌ای متمایز از اثرهای 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 زیرپهنه 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 مؤثر بر کل پهنه‌ها مشترک است. از طرف دیگر سیگنال‌های دوره‌ای که فقط در تعدادی از مناطق قابل تشخیص هستند، می‌توانند برخی از

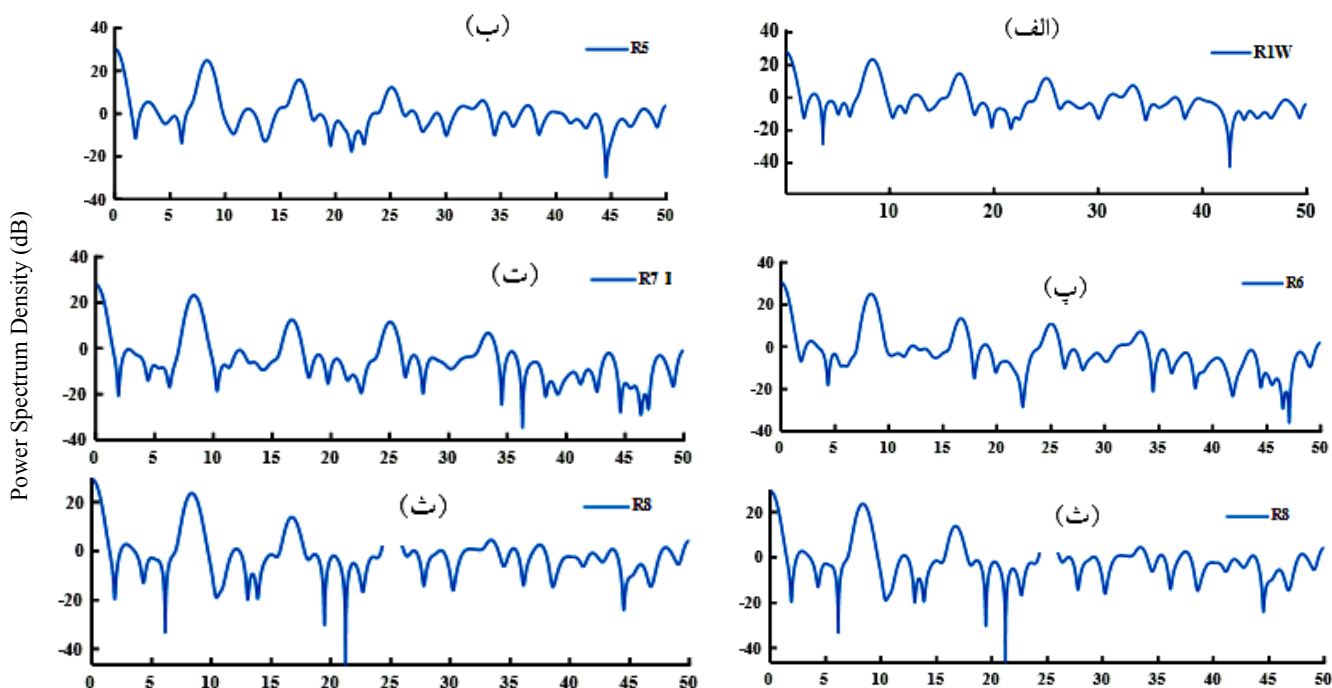
خوشه ۵ (V) درختچه‌ای - بوته‌ای - علفی و خوشه ۶ (VI) بوته‌ای - درختچه‌ای هستند. شکل‌های ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب توابع طیفی مناطق مختلف در هر گروه را نشان می‌دهند. شکل ۱۱ بر اساس این طبقه‌بندی، مناطق شش‌گانه مرتعی ایران را بر اساس تابع طیفی NPP نشان می‌دهد.

