آنالیز شاخص‌های اگروکلیماتیک ایران در شرایط تغییر اقلیم

مهدی نصیری و علیرضا کوچکی[۱]

چکیده

در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد. به نظر می‌رسد تجزیه به مولفه‌های اصلی و آنالیزکلاستر تکنیک‌های مناسبی برای آنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک می‌باشند. از اینرو بمنظورآنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک تحت شرایط آینده اقلیمی ۵۵ شاخص اگروکلیماتیک در شرایط فعلی و برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ محاسبه شده و در ادامه جهت ارزیابی ایستگاههای مختلف کشور از تکنیک تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. سپس بمنظور تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک از آنالیز کلاستر استفاده شد. با اجرای تکنیک تجربه به مولفه‌های اصلی ، ۵ مولفه اصلی اول که شامل ۱) مجموعه اطلاعات درجه حرارت، ۲) مجموعه اطلاعات بارندگی، حداقل درجه حرارت در زمستان، ۳) حداکثر درجه حرارت در زمستان، ۴) بارندگی زمستان، حداکثر درجه حرارت در بهار، تابستان و پاییز و ۵) درجه روزهای رشد در بهار و زمستان، بارندگی تابستان، بودند حدود ۹۷ درصد واریانس کل را توصیف کردند. همچنین براساس نتایج آنالیزکلاستر ، در شرایط اقلیمی فعلی شهرستانهای تحت بررسی از نظر تشابه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در ۱۰ ناحیه قرار گرفتند در حالیکه در شرایط تغییر اقلیم، شهرستانهای تحت بررسی برای سال ۲۰۲۵ در هشت گروه و برای سال ۲۰۵۰ در هفت ناحیه قرار گرفتند. براساس این نتایج در شرایط آینده اقلیمی کشور تشابه بین مناطق از نظر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی افزایش یافته و تنوع اقلیمی کشاورزی کشور در مقایسه با شرایط فعلی کاهش خواهد یافت.

مقدمه

تاثیر اقلیم بر کشاورزی بسته به مقیاس مکانی و زمانی ارزیابی اثرات متفاوت است. در مقیاس منطقه‌ای تکامل اکوسیستم‌های کشاورزی و تنوع آنها در جهان تابع اقلیم است، در حالیکه در مقیاس کوچکتر تغییرات درون فصلی و بین فصلی در رشد ونمو گیاهان، توسط شرایط آب و هوایی کنترل میگردد (۹). براین اساس می‌توان نتیجه گیری کرد که بروز هرگونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و قادرخواهد بود نظام‌های زراعی فعلی را که تحت شرایط اقلیمی رایج تکامل یافته‌اند، بطور قابل ملاحظه‌ای

۱- اعضای هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

متحول سازد. بدیهی است میزان این تاثیر تابع مستقیمی از شدت تغییرات اقلیمی آینده خواهد بود. تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد. به نظر می‌رسد تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) [1] و آنالیزکلاستر تکنیک‌های مناسبی برای آنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک می‌باشند.

PCA یک تکنیک آماری است که مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته به یکدیگر را به مجموعه‌ای متغیرهای مستقل (غیر وابسته به یکدیگر) تبدیل می‌کند. ازآنجا که اغلب شاخص‌های اگروکلیماتیک به یکدیگر وابسته می‌باشند استفاده از رگرسیونهای چند متغیرها جهت آنالیز آنها چندان دقیق نمی باشد زیرا شرط اصلی اجرای آنها عدم همبستگی بین متغیرهای مستقل است (۷). بنابراین PCA تکنیک مناسی جهت آنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. اهداف اصلی PCA کاهش حجم داده ها از طریق کشف مولفه‌های اصلی موجود در داده ها بدون از دست دادن اطلاعات موجود در متغیرها و شناسایی متغیرهای معنی دار جدید می‌باشد. با استفاده از PCA متغیرهای جدیدی تشکیل خواهد شد که واریانس موجود در داده ها را تا حد ممکن توصیف خواهند کرد. مؤلفه‌های اصلی با ترکیب خطی متغیرهای اولیه ساخته شده و نهایتا تعداد کل متغیرها کاهش یافته و همبستگی بین متغیرهای جدید حذف می‌گردد. این روش توسط بسیاری از محققین به عنوان تکنیکی جهت یکنواخت کردن متغیرهای اقلیمی وابسته به یکدیگر و استفاده از آنها در آنالیزهای آماری بعدی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱،۵،۴،۶).

همچنین به منظور تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک میتوان از آنالیز کلاستر [2] استفاده کرد. آنالیزکلاستر بطور خلاصه تکنیکی است که قادر است داده ها را بر اساس درجه شباهت آنها گروهبندی کند. به این منظور میزان شباهت یا عدم تشابه بین تک تک داده ها و نیز تشابه یا عدم تشابه بین هر یک از کلاسترها (گروهها) محاسبه خواهدشد.

هدف از این تحقیق آنالیز شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک تحت شرایط آینده اقلیمی می‌باشد.

