

ارزیابی حساسیت مناطق بیوکلیمایی ایران به گرمایش جهانی با استفاده از مدل هولدریج

اکبر شائمی*

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور آران و بیدگل، ایران

پذیرش: ۸۶/۸/۱۹

دریافت: ۸۴/۱۰/۲۰

چکیده

در این تحقیق ابتدا قابلیت‌ها و استعداد‌های نواحی مختلف زیست‌اقليمی ایران شناسایی و سپس درجه ناپایداری و شکنندگی آنها ارزیابی شد. برای رسیدن به این هدف از داده‌های هواشناسی ۱۴۲ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی که اطلاعات کافی حداقل در یک دوره نرمال سی ساله (۱۹۶۵-۱۹۹۵) را داشتند، استفاده شد. به منظور بررسی وضع موجود با استفاده از روش هولدریج که یک مدل اقلیم حیاتی^۱ است، نوع حوزه حیاتی هر ایستگاه تعیین شد. مبنای طبقه‌بندی در این روش بر اساس دو متغیر بارش و دمای زیستی سالانه است. در مرحله بعدی با استفاده از مدل فوق و اجرای سناریوهای فرضی میزان حساسیت نواحی مختلف اقلیمی ایران ارزیابی شد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برخی از نواحی زیست‌اقليمی ایران واقع در محورهای کوهستانی زاگرس و البرز، ارتفاعات آذربایجان و خراسان شمالی که دارای چهار فصل منظم و دارای تیپ اقلیمی معتدل سرد هستند، بیشترین تغییرات زیست‌اقليمی در شرایط گرمایشی را دارند. نواحی فوق که جزء زیست‌بوم‌های استپی کشور به شمار می‌آیند، حساسیت زیادی را نسبت به سایر گروه‌ها در برابر افزایش دما دارند. این بررسی نشان می‌دهد که زیست‌بوم‌های جنگلی ایران در شمال و غرب کشور نسبت به کاهش بارش حساستر بوده و نسبت به سایر زیست‌بوم‌ها از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند.

کلید واژه‌ها: بیوکلیما، زیست‌بوم، سناریوهای فرضی، هولدریج، آنالیز حساسیت، گرمایش جهانی، ایران.

E-mail: barzuk2000@yahoo.com

* نویسنده مسؤول مقاله:

1. Bioclimatic Model

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر کشورهای جهان به شکلهای گوناگون با انواع بحرانهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره روبه‌رو بوده‌اند. آنچه که در عصر کنونی مرزها را در نوردیده است و در سطح جهانی و فراگیر همه ملتها را تهدید می‌کند، بحرانهای زیست محیطی و در رأس آن آلودگی هوا و به تبع آن تغییرات غیرمنتظره آب و هوایی است.

انتشار گازهای گلخانه‌ای در گستره‌ای وسیع از سطح زمین منجر به افزایش دما شده است. گرمایش زمین به دلیل آثار محیطی و اقتصادی - اجتماعی آن و نیز به دلیل تأثیر آن در برنامه‌ریزیهای خرد و کلان طی چند دهه اخیر مورد توجه محافل علمی بوده است [۱، ص ۱۱۶]. گرمایش جهانی منجر به تغییر در الگوهای زمانی و مکانی دما، بارش و در نهایت جابه‌جایی و تغییر در پهنه‌های زیست اقلیمی^۱ شده است [۲، صص ۷ - ۱۰]، زیرا که زیست‌بوم‌های مختلف در تطابق با شرایط آب و هوایی متداول توسعه یافته‌اند [۳، ص ۲۷۵]. هر نوع تغییر در شرایط محیطی بویژه اقلیم منجر به برهم خوردن تعادل اکولوژیکی شده و گونه‌های زیستی را متأثر می‌سازد. با توجه به میزان حساسیت گونه‌های مختلف نسبت به تغییرات اقلیمی، مکان جغرافیایی و ساختار اکوسیستمها تغییر پیدا خواهد کرد [۴، صص ۳۴ - ۳۷]. یکی از مهمترین عواقب گرمایش جهانی کاهش تنوع گونه‌ای و انقراض گونه‌های بومی است [۵، ص ۲۱۳]؛ ۶، ص ۲۴؛ ۷، ص ۲۸۸]. در راستای درک مشکل و ارائه راه‌حلهای مناسب مراکز تحقیقاتی معتبر دنیا از جمله کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) مطالعات وسیعی را در دهه‌های اخیر انجام داده است که اغلب آنها روند گرمایشی دمای کره زمین را تأیید می‌کنند. البته هنوز درباره میزان دقیق تغییرات آتی یا شتاب تغییر و توزیع جغرافیایی آن اتفاق نظر وجود ندارد [۲، ص ۴۲]. بعلاوه پیش‌یابی توزیع تغییرات منطقه‌ای بسیار ذهنی به نظر می‌آید و هنوز این امکان وجود ندارد که به‌طور دقیق مشخص شود چه مکانی و در چه زمانی خشک‌تر و یا مرطوب‌تر می‌شود [۸، ص ۲۳۱]. تفاوت در نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های مربوط به انواع مدل‌های اقلیم جهانی^۲ (GCM) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم متوسط جهانی افزایش دما را حدود ۲ درجه سانتی‌گراد برای یک قرن برآورد می‌کند. بنابراین متوسط افزایش دمای کره زمین در اواخر قرن حاضر در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود [۲، ص ۷۴].