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

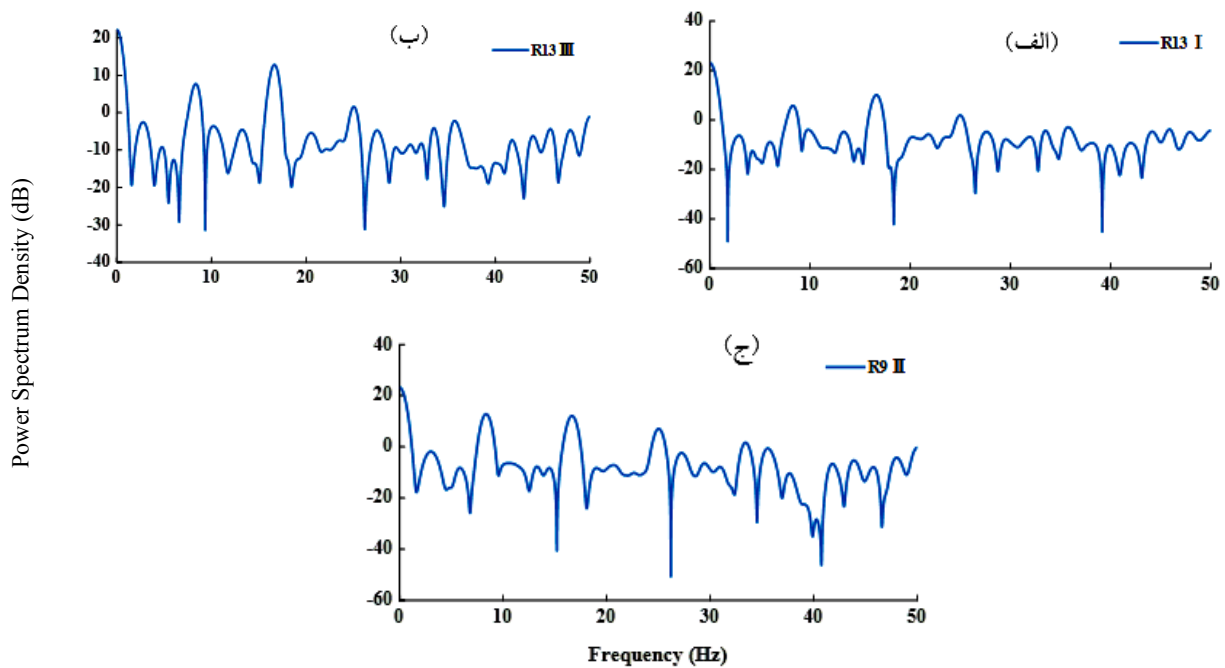
به منظور بررسی میزان شباهت طیفی میان مناطق زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شده بر اساس تحلیل طیفی و صحت طبقه‌بندی هر یک از ۵+۱ گروه طبقه‌بندی شده با روش چگالی طیف توان، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد مناطقی که از لحاظ طیفی به هم شباهت بیشتری دارند، دارای میزان همبستگی بیشتر و مناطقی که از لحاظ طیفی به هم شباهت کمتری دارند، دارای میزان همبستگی کمتری هستند. ضریب همبستگی بین پهنه‌ها در هر گروه به طور متوسط به ترتیب خوشه‌ها برابر است با: ۰/۸۱، ۰/۹۶، ۰/۸۴، ۰/۸۲ و ۰/۹۲. آزمون همبستگی میان مناطق زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شده بر اساس تحلیل طیفی در هر خوشه نشان داد که همبستگی بسیار زیادی 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