مواد و روشها

در این مطالعه داده‌های آب و هوایی درازمدت (حداقل ۳۰ ساله) در فاصله سالهای ۱۳۷۷-۱۳۴۸ برای ایستگاههای تبریز، تهران، اصفهان، مشهد، شیراز، بندرانزلی، بندرعباس، زاهدان، کرمان، ارومیه، بابلسر، قزوین، گرگان، سبزوار، سقز، شاهرود، زنجان، رشت، رامسر، خوی، اراک، همدان، کاشان، کرمان، کرمانشاه، خرح آباد، سمنان، سنندج، تربت حیدریه، آبادان، اهواز، بم، بیرجند، بوشهر، شهرکرد، یزد و زابل ازسازمان هواشناسی کشور و مرکز ملی اقلیم شناسی تهیه شد. ایستگاههای انتخاب شده پوشش کاملی را برای نقاط مختف اقلیمی ایران فراهم ساخته و معرف وضعیت عمومی کشورمی‌باشند.

با اجرای مدل گردش عمومی UKMO برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی (مطابق با سالهای ۱۴۰۴ و ۱۴۲۹ شمسی) مقادیر ماهانه درجه حرارت حداقل، حداکثر و نزولات ماهانه برای ایستگاههای مختلف محاسبه و اثرات

1- Principal Component Analysis

2- Cluster Analysis

تغییر اقلیم براساس سناریوی تعریف شده در مدل براین پارامترهای اقلیمی تعیین گردید(۱).

در ادامه با استفاده از نتایج حاصل از اجرای مدلهای گردش عمومی کلیه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی محاسبه شده در شرایط فعلی مجدد برای سالهای۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ محاسبه شده و با مقایسه این مقادیر و اختلاف آنها با شرایط فعلی ، اثرات تغییر اقلیم بر این شاخص ها تعیین شد(۳).

جهت ارزیابی ۵۵ شاخص اگروکلیماتیک در ۳۶ ایستگاه مختلف کشور از تکنیک تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)[1]استفاده شد. جهت انجام PCA از نرم افزار SAS (V.6.12) (۱۰) استفاده گردید. به این منظور ابتدا ۵۵ فایل داده ASCII در یک مجموعه قرار گرفت. دستور PRIN PROC COMP جهت ایجاد امتیاز مولفه‌های اصلی مربوط به داده ها بکار برده شد. مولفه‌های اصلی در ماتریس همبستگی اجرا شدند زیرا متغیرهای تحت آنالیز دارای مقادیر عددی بسیار متفاوتی بوده وانحراف معیار و میانگین آنها به دلیل اندازه گیری در واحدهای مختلف بسیار متفاوت بود. لازم به ذکر است که کاربرد PCA برروی ماتریس ضرایب همبستگی معادل کاربرد این تکنیک برروی داده‌های استاندارد شده است (۷). براساس نتایج PCA مقادیر ویژه [2] و بردارهای ویژه [3] مربوط به هر یک از مولفه‌های اصلی محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

شاخص های اگروکلیماتیک ایستگاههای مختلف که براساس نتایج مدل GCM و در شرایط تغییر اقلیم محاسبه شده بودند نیز پس از تبدیل شدن به ۵۵ شاخص (۳) در معرض PCA قرار گرفت و مولفه‌های اصلی آنها در شرایط تغییر اقلیم تعیین گردید. نهایتا کلیه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی محاسبه شده تحت شرایط فعلی و نیز در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم همراه با مولفه‌های اصلی آنها موردمقایسه قرار گرفته و تاثیر تغییرات اقلیمی بر این شاخص ها ارزیابی گردید. بعد از تعیین مولفه‌های اصلی به منظور تعیین شباهت ایستگاههای تحت بررسی و گروهبندی آنها از نظر تشابه خصوصیات اگروکلیماتیک از آنالیز کلاستر[4] استفاده شد. به این منظور میزان شباهت یا عدم تشابه بین تک تک داده ها و نیز تشابه یا عدم تشابه بین هر یک از کلاسترها (گروهها) محاسبه خواهدشد. بطور کلی دو روش عمومی برای انجام آنالیز کلاستر وجود دارد که براساس روشی که جهت تعیین کلاسترهای موجود در داده ها دنبال می‌کنند به نام سلسله مراتبی [5] و غیر سلسله مراتبی [6] خوانده میشوند. در این مطالعه از تکنیک سلسله مراتبی به روش وارد[7] استفاده شد. به این منظور براساس مقادیر ۵ مؤلفه اصلی اول، آنالیز کلاستر برروی کلیه داده‌های مربوط به ۳۶ شهرستان تحت بررسی اجرا گردید (دستورالعمل PROC CLUSTER در نرم افزار SAS).

روش تجزیه کلاستر جهت گروه بندی داده‌های اگروکلیماتیک توسط نان گروئن رود (۱۱) و بریگز و لمین (۴) نیز با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از روشهای رایج جهت تعیین تعداد کلاسترها استفاده از آمارهٔ T^2 هتلینگ [8] (P.ST2) می‌باشد (۷). این آماره توسط نرم افزار SASمحاسبه شده و بوسیله آن میانگین دو کلاستر مورد مقایسه قرار می‌گیرد. چنانچه مقدار PST2 بزرگ باشد دوکلاستر نباید در هم ادغام شوند و در صورتیکه مقدار PST2 کوچک باشد دو کلاستر را می‌توان با هم ادغام کرد. تشخیص اینکه چه مقادیری از PST2 بزرگ یا کوچک می‌باشند،نسبی بوده و به داده‌های تحت بررسی بستگی دارد.