1. Bioclimatic

2. Global Climate Model

سناریوهای مختلفی نیز برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در شرایط گرمایش جهانی وضع شده است و راهکارهای مختلفی برای توسعه سناریوهای تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های مختلف وجود دارد. در آغاز کار برای ارزیابی پتانسیل تغییرات اقلیمی و به منظور سنجش حساسیتها از سناریوهای فرضی یا قراردادی^۱ استفاده می‌شود [۹، ص ۱۴؛ ۱۰، صص ۱۴۱۵-۱۴۳۳]. آنالیز حساسیتها این امکان را فراهم می‌کند که درجه حساسیت نواحی مختلف جغرافیایی (که فاقد اطلاعات دقیق هستند) در دامنه وسیعی از تغییرات محتمل و در شرایط گرمایشی ارزیابی شود و به کمک آن احتمال ریسک و خطرپذیری در آینده ترسیم شده و بر مبنای آن سیاستهای تطبیقی دنبال شود [۱۱، ص ۶۰؛ ۱۲، ص ۴۷۶].

سنجش درجه حساسیتها با استفاده از این روش مورد پذیرش محافل علمی معتبر دنیا است و افراد زیادی نیز از سناریوهای فرضی برای ارزیابی تغییرات بیوکلیمایی و اگروکلیمایی در سطح جهانی استفاده کرده‌اند که در اینجا فقط به برخی از آنها اشاره می‌شود:

سیروتونکو^۲ جابه‌جایی مرز بیوم‌های عمده روسیه را در شرایط گرمایش جهانی برای سال ۲۰۳۰م. مورد بررسی قرار داد. دستاوردهای او بیانگر تغییرات وسیع در مناطق طبیعی (حوزه‌های پوشش گیاهی) روسیه است [۱۳، صص ۹۲-۹۳]. بر اساس نتایج به دست آمده مساحت منطقه توندرا و تایگا به میزان $\frac{4}{4}$ و $\frac{1}{4}$ میلیون کیلومتر مربع کاهش و در مقابل سطح جنگلهای پهن برگ (خزاندار) و پوششهای گیاهی اسپتی به‌طور وسیعی به‌ترتیب معادل $\frac{4}{1}$ و $\frac{1}{1}$ میلیون کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت؛ چون با افزایش دما بیوم‌های عمده کره زمین به عرضهای بالاتر جغرافیایی جابه‌جا می‌شوند. با دو برابر شدن CO_2 و گرمتر شدن هوا و به تبع آن تحت تأثیر پسروری مناطق یخچالی پتانسیل بیوکلیمایی^۳ روسیه حدود ۳۰ درصد بیشتر خواهد شد [۱۴، صص ۸۱-۱۱۱]. تحقیقات انجام شده در سطح جهانی نیز نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به زیست‌بوم‌های جنگلی در نواحی شمالی است، همان‌طور که میزان تغییرات اقلیمی در عرضهای بالا نسبت به عرضهای جغرافیایی پایین کمتر برآورد شده است [۱۵، صص ۱۵۲-۱۶۱].

اورپک و بارتلین^۴ زابینسکی و دیویس^۵ جابه‌جایی پهنه هفت گونه جنگلی و مرتعی را در

1. Hypothetical scenario
2. Sirotenko
3. Bioclimatic Potential
4. Overpek & Bartlin
5. Zabinski & Davis

ایالات متحده بررسی کردند [۱۶، صص ۷۲-۱۰۵؛ ۱۷، صص ۲۰-۲۵]. امانوئل^۱ نیز با استفاده از روش هولدریج آثار گرمایش جهانی را بر اکوسیستمهای خشکی بررسی کرد [۱۸، صص ۴۵۷-۴۶۰]. با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به مدل‌های اقلیمی در محدوده ایران و ماهیت این تحقیق، هدف از ارائه مقاله حاضر این نیست که تغییرات اکوسیستمی را از نقطه نظر مکانی و زمانی به طور دقیق پیش‌بینی کند، بلکه هدف ما سنجش میزان شکنندگی و حساسیت انواع حوزه‌های حیاتی در شرایط اقلیمی جدید می‌باشد.