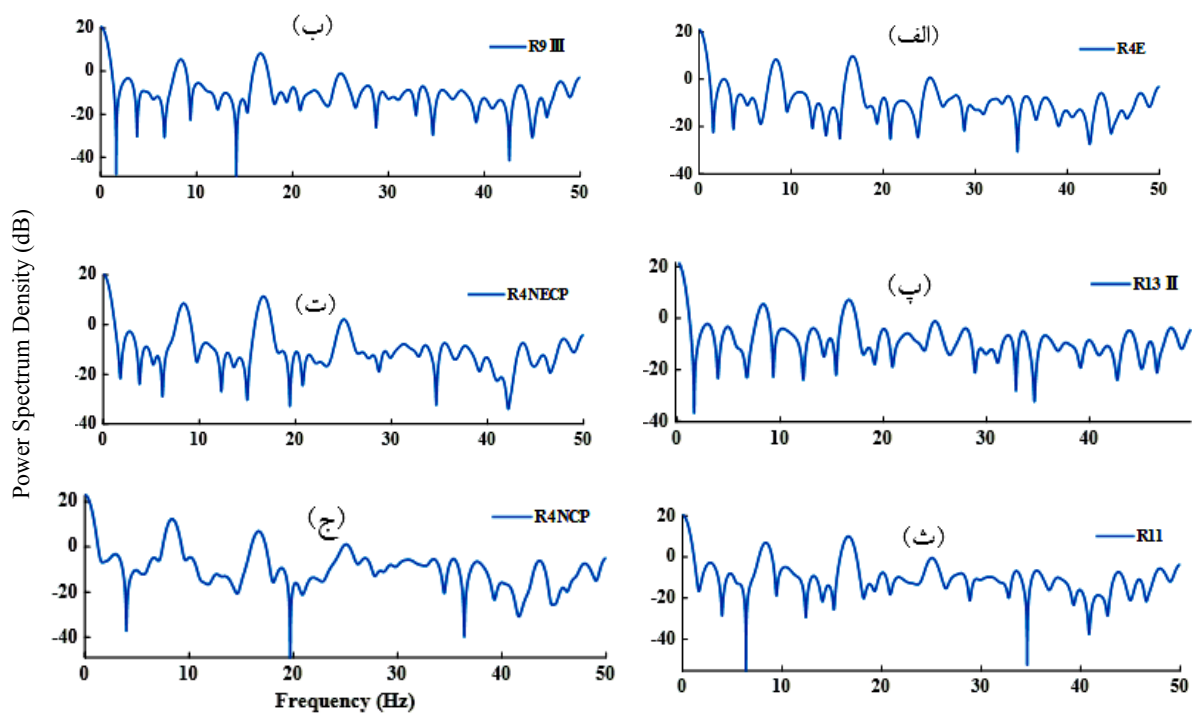
شکل ۵. نمودار طیف توان خوشه ۱ (I) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی یک شرقی (R1E) ب) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۲ (R2) پ) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴-شمال غربی فلات مرکزی (R4NWCP) ت) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۷ دو (R7 II) ث) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ یک (R9 I)



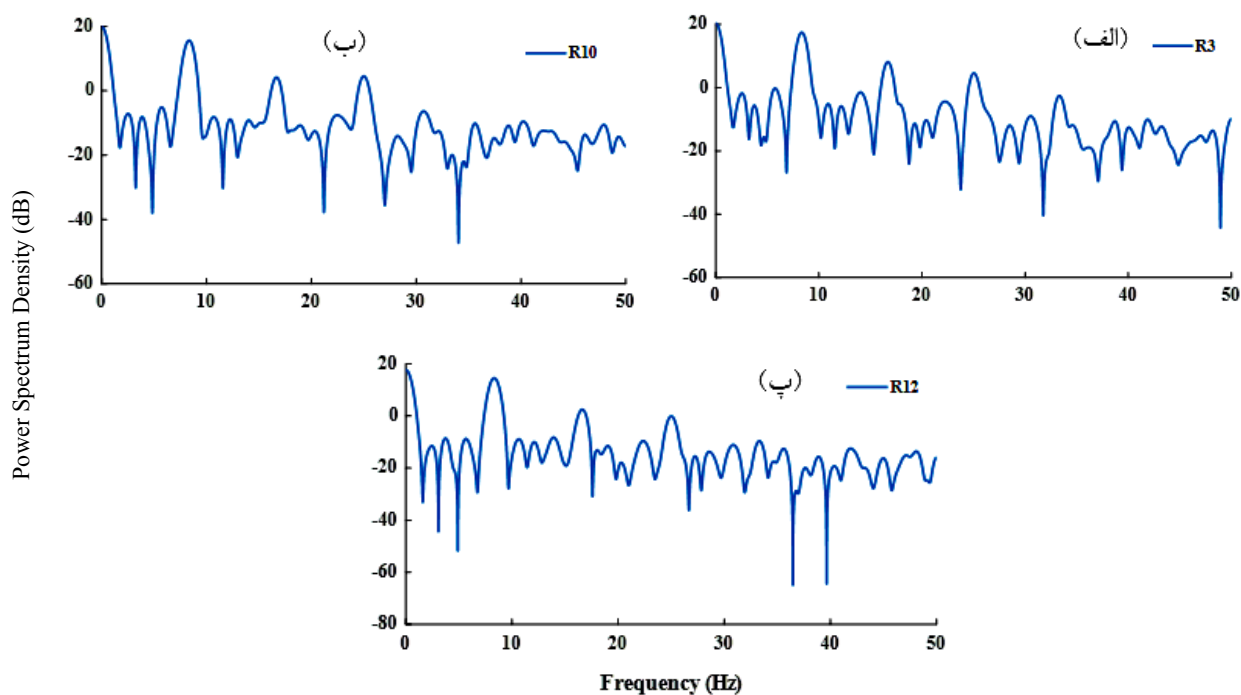
شکل ۶. نمودار طیف توان خوشه ۲ (II) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی یک غربی (R1W) ب) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۵ (R5) پ) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۶ (R6) ت) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۷ یک (R7 I) ث) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۸ (R8) ج) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ چهار (R9IV)