1- Principal Component Analysis
2- Eeigen value
3 - Eeigen vector

4- Cluster Analysis
5- Hierarchial
6- Non hierarchial
7- Ward
8- Hotelling's T^2-statistic

نتایج و بحث

آنالیز آماری شاخص‌های اگروکلیماتیک

با اجرای PCA، ۵ مولفه اصلی اول، حدود ۹۷ درصد واریانس کل را توصیف کردند. بطور کلی به لحاظ آماری روش معینی برای انتخاب تعداد مولفه هایی که باید حفظ شوند وجود ندارد بنابراین انتخاب ۵ مولفه در این مطالعه تا حدودی اختیاری بوده است. البته لازم به ذکر است که ساده ترین معیار برای انتخاب تعداد مولفه ها، حفظ تعدادی از آنهاست که قادر باشند ۹۵ درصد از واریانس کل را توصیف نمایند. بر این اساس حضور ۴ مولفه اصلی برای حصول ۹۵ درصد از واریانس کل کافی بود. ولی آنالیزهای بعدی نشان داد که اضافه کردن یک مولفه جدید ضرورت دارد. زیرا با حذف مولفه پنجم دقت آنالیزی آمار بعدی کاهش می‌یافت.

در جدول۱ مقادیر ویژه [1] ماتریس ضرایب همبستگی و بخشی از واریانس کل که توسط هر یک از ۵ مولفه اصلی توصیف می‌شود، ارائه شده است. براساس این نتایج مولفه اول با مقدار ویژه معادل ۳۹/۹۸ بیش از ۷۲ درصد واریانس کل را به تنهائی توصیف می کند. این مقادیر به ترتیب در مولفه‌های بعدی کاهش یافته و نهایتا مولفه پنجم با مقدار ویژه کمتر از یک ، تنها اندکی بیش از ۱ درصد واریانس کل را توجیه کرده است. همان گونه که در جدول۱ دیده میشود چهار مولفه اصلی نخست قادرند که ۹۵ درصد واریانس کل را توصیف کنند، با اینحال بطوریکه ذکر شد حضور مولفه پنجم جهت بهبود دقت آنالیزهای بعدی ضرورت داشته است.

در جدول پیوست مقادیر ویژه مربوط به هر یک از ۴۷ متغیر در ۵ مولفه اصلی ارائه شده است. همان گونه که مشاهده میشود، مولفه اصلی اول بطور مثبت با متغیرهای درجه حرارت بار [2] شده است (متغیرهای ۱ تا ۳۶ از جدول پیوست). بار یا بارگیری [3] عبارتست از قدرت (با مقادیر ۱- تا ۱+) ضرایب مربوط به هر یک از متغیرهای ادغام شده در یک مولفه اصلی بالاترین بار مولفه اصلی ۲ مربوط به حداقل درجه حرارت در زمستان، میانگین حداقل بارندگی در زمستان و متغیرهای بارندگی فصل پاییز ، زمستان و بهار است (متغیرهای ۴، ۱۲ و ۴۸ – ۳۷ از جدول پیوست).

حداکثر بار مولفه اصلی ۳ عبارتند از کمترین، متوسط و حداکثر درجه حرارت فصل زمستان (متغیرهای ۱۶، ۲۰ و ۲۴ از جدول پیوست). مولفه اصلی ۴ بالاترین بار خود را برای حداقل ، میانگین و حداکثر درجه حرارت تابستان، بالاترین درجه حرارت فصل بهار، و حداقل، میانگین و حداکثر بارندگی فصل زمستان نشان داد (متغیرهای ۱۲، ۱۸، ۲۲، ۱۷، ۴۰ ، ۴۴ و ۴۸ در جدول پیوست). مولفه اصلی ۵ برای متغیرهای درجه روزهای رشد در زمستان و بهار، و حداقل، حداکثر و میانگین بارندگی بهاره (متغیرهای ۳۲، ۳۸، ۳۹، ۴۲ و ۴۶ از جدول پیوست) دارای بار مثبت بود. براین اساس خلاصه اطلاعات ادغام شده در هر یک از ۵ مولفه اصلی را که رویهم ۹۷ درصد از کل واریانس موجود در داد ه‌های اگروکلیماتیک را توصیف میکنند در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- توصیف اطلاعات هر یک از مؤلفه‌های اصلی

مولفه	توصیف اطلاعات
PC۱	مجموعه اطلاعات درجه حرارت
PC۲	مجموعه اطلاعات بارندگی، حداقل درجه حرارت در زمستان
PC۳	حداکثر درجه حرارت در زمستان
PC۴	بارندگی‌زمستان، حداکثر درجه حرارت در بهار، تابستان‌و پاییز
PC۵	درجه روزهای رشد در بهار و زمستان، بارندگی تابستان

1- Eigenvalue

2 - Load
3 - Loading

جدول ۱- مقادیر ویژه ماتریس همبستگی و میزان واریانس توصیف شده توسط هر یک از ۵ مولفه اصلی