۲- کلیات روش

به منظور پیش‌یابی الگوهای پراکنش پوشش‌های گیاهی و تغییر محدوده‌های رویشی در شرایط جدید در حال وقوع، تعیین روابط موجود بین الگوی رشد و پراکنش گیاهی با نوع اقلیم الزامی است. این موضوع در محدوده عمل همانند سازی اکولوژی است [۹، ص ۱۴]. یکی از مدل‌هایی که در مطالعات زیستی کاربرد وسیعی دارد، روش طبقه‌بندی حوزه‌های حیاتی^۲ (LZC) هولدریج^۳ است. روش حوزه‌های حیاتی هولدریج اقلیم‌های دنیا را بر مبنای پوشش گیاهی به قسمت‌های مجزا تقسیم می‌کند. بر اساس این مدل، توزیع پوشش گیاهی تا حد زیادی تابعی از شاخص نسبت تبخیر و تعرق بالقوه (P.E.R) می‌باشد که این شاخص نیز به نوبه خود وابسته به متوسط سالیانه دمای زیستی^۴ (Tbio) می‌باشد [۱۹، ص ۱۴۵].

معادله ۱ برای محاسبه نسبت تبخیر و تعرق بالقوه (P.E.R) به این شرح است [۱۹، ص ۱۴۵]:

$$P.E.R = \frac{Tbio \times 58 / 93}{\text{متوسط بارش سالیانه میلی‌متر}} \quad (1)$$

روش هولدریج، یک مدل اقلیم حیاتی^۵ است که پراکنش پوشش‌های گیاهی طبیعی را با توجه به نوع اقلیم آنها مشخص می‌کند. مبنای طبقه‌بندی در این روش بر اساس دو متغیر بارش و دمای زیستی استوار است. معدل دمای زیستی سالیانه عبارت است از معدل دماهای

1. Emanuel
2. Life zone classification
3. Hold ridge
4. Biotemperature
5. Bioclimatic Model

سال به صورت واحدهای یکسان (روزانه، هفتگی یا ماهانه) که مقادیر کمتر از صفر و بیشتر از سی، صفر در نظر گرفته می‌شود [۱۹، صص ۱۳۸-۱۴۵]. برای مثال اگر متوسط دمای ماهانه یک ایستگاه مانند اهواز در فصل گرم سال بیشتر از سی درجه سانتی‌گراد باشد، برای محاسبه دمای زیستی سالیانه اهواز مقدار دمای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود. در این روش با استفاده از آستانه‌های دمای زیستی، هفت منطقه اصلی زیست‌اقلیمی به صورت مداری قابل تشخیص می‌باشد و برای هر منطقه یک معادل ارتفاعی تعریف شده است که شامل: حاره‌ای (کم ارتفاع)، جنب حاره‌ای (پیش کوه)، معتدل گرم (کوهستانی کم ارتفاع)، معتدل سرد (کوهستانی)، بورآل^۱ (جنب آلبی)^۲، جنب قطبی^۳ (آلبین)، قطبی (نیوال)^۴ می‌باشد. هریک از گروه‌های فوق بر اساس میزان بارش به زیر گروه‌های فرعی‌تر تقسیم می‌شوند [۱۸]. از طرف دیگر در مدل هولدریج بر اساس متوسط بارش سالیانه هشت طبقه رطوبتی تعیین شده است. از تعامل طبقات دمای زیستی و بارش، نوع حوزه حیاتی مشخص می‌شود. سیستم طبقه‌بندی هولدریج ۳۷ زیرگروه بیوکلیمایی دارد [۲۰، صص ۴۸-۵۵]. از این روش در کشورهای حاره‌ای برای ارزیابی قابلیت‌های بالقوه اراضی استفاده شده است [۱۵، ص ۱۵۵].

۳- مواد و روشها

به منظور ارزیابی قابلیت‌ها و استعدادهای بیوکلیمایی ایران و همچنین تغییرات احتمالی آن در آینده از داده‌های هواشناسی ۱۴۲ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی (که اطلاعات کافی در یک دوره نرمال سی ساله (۱۹۶۵ - ۱۹۹۵) را دارد)، استفاده شد (شکل ۱). داده‌های استفاده شده عبارتند از: بارش سالیانه، درجه حرارت ماهانه و سالیانه. ابتدا با استفاده از متغیرهای فوق در روش هولدریج، نوع حوزه حیاتی تعیین و با اجرای سناریوهای مختلف در شرایط گرمایشی آنالیز حساسیتها بررسی شد، سپس شرایط احتمالی آینده بر اساس مراحل زیر ارزیابی شد.

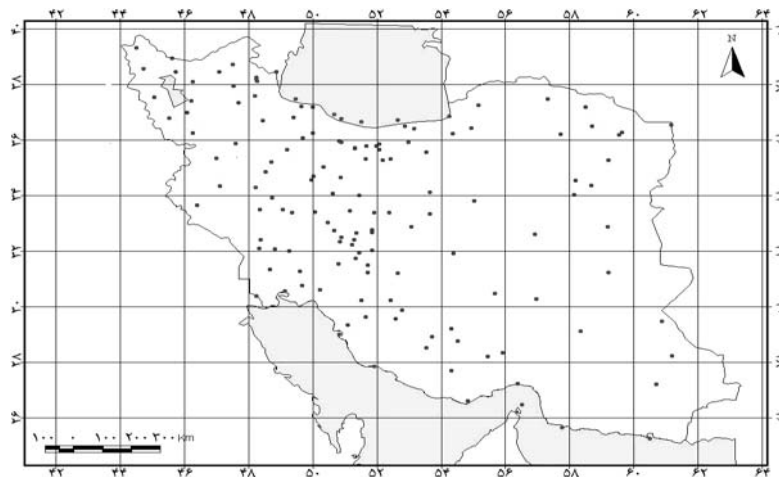
۱- ابتدا داده‌های خام درجه حرارت‌های ماهانه ۱۴۲ ایستگاه با استفاده از نرم‌افزار Excel به دماهای زیستی ماهانه تبدیل (همان طور که در بخش کلیات روش اشاره شد، مقادیر کمتر