شکل 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)

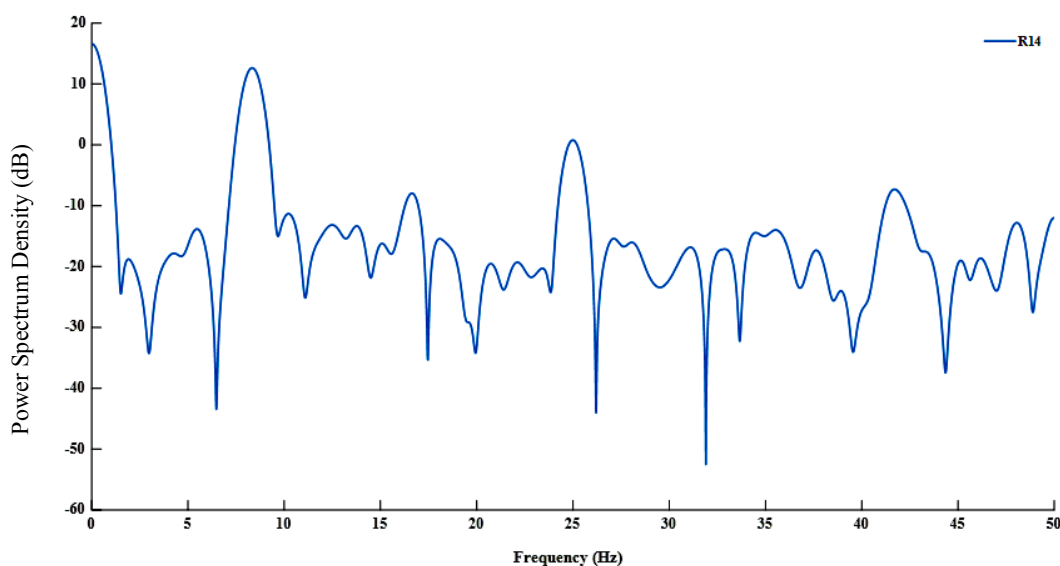


شکل ۸. نمودار طیف توان خوشه ۴ (IV) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴- شرقی (R4E) ب) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۹ سه (R9 III) پ) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۳ دو (R13 II) ت) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۴- شمال شرقی فلات مرکزی (R4NECP) ث) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۱ (R11) ج) منطقه زیست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



شکل ۹. نمودار طیف توان خوشه ۵ (V) مناطق زیست اقلیمی مرتعی ایران، الف) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۳ (R3)