مولفه اصلی	مقدار ویژه	اختلاف (۱)	نسبت از واریانس کل	نسبت تجمعی از واریانس کل (۲)
مولفه اصلی **۱**	۳۹/۹۸۹۰	۳۱/۰۶۳۶	۰/۷۲۷۰۷۲	۰/۷۲۷۰۷
مولفه اصلی **۲**	۸/۹۲۵۳	۶/۸۹۸۲	۰/۱۶۲۲۷۹	۰/۸۸۹۳۵
مولفه اصلی **۳**	۲/۰۲۷۱	۰/۰۷۷۲۵	۰/۰۳۶۸۵۷	۰/۹۲۶۲۱
مولفه اصلی ۴	۱/۲۵۴۶	۰/۳۲۲۴	۰/۰۲۲۸۱۱	۰/۹۴۹۰۲
مولفه اصلی **۵**	۰/۹۳۲۲	۰/۱۹۹۸	۰/۱۶۹۴۹	۰/۹۶۵۹۷

۱) اختلاف بین مقادیر ویژه دو مولفه متوالی

۲) میزان تجمعی نسبت واریانس توصیف شده توسط مولفه های متوالی

در این مطالعه با استفاده از مقادیر PST2 کلیه داده‌های مربوط به شهرهای کشور براساس متغیرهای ادغام شده در ۵ مؤلفه اصلی ، پس از اجرای تجزیه کلاستر در ۱۰ کلاستر (گروه) قرار گرفتند. شکل ۱ موقعیت این کلاسترها را براساس مولفه‌های اصلی ۱ و ۲ که روی هم حدود ۹۰ درصد از واریانس کل بین داده ها را توصیف می‌کند (جدول ۱) نشان می‌دهد.

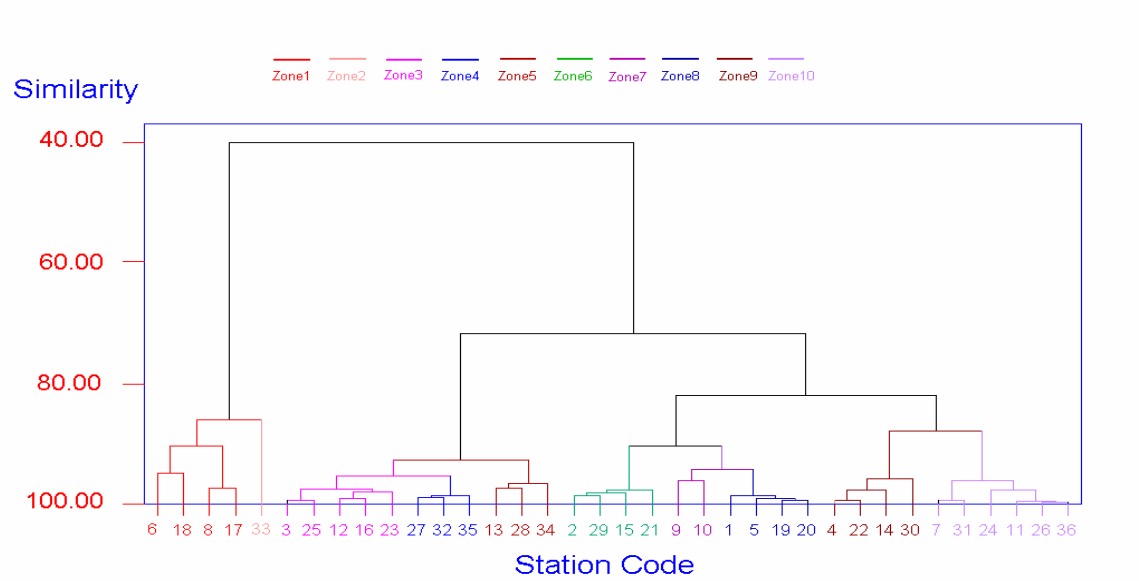
نتایج آنالیز کلاسترنشان داد که براساس شباهت شاخص‌های اگروکلیماتیک، کلاسترهای محاسبه شده شهرستانهای تحت بررسی را به شرح زیر در بر می‌گیرند؛

- آبادان، اهواز، زابل، زاهدان
- رامسر، رشت، انزلی، بابلسر
- یزد، شاهرود، بم، کرمان، بیرجند، سمنان
- ارومیه، سقز، سنندج، خوی یا تبریز
- بوشهر، بندرعباس
- اصفهان، تهران، کاشان، سبزوار
- مشهد، شیراز، تربت حیدریه
- گرگان
- اراک، خرم آباد، قزوین، زنجان
- شهرکرد، کرمانشاه، همدان

بنابراین با توجه به مجموعهٔ شاخص‌های اگروکلیماتیک مورد استفاده در این مطالعه ، شهرستانهای دارای حداکثر تشابه در یک گروه جای گرفته اند. بدیهی است که گروه بندی ایستگاههای تحت بررسی براساس ۴۷ شاخص در یک مرحله امکان پذیر نمی باشد. بنابراین همان گونه که شرح داده شد، در مرحله اول شاخص‌های اگروکلیماتیک در ۵ مولفه اصلی قرار داده شده و سپس با تجزیه کلاستر براساس مؤلفه‌های اصلی، ایستگاههای دارای حداکثر تشابه اگروکلیماتیک در کلاسترها مشابهی قرار گرفتند.