1. Boreal
2. Sub Alpin
3. Sub Polar
4. Nival

از صفر و بیشتر از سی صفر در نظر گرفته شدند) و سپس براساس رابطه ۲ به دمای زیستی سالیانه تبدیل شدند [۱۹، ص ۱۴۵].

$$Tbio \text{ سالیانه} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Tbio}{12} \quad (2)$$

۲- بر اساس آستانه‌های دمای زیستی و بارش سالیانه در روش هولدریج، تیپ زیست‌اقلیمی هر یک از ایستگاهها مشخص شد. برای نمونه گروه معتدل سرد (با دمای زیستی ۶ - ۱۲ درجه سانتی‌گراد) بر اساس میزان بارش سالیانه به شش زیر گروه تقسیم شد که شامل جنگل بارانی (۲ - ۴۰۰۰ میلیمتر بارش) جنگل خیلی مرطوب (۱۰۰۰ - ۲۰۰۰)، جنگل مرطوب (۵۰۰ - ۱۰۰۰)، استپ (۲۵۰ - ۵۰۰)، بوته‌زار (۱۲۵ - ۲۵۰) و بیابان (<۱۲۵) میلیمتر بارش می‌باشد. میزان بارش لازم برای استقرار یک تیپ گیاهی خاص در روش هولدریج بستگی به دمای زیستی و میزان تبخیر دارد. همانطور که در بالا نیز اشاره شد مقدار بارش سالیانه لازم برای استقرار جنگلهای بارانی در منطقه معتدل سرد ۲۰۰۰ - ۴۰۰۰ میلیمتر می‌باشد. اما این میزان برای منطقه معتدل گرم ۴۰۰۰ - ۸۰۰۰ و در منطقه حاره بیش از ۸۰۰۰ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۱ توزیع جغرافیایی ایستگاههای هواشناسی استفاده شده در سطح کشور

برای سهولت کار از علائم اختصاری که معرف حروف اول کلمات گویای هر تیپ است، استفاده شد. به عنوان مثال حروف اختصاری 'wtts' معرف استپ خاردار منطقه معتدل گرم می‌باشد. به منظور دسته‌بندی و سهولت در انجام پردازشهای بعدی در مراحل گرمایشی که با اجرای سناریوهای متعدد اعمال شد، ابتدا همه ایستگاهها بر اساس دمای زیستی و سپس بر اساس نوع حوزه حیاتی به صورت صعودی مرتب شدند. همه ایستگاهها در ۱۳ تیپ همگن دسته‌بندی و فراوانی ایستگاهها در هر گروه مشخص شد (جدول ۱).

جدول ۱ فراوانی انواع گروههای اقلیم حیاتی در بین ایستگاههای منتخب

علائم اختصاری	نوع حوزه حیاتی	معدل ارتفاعی	تعداد	سهم به درصد	توزیع جغرافیایی
Ctds	بوته‌زارهای بیابانی منطقه معتدل سرد	کوهستانی	۱	۰/۷	شمال میمه در استان اصفهان
Ctmf	جنگلهای مرطوب معتدل سرد	کوهستانی	۳	۱/۲	ناحیه مرتفع در البرز و زاگرس مرکزی
Cts	استپ منطقه معتدل سرد	کوهستانی	۲۱	۱۴/۸	نواحی مرتفع در گوشه شمال غرب ایران، البرز مرکزی و استانهای همدان، اصفهان و بختیاری
Wtd	بیابان معتدل گرم	کوهپایه	۶	۴/۲	ناحیه شرق استان اصفهان و بخشی از استان سمنان
Wtdf	جنگلهای خشک منطقه معتدل گرم	کوهپایه	۹	۶/۳	شرق مازندران، غرب استان گلستان، ناحیه معتدل و مرطوب استانهای لرستان و ایلام
Wtds	بوته‌زارهای بیابانی معتدل گرم	کوهپایه	۲۱	۱۴/۸	نواحی نیمه خشک کشور در حاشیه دشت کویر و شرق کشور، نواحی پست شمال شرق و شمال غرب
Wtmf	جنگلهای مرطوب معتدل گرم	کوهپایه	۸	۵/۶	استان گیلان و غرب استان مازندران