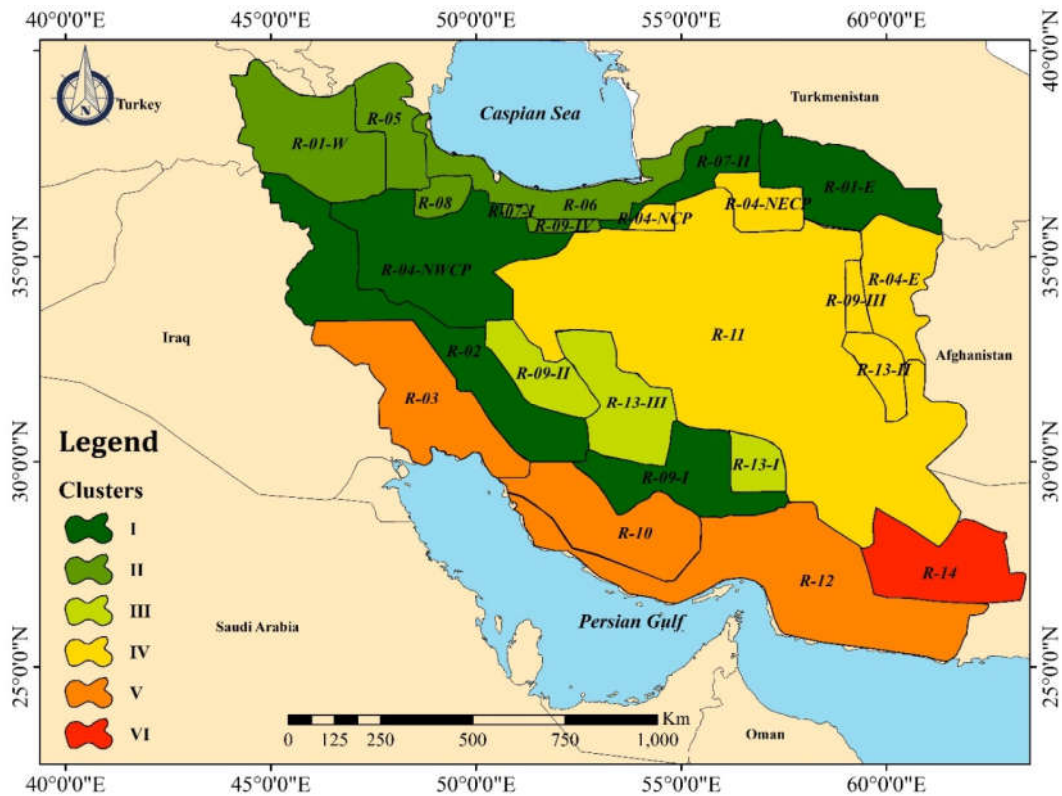
ب) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۰ (R10) پ) منطقه زیست اقلیمی مرتعی ۱۲ (R12)



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

قرار می‌گیرد (۳۵). همچنین در پژوهش حاضر بیشترین توان در مقیاس‌های زمانی زیاد (صفر) متمرکز شده است که بیانگر این است که تغییرات NPP ایران طولانی‌مدت و اقلیمی است. این

اثرهای محلی را توضیح دهند (چرخه فتوسنتز ۹/۰ روز). بنابراین می‌توان عنوان کرد تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تأثیر اثرهای جهانی و منطقه‌ای نسبت به تغییرات محلی



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

جدول 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 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 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 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

جدول 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

روزانه مربوط به مناطق مرطوب و نیمه مرطوب و کمترین توان مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک است 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 است. همچنین بیشترین توان NPP در فرکانس صفر مربوط به مناطق مرطوب و نیمه مرطوب و کمترین توان مربوط 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

رفتار عمدتاً NPP مربوط به بازه های زمانی طولانی تر را مشخص می کند که می تواند به طور مؤثرتری برای پژوهش های پیش بینی تغییرات NPP استفاده شود. فرکانس های زیاد و اغتشاشات، بیشتر خود را در جزئیات نشان داده و فرکانس های کم و تغییرات اقلیمی هموار و طولانی مدت، خود را در تقریب ها نمایان می سازند. به طور معمول تقریب مهم ترین بخش سیگنال است که اطلاعات پس زمینه داده ها را نشان می دهد (۴ و ۱۷). به علاوه بررسی پهنه های زیست اقلیمی مرتعی نشان داد، تغییرات توان پهنه های زیست اقلیمی مرتعی در چرخه های غالب روزانه متفاوت است. بیشترین توان سیگنال NPP در چرخه های غالب

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 فتوستتوز روزانه) بودند، جزء مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب و در مقابل مناطق با میزان توان کمتر و حتی منفی (چرخه غالب فتوستتوز روزانه) در برخی مناطق، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی 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 است. این پهنه خشک، خیلی گرم، غباری و تندری است (۲۰). کم‌بودن میزان NPP و چرخه فتوستتوز روزانه در این پهنه اقلیمی رویشی نسبت به سایر پهنه‌ها علاوه بر درجه‌حرارت زیاد، به دلیل غباری و تندری بودن زیاد منطقه است که باعث کاهش میزان فتوستتوز در این پهنه رویشی می‌شود.