آنالیز آماری شاخص‌های اگروکلیماتیک در شرایط تغییر اقلیم

نتایج حاصل از تجزیه‌های آماری نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم ۴ مولفه اصلی بیش از ۹۶ درصد واریانس کل داده ها را توصیف خواهد کرد در حالیکه در شرایط فعلی جهت توصیف واریانس داده‌های اقلیمی کشاورزی، ۵ مولفه اصلی تعریف شد (جداول ۳-۴ و ۵-۴). خصوصیات ۴ مولفه مربوط به شرایط تغییر اقلیم در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۱- نتایج آنالیز کلاستر بر روی خصوصیات اقلیمی کشاورزی ایستگاههای تحت بررسی. ۳۶ ایستگاه کشور براساس میزان تشابه در ۴۷ خصوصیت اگروکلیماتیک در شرایط اقلیمی فعلی در ۱۰ ناحیه (کلاستر) قرار گرفته اند.

جدول ۳ : توصیف اطلاعات مؤلفه‌های اصلی در شرایط تغییر اقلیم (سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی)

توصیف اطلاعات	مؤلفه
مجموعه اطلاعات درجه حرارت	PC۱
مجموعه اطلاعات بارندگی، حداقل دمای زمستان	PC۲
حداقل درجه حرارت پاییز و بهار، حداکثر درجه حرارت تابستان	PC۳
درجه روزهای رشد زمستان، بارندگی زمستان	PC۴

مقایسه جداول ۵-۴ و ۱۰-۴ نشان میدهد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم در شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم یکسان بوده ولی سایر مؤلفه ها متفاوت می‌باشند. محققین مختلف درجه حرارت و بارندگی و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی حاصل از آنها (برای مثال طول فصل رشد یا طول دوره خشکی) را مهمترین متغیرهای موثر بر رشد و نمو گیاهان ذکر کرده اند (۲ و۸). نتایج این مطالعه نشان میدهد که در شرایط تغییر اقلیم نیز مجموعه اطلاعات مربوط به درجه حرارت و بارندگی و شاخص‌های حاصل از آنها مؤلفه‌های اصلی اقلیمی در ایران خواهند بود. با این حال سهم این مولفه ها در توصیف خصوصیات ایستگاههای تحت بررسی در مقایسه با شرایط فعلی تا حدودی متفاوت می‌باشد.

در جدول ۴ مقادیر ویژه و میزان واریانس توصیف شده توسط هر یک از مؤلفه‌های اصلی در شرایط تغییر اقلیم ارائه شده است. مقایسه این نتایج با مقادیر ارائه شده در جدول ۱ نشان میدهد که در شرایط تغییر اقلیم سهم مؤلفه اصلی اول (اطلاعات مربوط به درجه حرارت) در توصیف واریانس کل کاسته شده و در مقابل نقش مؤلفه اصلی دوم (اطلاعات مربوط به بارندگی) در توجیه واریانس کل افزایش یافته است، بعلاوه شدت این تفاوت در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با

سال ۲۰۲۵ میلادی بارزتر می‌باشدبنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط اقلیمی آینده کشور میزان نزولات و شاخص‌های اگروکلیماتیک مرتبط با آن در مقایسه با شرایط فعلی اهمیت بیشتری یافته و در مقابل نقش درجه حرارت و شاخص‌های حاصل از آن در مقایسه با شرایط خاص تا حدودی کاهش خواهد یافت.

براین اساس می‌توان نتیجه گیری کرد که با وجودیکه افزایش درجه حرارت در بسیاری از مناطق کشور باعث طولانی تر شدن فصل رشد می‌شود ولی افزایش همزمان طول دوره خشکی باعث ایجاد محدودیت‌های اگروکلیماتیک جدیدی خواهد شد که در شرایط فعلی چندن بارز نمی‌باشند. تائید این نتیجه‌گیری مستلزم انجام مطالعات گسترده تر در مورد واکنش‌های رشد و نمو گیاهان زراعی در شرایط اقلیمی آینده ایران می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر ویژه و میزان واریانس توصیف شده توسط هر یک از مؤلفه‌های اصلی در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی براساس نتایج مدل گردش عمومی

نسبت تجمعی از واریانس کل		نسبت از واریانس کل		مقدار ویژه		
۲۰۵۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰	۲۰۲۵	مؤلفه‌های اصلی
۰/۵۵۶۱۹	۰/۶۱۱۱۲	۰/۵۵۶۱۹	۰/۶۱۱۱۲	۲۹/۷۹۱۷	۳۳/۰۴۱۸	مولفه اصلی ۱
۰/۹۲۱۳۶	۰/۹۱۶۲۹	۰/۳۶۵۱۷	۰/۳۰۵۱۷	۱۷/۹۱۲۲	۱۴/۷۲۱۱	مولفه اصلی ۲
۰/۹۵۸۵۵	۰/۹۵۶۴	۰/۰۳۷۱۹	۰/۰۴۰۱۱	۲/۰۱۷۹	۲/۶۷۱۷	مولفه اصلی ۳
۰/۹۷۳۳۷	۰/۹۶۸۱۱	۰/۰۱۴۸۲	۰/۰۱۱۷۱	۰/۹۰۵۹	۰/۸۹۱۷	مولفه اصلی ۴