1. Warm temperate thorn steppe

ادامه جدول ۱

علایم اختصاری	نوع حوزه حیاتی	معادل ارتفاعی	تعداد	سهم به درصد	توزیع جغرافیایی
Wtts	پوشش‌های استپی خاردار منطقه معتدل گرم	کوهپایه	۲۲	۲۲/۵	نواحی نیمه مرتفع در استانهای خراسان شمالی و رضوی، شمال استان فارس، شمال و غرب تهران، زنجان، آذربایجان، شرق کردستان و بخشی از استانهای کرمانشاه مرکزی و همدان و بختیاری
Std	بیابان جنب حاره‌ای	پیش کوه	۸	۵/۶	بخش اعظم استانهای سیستان و بلوچستان، یزد و خراسان جنوبی
StdF	جنگلهای خشک جنب حاره‌ای	پیش کوه	۱	۰/۷	ناحیه کوچکی در شمال فارس (نورآباد)
Stds	بوته‌زارهای بیابانی جنب حاره	پیش کوه	۱۳	۹/۲	غرب خوزستان، جنوب خراسان، بخشی از جنوب فارس و شمال هرمزگان و کاشان
Sttw	پوشش درختچه‌ای خاردار جنب حاره	پیش کوه	۱۲	۸/۵	شرق خوزستان، جنوب فارس و غرب بوشهر
Tds	بوته‌زارهای بیابانی منطقه حاره	-	۷	۴/۹	نواحی ساحلی استانهای هرمزگان و بلوچستان

سپس با استفاده از سناریوهای قراردادی (فرضی) آنالیز حساسیتها انجام پذیرفت. در مجموع ۳۵ سناریو اجرا شد (بر اساس جدول ۲) و تیپ‌بندیها تکرار و تغییرات طبقه‌ای مربوط به هر ایستگاه در هر مرحله مشخص شد. با اجرای سناریوهای یاد شده ۴۵۰۰ واحد تیپ بندی اقلیمی به دست آمد. سناریوهای اجرا شده مربوط به دو متغیر دما و بارش به شرح زیر است:

سناریوهای تغییرات دمایی:

$$T_{\xi} = T + 2$$

$$T_{\gamma} = T + 1/5$$

$$T_{\gamma} = T + 1$$

$$T_{\gamma} = T + 0/5$$

سناریوهای تغییرات بارش:

$$P_{\xi} = P - 10\%$$

$$P_{\gamma} = P - 5\%$$

$$P_{\gamma} = P + 10\%$$

$$P_{\gamma} = P - 5\%$$

جدول ۲ ماتریس فرضی برای سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد

سناریو	T.	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴
P.	T.P.	T _۱ P.	T _۲ P.	T _۳ P.	T _۴ P.
P _۱	T.P _۱	T _۱ P _۱	T _۲ P _۱	T _۳ P _۱	T _۴ P _۱
P _۲	T.P _۲	T _۱ P _۲	T _۲ P _۲	T _۳ P _۲	T _۴ P _۲
P _۳	T.P _۳	T _۱ P _۳	T _۲ P _۳	T _۳ P _۳	T _۴ P _۳
P _۴	T.P _۴	T _۱ P _۴	T _۲ P _۴	T _۳ P _۴	T _۴ P _۴

با اجرای این سناریوها ایستگاههایی که تیپ آنها تغییر کرده بود، در محیط Excle علامت‌گذاری و سپس فراوانی تغییرات تعیین شد. پس از اجرای سناریوها مشخص شد که پاسخگویی مدل هولدریج به تغییرات اندک متغیرهای بارش و دما کم است. در این صورت نمایش تغییرات ناچیز (مثلاً $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) به صورت کیفی امکانپذیر نبود و اشکال دیگر این بود که جایگاه واقعی هر ایستگاه در هر کلاسه معین نبود. لذا برای آنالیز حساسیتها باید از روشی استفاده می‌شد که علاوه بر حفظ چارچوب کلی مدل، تغییرات جزئی درون هر کلاسه را به صورت واضحتر نشان دهد. در این حالت بر اساس روش فاصله‌ای تغییرات ناشی از اجرای سناریوهای مختلف به صورت کمی نشان داده شد.

در روش فاصله‌ای گروهبندی مشاهدات براساس فاصله بین آنها انجام می‌گیرد، یعنی مشاهدات یا اجزایی که از همدیگر فاصله کمتری دارند؛ جزو یک گروه قرار می‌گیرند [ص ۲۱، ص ۱۷۳]. بنابراین مرکز طبقات (دما و بارش) به عنوان هسته‌های اولیه انتخاب شدند و فاصله هر ایستگاه از مرکز طبقه با اجرای سناریوهای مختلف محاسبه شد. رابطه به کار رفته (معادله ۳) برای روش فاصله‌ای برای هر ایستگاه به شرح زیر است [ص ۲۱، ص ۱۷۳]:

$$O_n - AD = A_n \quad (3)$$

$$O = \frac{Min_x + Max_x}{2}$$

AD = متوسط فاصله گروهی از ایستگاههای همگن

مرکز طبقه متغیر مورد نظر در حالت $An = n$
 حد پایین در طبقه n ام $Min_x = n$
 مرکز طبقه (شرایط بهینه) در طبقه n ام $On = n$
 حد بالا در طبقه n ام $Max_x = n$