برای بررسی میزان صحت طبقه‌بندی، پهنه‌های زیست اقلیمی مرتعی تفکیک‌شده 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 برسیم. بررسی مقایسات نشان داد: ۱- روش گوسن و کوپن: در این روش، بخش‌های زیادی از کشور جزء پهنه اقلیمی بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. قسمت‌هایی از کشور جزء مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی قرار می‌گیرند که از لحاظ پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی این تقسیم‌بندی صحیح نیست. 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 درجه‌حرارت انجام شده که بین برخی پهنه‌ها از لحاظ بارندگی و درجه‌حرارت همگنی دیده نمی‌شود. ۴- روش پابو: مناطق با میزان بارندگی بسیار متفاوت در یک پهنه قرار می‌گیرند و ناهمگنی بسیار زیاد دیده می‌شود. ۵- سیستم طبقه‌بندی جهانی:

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 فتوستتوز پاسخ می‌دهد (۱۹). در مقیاس‌های زمانی کوتاه، متغیرهای آب‌وهوایی مانند دمای هوا، بارش و ساعات آفتابی به‌طور مستقیم بر فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله هدایت روزنه‌ای، فتوستتوز گیاهان و تنفس تأثیر می‌گذارند (۱۱). مناطق مرطوب به دلیل میزان زیاد رطوبت، تنوع گیاهی زیاد، فتوستتوز زیاد و دوره رشد گیاهی طولانی نوسانات فتوستتوز روزانه بیشتری از خود نشان می‌دهند؛ بنابراین دارای چرخه تغییرات فتوستتوز روزانه بیشتری نسبت به مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. همچنین به دلیل میزان تولید خالص اولیه بیشتر و فرم رویشی غالب علفی - بوته ای و چرای بیشتر دام‌ها، رشد مجدد پوشش گیاهی بیشتر است. در کنار تأثیرهای عمومی مربوط به چرا، عموماً مواد غذایی موجود در ادرار و مدفوع دام‌ها برای رشد گیاه مفید است و باعث افزایش فتوستتوز روزانه و تولید گیاه می‌شود (۲). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، NPP به شدت توسط عوامل آب کنترل می‌شود و به دلیل دمای زیاد، شاهد کاهش طول دوره رشد، کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوستتوز هستیم (۵، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۵ و ۴۲)؛ بنابراین چرخه تغییرات فتوستتوز روزانه در این مناطق کمتر است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، فلچ‌نیا 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 بزرگ‌تری 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.

در نهایت برای طبقه‌بندی نواحی زیست اقلیمی مرتعی ایران، مطابق روش چگالی طیف توان و خوشه‌بندی، ایران به ۵+۱ زیست پهنه اقلیمی مرتعی تقسیم شد. مناطقی که از لحاظ میزان

معرفی شود؛ اما پیشنهاد می‌شود باتوجه‌به کوه‌نگاری پیچیده ایران برای بررسی صحت پژوهش، داده‌های خاک به همراه داده‌های NPP برای مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای برای تفکیک پهنه‌های زیست‌اقليمی مرتعی ایران به کار رود. می‌توان از تلفیق روش آماری چند متغیره و چگالی طیف توان برای طبقه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش برای پهنه‌بندی زیست اقلیمی مرتعی ایران با کمک مرزبندی خطی و صابری و با استفاده از روش چگالی طیف توان انجام شد. باتوجه‌به نتایج پژوهش می‌توان ادعا کرد، تغییرات NPP مرتعی ایران بیشتر تحت تأثیر اثرهای جهانی و منطقه‌ای نسبت به اثرات محلی قرار می‌گیرد و بیشتر تغییرات NPP مرتعی ایران طولانی‌مدت و اقلیمی است. با استفاده از روش چگالی طیف توان، ایران به ۱+۵ پهنه زیست اقلیمی مرتعی طبقه‌بندی شد و مقایسه‌های انجام‌شده با سایر روش‌های طبقه‌بندی نشان داد، روش چگالی طیف توان سیگنال NPP مرتعی تطابق خوبی بین مرزهای زیستی و آب‌وهوا 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 رساله دکتری است و بدین‌وسیله از حمایت مالی بنیاد علم ایران نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورد.