داده‌های اقلیمی کشاورزی مربوط به ایستگاههای تحت بررسی پس از تعیین مولفه‌های اصلی در شرایط تغییر اقلیم در معرض تجزیه کلاستر قرار گرفت. نتایج ارائه شده در قسمت ۳-۴ نشان داد که در شرایط اقلیمی فعلی شهرستانهای تحت بررسی از نظر تشابه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی در ۱۰ ناحیه (کلاستر) قرار می‌گیرند در حالیکه تجزیه کلاستر براساس نتایج بدست آمده در شرایط تغییر اقلیم، شهرستانهای تحت بررسی را برای سال ۲۰۲۵ در هشت گروه و برای سال ۲۰۵۰ در هفت ناحیه به شرح زیر قرارداد:

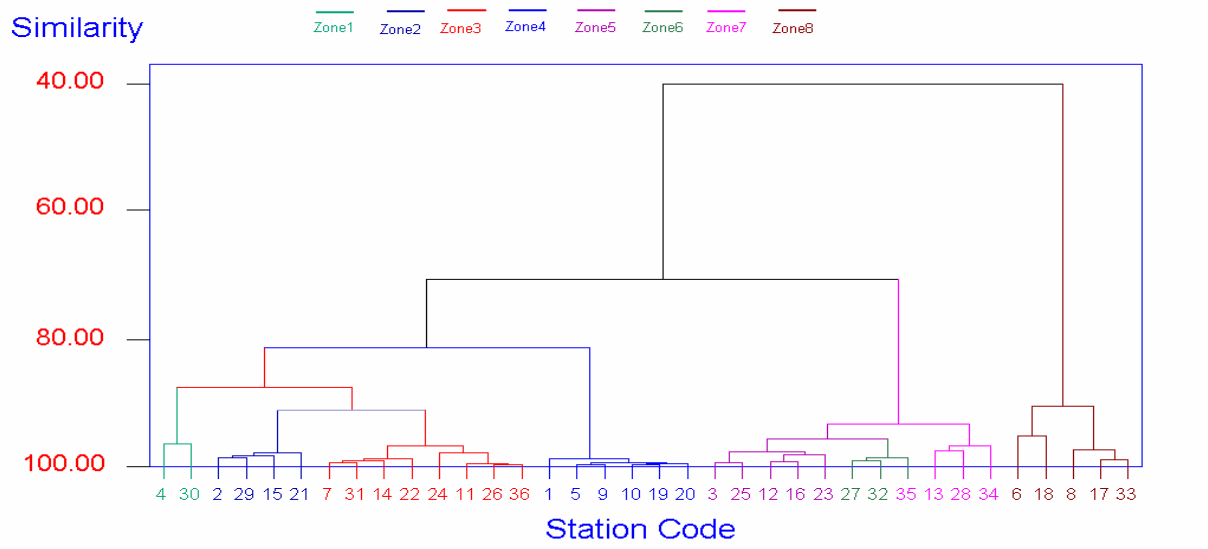
سال ۲۰۲۵:

- آبادان، اهواز، زابل، زاهدان، بندرعباس، بوشهر
- رامسر، رشت، انزلی، بابلسر، گرگان
- یزد، شاهرود، بم، کرمان، بیرجند، سمنان، سبزوار، تهران
- ارومیه، سقز، سنندج، خوی، تبریز
- اصفهان، کاشان
- مشهد، شیراز، تربت حیدریه
- اراک، خرم آباد، قزوین، زنجان
- شهرکرد، کرمانشاه، همدان

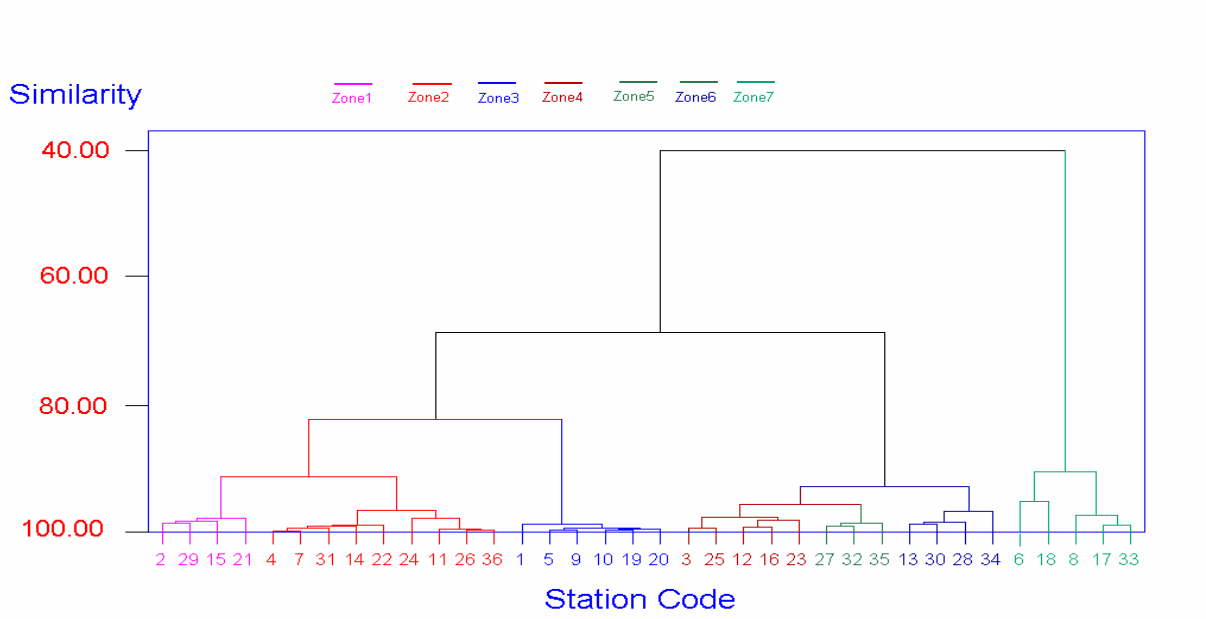
سال ۲۰۵۰:

- آبادان، اهواز، زابل، زاهدان، بندرعباس، بوشهر
- رامسر، رشت، انزلی، بابلسر، گرگان
- یزد، شاهرود، بم، کرمان، بیرجند، سمنان، سبزوار، تهران، اصفهان
- ارومیه، سقز، سنندج، خوی، تبریز
- مشهد، شیراز، تربت حیدریه، کاشان
- اراک، خرم آباد، قزوین، زنجان
- شهرکرد، کرمانشاه، همدان

موقعیت کلاسترهای فوق الذکر در شرایط تغییر اقلیم در شکل ۲ (برای سال ۲۰۲۵) و در شکل ۳ (برای سال ۲۰۵۰) نشان داده شده است. براساس این نتایج در شرایط آینده اقلیمی کشور تشابه بین مناطق از نظر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی افزایش یافته و در واقع تنوع اقلیمی کشاورزی کشور در مقایسه با شرایط فعلی کاهش خواهد یافت. بعلاوه با شدت گرفتن تغییرات اقلیمی آینده به گونه‌ای که در شکل ۵-۴ مشاهده می‌شود تراکم ایستگاههای داخل هر کلاستر بیشتر شده است که موید یکنواختی شرایط در آن ناحیه می‌باشد.



شکل ۲- نتایج آنالیز کلاستر بر روی خصوصیات اقلیمی کشاورزی ایستگاههای تحت بررسی. ۳۶ ایستگاه کشور براساس میزان تشابه در ۴۷ خصوصیت اگروکلیماتیک در شرایط اقلیمی سال ۲۰۲۵ در ۸ ناحیه (کلاستر) قرار گرفته اند.



شکل ۳- نتایج آنالیز کلاستر بر روی خصوصیات اقلیمی کشاورزی ایستگاههای تحت بررسی. ۳۶ ایستگاه کشور براساس میزان تشابه در ۴۷ خصوصیت اگروکلیماتیک در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ در ۷ ناحیه (کلاستر) قرار گرفته اند.

منابع

۱- کوچکی، ع. ، نصیری، م. ، کمالی، غ. ، جمالی، ج. و جوانمرد، س ، ۱۳۸۳. مطالعه شاخصهای هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم (در دست چاپ).

۲- ناظم السادات, م. ج. ۱۳۷۸. بزرسی تاثیر پدیده النینو – نوسانات جنوبی بر بارندگی پاییزه ایران. دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم, سازمان هوا شناسی کشور, آبان ۱۳۷۸, ۲۶۴-۲۵۲.

۳- نصیری، م. ، کوچکی، ع. ، کمالی، غ. ، جمالی، ج. و جوانمرد، س ، ۱۳۸۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم برشاخص‌های اقلیمی کشاورزی ایران (در دست چاپ).

4- Briggs, R.D. and R.C. Lemin Jr., 1992. Delineation of climatic regions in Maine. Canadian Journal of Forest Research, 22(6): 801-811.

5- DeGaetano, A.T. and M.D. Shulman, 1990. A climatic classification of plant hardiness in the United States and Canada. Agricultural and Forest Meteorology, 51(3-4): 333-351.

6- Fovell, R.G. and M.Y. Fovell., 1993. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. Journal of Climate, 6: 2103-2135.

7- Johnson, D.E., 1998. Applied multivariate methods for data analysts. Duxbury Press, pp. 567.

8- Nicholls, N., 2000. Impediments to the use of climate predictions. In: Hammer, G.L., Nicholls, N.,Mitchell, C. (Eds.), Applications of Seasonal Climate Forecasting in Agricultural and Natural Ecosystems: The Australian Experience. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 309–327.

9- Rosenzweig, Cynthia, and M. L. Parry. 1994. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. Nature, 367:133–38.

10- SAS, 1985. SAS User's Guide: Statistics, Version 6, SAS Institute Inc., Cary, N.C., pp. 956.

11- van Groenewoud, H. 1984. The climatic regions of New Brunswick: A multivariate analysis of meteorological data. Canadian Journal of Forest Research, 14(3): 389-394.