در حقیقت AD گشتاور مرتبه اول حول مرکز طبقات مربوط به هر گروه می‌باشد؛ زیرا طبق تعریف «گشتاورها میانگین توانهای مختلف انحرافهای تک‌تک داده‌های یک مجموعه آماری از یک نقطه مشخص موردنظر در مرکز آن داده‌ها هستند. توان به‌کار رفته را در اصطلاح «مرتبه گشتاور» می‌نامند» [۲۲، صص ۸۷ - ۸۸]. در این پژوهش، رابطه زیر (معادله ۴) بر مبنای گشتاور مرتبه اول حول مرکز طبقات دما و بارش می‌باشد که برای گروهی از ایستگاههای همگن که در یک طبقه اقلیمی قرار دارند، به این شرح است [۲۲، صص ۸۷ - ۸۸]:

$$M_1 = \frac{\sum F_i (An - on)}{N} \quad (4)$$

F_i مجموع فراوانی ایستگاهها در یک گروه

N تعداد ایستگاهها در یک گروه خاص

برای همگن‌سازی ارزش‌های عددی به دست آمده از رابطه ۵ استفاده شد:

$$AD_a = \frac{\bar{AD}}{S} \times 100 \quad (5)$$

فاصله طبقه $S =$

مقادیر به دست آمده از رابطه فوق بین ۵۰ - و ۵۰+ متغیر است. به این صورت که مقادیر > 50 و < 50 - بیانگر تغییر تیپ اقلیمی است. هر چه مقادیر دمایی حاصل از اجرای رابطه فوق (جدول ۳) در سناریوهای افزایش دما در یک گروه بیشتر باشد، بیانگر ناپایداری بیشتر و یا نزدیکتر شدن به شرایط بحرانی است. در مقابل هر چه مقادیر بارش مربوط به یک گروه خاص در سناریوهای کاهش بارش بیشتر باشد، بیانگر پایداری بیشتر آن گروه است. تلفیقی از سناریوهای p و T (متغیرهای دما بارش) یک ماتریس 5×5 حاصل شد که به وسیله آن ۲۵ حالت از تغییرات نشان داده شده است. در جدول ۱ ماتریس سناریوها برای یک گروه

فرضی عنوان شده است. در جدول ۲ ماتریسی، متغیر دما با حرف T و متغیر بارش با حرف P نشان داده شده است.

جدول ۳ میانگین انحرافات دما و بارش گروهها از شرایط بهینه طبقاتی در سناریوهای مختلف

P _r	P _r	P _r	P ₁	T _r	T _r	T _r	T ₁	وضع موجود		کد سناریو	گروههای زیست اقلیمی
								P	T		
-۲۵	-۱۸	+۳	-۴	+۷۷	+۶۹	+۶۱	+۵۳	-۱۱	+۴۶	۱	Ctds
-۴۳	-۳۷	-۱۹	-۲۵	+۴۶	+۳۹	+۳۳	+۲۶	-۳۱	+۱۹	۳	Ctmf
-۲۴	-۱۷	+۴	-۳	+۵۲	+۴۴	+۳۷	+۳۰	-۱۰	+۲۴	۲۱	Cts
۱۱	+۲۰	+۴۴	+۳۷	+۴۸	+۴۰	+۳۲	+۲۴	+۲۹	+۱۵	۶	Wtd
-۳۸	-۳۲	-۱۳	-۲۰	+۴۸	+۴۰	+۳۲	+۲۴	-۲۶	+۱۶	۹	Wtdf
-۲۵	-۱۸	+۳	-۴	+۴۱	+۳۳	+۲۵	+۱۷	-۱۱	+۹	۲۱	Wtds
-۲۷	-۲۰	+۰/۵	-۶	+۴۶	+۳۸	+۲۹	+۲۱	-۱۳	+۱۳	۸	Wtmf
-۳۰	-۲۴	-۴	-۱۰	+۱۵	+۷	-۱	-۹	-۱۷	-۱۷	۳۲	Wtts
-۳۱	-۲۴	-۴	-۱۱	+۱۰	+۴	-۲	-۸	-۱۸	-۱۵	۸	Std
-۳۹	-۳۲	-۱۴	-۲۰	+۱۴	+۸	+۲	-۴	-۲۶	-۱۱	۱	Stdf
-۱۸	-۱۰	+۱۲	+۴	+۲۵	+۱۹	+۱۴	+۸	-۳	+۲	۱۳	Stds
-۳۲	-۲۵	-۶	-۱۲	+۴۴	+۳۸	+۳۳	+۲۶	-۱۹	+۲۲	۱۲	Sttw
-۲۳	-۲۷	-۷	-۱۴	-۱	-۵	-۱۰	-۱۳	-۲۰	-۱۹	۷	Tds

۴- یافته های تحقیق

دستاوردهای مربوط به شرایط فعلی نشان می دهد که ۱۴۲ ایستگاه مطالعه شده بر اساس روش هولدریج به ۱۳ گروه اقلیمی حیاتی تقسیم شدند (جدول ۱).