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 و خوشه ۴ روش طیف توان به زیست اقلیم مدیترانه بیابانی - قاره‌ای شباهت دارد، اما خوشه ۳ روش طیف توان جزء طبقه‌بندی 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. ۶- 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 پژوهش می‌تواند کاربردهای مختلفی داشته باشد. از جمله کاربردهای پژوهش 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 به عنوان یک روش جدید برای استفاده پژوهشگران

منابع مورد استفاده

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 Farsi).
2. Arzani, H. and K. Naseri. 2009. Livestock grazing in Rangeland and pastures. Tehran University Press (in Farsi).
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). Master thesis, Tabriz University, Tabriz, I.R. Iran (in Farsi).
4. Badrzadeh, H. 2014. River flow forecasting using an integrated approach of wavelet multi-resolution analysis and computational intelligence techniques. PhD Thesis, Curtin University, Bentley, Australia.

5. Baker N.B. 1996. Photosynthesis and the Environment. Springer, New York.
6. Box, E. O. 2016. World bioclimatic zonation. PP. 3-52. In: F. Pedrotti (ed.), Vegetation Structure and Function at Multiple Spatial, Temporal and Conceptual Scales, Springer International Publishing AG, Switzerland.
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, New York.
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 Farsi).
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 Taperasht, 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* 20(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 ... and 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. Master thesis, Zanzan University, Zanzan, I.R. Iran.
18. Kardavani, P. 1992. Rangelands, its problems and solutions in Iran. Tehran University Press, Tehran (in Farsi).
19. Kaller, A. 2001. Vegetation-environment interactions in a boreonemoral forest in east central Sweden. Master thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
20. Khatibi, R. and M. Saberi 2020. Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. *SN Applied Sciences* 2(1694): 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(6): 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, Mashhad (in Farsi).
26. Masoodian, S.A. 1998: An analysis of Tempo Spatial variation or precipitation in Iran. Ph.D. thesis, University of Isfahan, I. R. 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(1-4): 217-238.
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 Farsi).
32. Sanaei, Z., Modarres, R. and P. 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 Farsi).

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 Farsi).
34. Tavousi, T., C. Kajehamiri 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 Farsi).
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, Tehran.
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. 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.
40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Zohary, M. 1973. Geobotanical foundations of the Middle East. Stuttgart, G. Fischer, Stuttgart.

Classification of Rangeland Bioclimatic Areas of Iran Based on Spectral Analysis

A. Keshavarz¹, R. Modares^{1*} and S. A.R. Gohari²

(Received: August 17-2024 ; Accepted: November 5-2024)

Abstract

This study was conducted to present rangeland bioclimatic zoning for Iran based on the changes in the power spectrum of the average monthly Net Primary Production (NPP) of the rangelands of Iran. Fluctuations of the mean monthly power spectrum of the NPP signal of rangelands of Iran from 2000 to 2022 were analyzed using the Power Spectrum Density (PSD) method in the frequency band between 0-100 Hz. In 24 bioclimatic subzones, there are four common periods in all sites at frequencies of 0 (no change is repeated), 8.34 (3.59 days), 16.66 (1.80 days), and 25 (1.2 days) Hz observed, which shows that the major data changes occur in those periods and that the NPP changes of Iranian rangeland are more influenced by global and regional effects than local effects. The maximum power of these spectra is concentrated in high time scales. Therefore, cycles with lower frequency (higher time scale) are more important than cycles with higher frequency (shorter time scale) and show that the changes of NPP in Iranian rangelands have long-duration cycles under climate fluctuations. In the present research, Iran was classified into 5+1 rangeland bioclimatic zones using the results of the monthly mean power spectrum of the NPP signal of rangelands, the Wards clustering method, and the Euclidean square distance. It seems that this method provides a proper match between biological boundaries and climate. Pearson correlation coefficient was used to investigate the coherence of rangeland bioclimatic regions within each homogeneous group. Correlation results showed a significant spectral density similarity within groups at the significance level of 0.01% between rangeland bioclimatic regions, especially in the second and fifth clusters.

Keywords: Net primary production, Rangeland bioclimatic regions of Iran, Power spectrum, vegetation classification of Iran

1. Department of Rangeland and Watershed, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Department of Water science and engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: reza.modarres@iut.ac.ir