جدول پيوست - بردارهاي ويژه مولفه‌هاي اصلي

Variable Name	Variable Description	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5
VAR1	Tmin_minsp	0.138626	0.146128	-.039168	-.114695	-.046285
VAR2	Tmin_minsu	0.149401	0.048921	-.182991	0.030516	0.043453
VAR3	Tmin_minf	0.139287	0.131460	-.027604	-.040586	-.051739
VAR4	Tmin_minw	0.109086	0.222923	0.054006	-.208716	-.065399
VAR5	Tmin_maxsp	0.147144	0.070612	-.185944	-.012621	0.039675
VAR6	Tmin_maxsu	0.143482	0.039681	-.254377	-.008693	0.041127
VAR7	Tmin_maxf	0.126988	0.119134	-.281127	-.146618	0.022565
VAR8	Tmin_maxw	0.123589	0.189543	0.044258	-.190620	-.066479
۰VAR9	Tmin_avgsp	0.145697	0.110700	-.114941	-.056624	-.003328
VAR10	Tmin_avgsu	0.145499	0.052456	-.236028	-.012026	0.040935
VAR11	tmin_avgf	0.137851	0.136441	-.158164	-.102691	-.010441
VAR12	tmin_avgw	0.115334	0.211640	0.043469	-.195401	-.068193
VAR13	tmax_minsp	0.146452	0.030932	0.193778	0.084168	0.039243
VAR14	tmax_minsu	0.147953	-.072602	0.020121	0.218734	0.025549
VAR15	tmax_minf	0.147202	-.061135	0.150273	0.105993	-.018452
VAR16	tmax_minw	0.132588	0.045015	0.336572	-.077445	-.058167
VAR17	tmax_maxsp	0.150374	-.050385	0.021148	0.201968	0.029803
VAR18	tmax_maxsu	0.145639	-.089506	0.050800	0.219289	0.018050
VAR19	tmax_maxf	0.147008	-.070856	0.093727	0.193785	0.015051
VAR20	tmax_maxw	0.134232	0.050564	0.340824	-.019063	0.007611
VAR21	tmax_avgsp	0.152519	-.018900	0.087086	0.161011	0.034738
VAR22	tmax_avgsu	0.147126	-.080681	0.045166	0.215629	0.019766
VAR23	tmax_avgf	0.147832	-.075153	0.118819	0.163862	-.003382
VAR24	tmax_avgw	0.135232	0.045809	0.334226	-.048322	-.036564
VAR25	tavg_minsp	0.148788	0.094299	0.076968	-.019174	-.004940
VAR26	tavg_minsu	0.154103	-.020914	-.069891	0.142656	0.034423
VAR27	tavg_minf	0.153031	0.033225	0.069273	0.038118	-.036675

VAR28	tavg_minw	0.127909	0.159418	0.190319	-.164528	-.066639
VAR29	tavg_maxsp	0.154855	0.002058	-.071183	0.113404	0.035241
VAR30	tavg_maxsu	0.153431	-.035651	-.092500	0.125903	0.030858
VAR31	tavg_maxf	0.154413	0.019200	-.089713	0.040345	0.020665
VAR32	tavg_maxw	0.135771	0.137326	0.181119	-.124867	-.036987
VAR33	tavg_avgsp	0.155568	0.043051	-.007145	0.062347	0.017754
VAR34	tavg_avgsu	0.154667	-.023384	-.082904	0.122005	0.030768
VAR35	tavg_avgf	0.156919	0.019991	-.003912	0.050438	-.007137
VAR36	tavg_avgw	0.132317	0.151709	0.177487	-.142835	-.058704
VAR37	ppt_minsp	-.094576	0.252578	0.037725	0.136157	0.028510
VAR38	ppt_minsu	-.124996	0.106434	-.064609	-.099624	0.257999
VAR39	ppt_minf	-.102779	0.232502	0.013580	0.109314	0.076129
VAR40	ppt_minw	-.088841	0.249944	-.007771	0.257243	-.074115
VAR41	ppt_maxsp	-.108914	0.224662	0.023806	0.137293	0.056138
VAR42	ppt_maxsu	-.121642	0.171667	0.053528	0.001359	0.183700
VAR43	ppt_maxf	-.087687	0.256941	-.020341	0.197629	-.066872
VAR44	ppt_maxw	-.089527	0.250245	0.006894	0.247521	-.070963
VAR45	ppt_avgsp	-.102917	0.243153	0.033950	0.137046	0.042728
VAR46	ppt_avgsu	-.124540	0.151058	-.008064	-.049141	0.216387
VAR47	ppt_avgf	-.097458	0.254409	-.008432	0.163193	-.006601
VAR48	ppt_avgw	-.089182	0.250849	0.000940	0.248687	-.074932
VAR49	gddsp	0.145639	0.004380	-.035953	0.111097	0.224477
VAR50	gddsu	0.154486	-.025038	-.084311	0.119903	0.041330
VAR51	gddf	0.153311	0.009920	-.052988	0.048071	0.109435
VAR52	gddw	0.060671	0.044731	0.119003	-.107344	0.831929
VAR53	frz_free	0.143515	0.107320	-.152556	-.061092	-.065699
VAR54	frz_fall	0.140971	0.113560	-.122125	-.112394	-.063845
VAR55	frz_spr	-.142623	-.101483	0.169214	0.027450	0.065729