۵- تحلیل فراوانی تغییرات

منظور از تغییرات ایستگاهی، دگرگونی شرایط زیست اقلیمی و تغییر جایگاه یک ایستگاه در بین گروههایی است که در جدول ۴ نشان داده شده است و منظور از تغییرات گروهی فراوانی تغییرات در یک گروه خاص است. برای مثال همراه با گرمتر شدن هوا و افزایش نسبت تبخیر و تعرق،



پوششهای گیاهی یک طبقه نزول خواهند کرد. پوششهای جنگلی به استپی و استپ به بوته‌زارهای بیابانی و در نهایت بوته‌زارها به بیابان تبدیل می‌شود. البته در صورت افزایش بارش، عکس این حالت می‌تواند صادق باشد.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود؛ بیشترین تغییرات گروهی بترتیب در سناریوهای T۴، P۳، P۴، T۲ و T۱ می‌باشد.

جدول ۴ فراوانی و درصد تغییرات گروههای بیوکلیمایی در سناریوهای مختلف

F	T _۱		T _۲		T _۳		T _۴		Σwarm		P _۱		P _۲		Σwet		P _۳		P _۴		ΣDry		مجموع تغییرات گروهها
	ch	%	ch	%	ch	%	ch	%	Σ	ch	%	ch	%	Σ	ch	%	ch	%	ch	%	Σ	%	
ctds	۱	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
ctmf	۳	۰	۱	۳۳	۰	۰	۱	۳۳	۱	۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳۳	۱	۳۳	۳۳	۱۰۰
ctb	۱۱	۳	۱۹	۴	۱۹	۳	۱۹	۳	۱۹	۱۵	۷۱	۲	۹	۲	۹	۲	۹	۲	۹	۲	۹	۱۹	۱۰۰
wld	۶	۰	۱	۱۷	۰	۰	۱	۱۷	۲	۳۳	۱	۳۳	۰	۰	۲	۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۵
wdf	۶	۲	۲۱	۰	۲	۲۱	۱	۱۱	۵	۵۵	۰	۰	۱	۱۱	۱	۱۱	۱	۱۱	۱	۱۱	۴	۶۹	۱۰۰
Wids	۱۱	۱	۳	۱۴	۱	۱۴	۱	۱۴	۴	۳۳	۱	۵	۰	۰	۱	۵	۰	۰	۰	۰	۱	۵	۵۳
Widf	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵
Wids	۲۲	۲	۲	۶	۱	۳	۱	۳	۱۹	۶	۲۶	۲	۶	۲	۶	۲	۶	۲	۶	۲	۶	۱۹	۱۰۰

حداکثر مطلق تغییرات درصدی در یک مرحله مربوط به گروه ctds با مقدار ۱۰۰٪ در سناریوی T_۱ است. بیشترین درصد تغییرات در هر سناریو مربوط به گروههای زیر است:

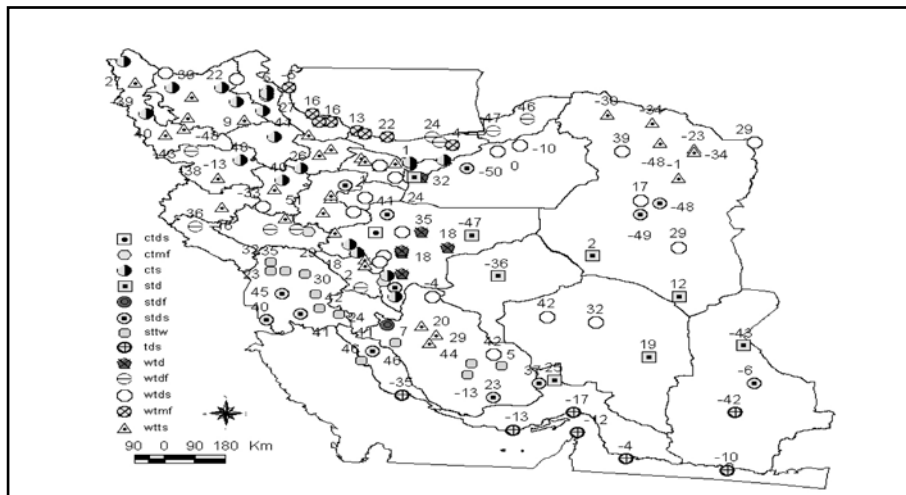
$$T_1 = \text{ctds} (100), T_2 = \text{ctmf} (33), T_3 = \text{wtdf} (22), T_4 = \text{ctmf} (33)$$

$$P_1 = \text{wtd} (33), P_2 = \text{wtts} (12), P_3 = \text{std} (37), P_4 = \text{ctmf} (33)$$

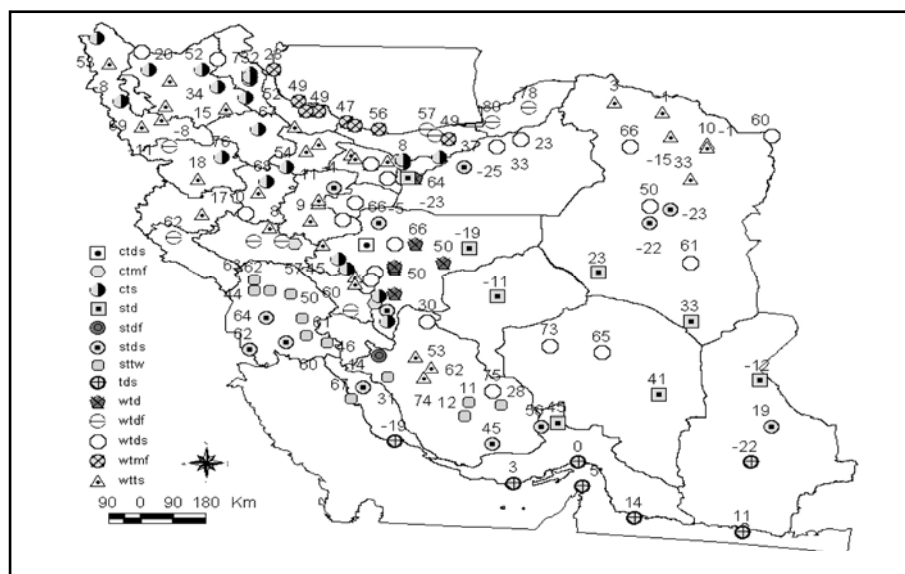
بیشترین فراوانی تجمعی تغییرات در چهار سناریوی گرمایشی اعمال شده مربوط به گروههای (۱۵) cts و (۹) wtts و کمترین آنها مربوط به گروههای tds, stdf, std با مقدار صفر می باشد. بیشترین درصد تغییرات تجمعی در چهار سناریوی گرمایشی بترتیب مربوط به این گروهها با مقادیر درصدی همراه آنهاست: (۱۰۰) ctds, (۷۱) cts, (۵۵) wtdf, (۴۶) stds, (۴۲) sttw, (۳۳) wtd, (۲۵) wtmf و (۱۹) wtts سایر گروهها بدون تغییر می باشند. بیشترین فراوانی تجمعی تغییرات در دو سناریوی کاهش بارش (P_۳+P_۴) مربوط به گروه (۷) Wtmf است و گروههای (۴) wtdf, cts, (۳) sttw, std, (۱) tds, ctmf, stds بترتیب در ردههای بعدی قرار دارند. سایر گروهها نیز بدون تغییر بودند. درصد تجمعی تغییرات مربوط به دو سناریوی فوق بیانگر بیشترین درصد تغییر در گروه (۴۴) wtdf بوده است و گروههای دیگر بترتیب (۳۷) std, (۳۳) ctmf, (۲۸) tds و (۲۵) sttw در رتبههای بعدی قرار دارند.

۶- تحلیل و ارزیابی میزان حساسیتها

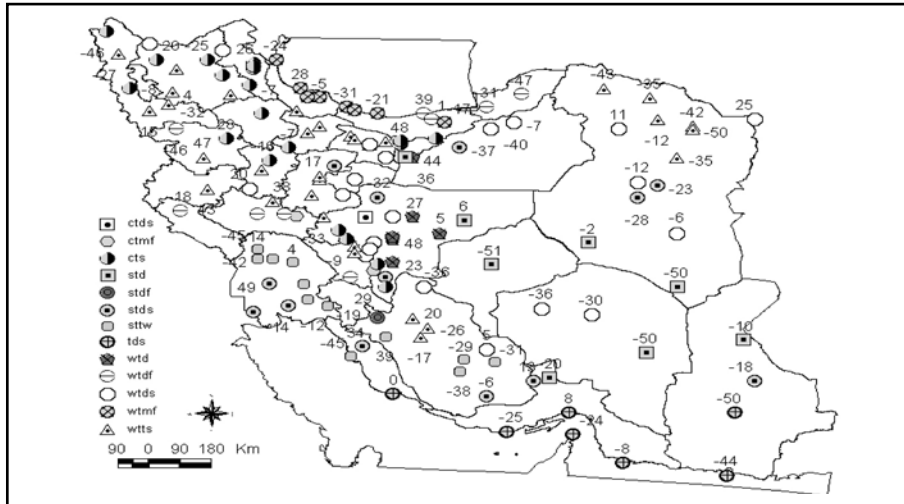
شکلهای ۲ و ۳ مقادیر انحراف دما از شرایط بهینه و شکلهای ۴ و ۵ مقادیر انحراف بارش از شرایط بهینه زیستی را در هر ایستگاه نشان می دهد. جدول ۳ مقادیر انحراف از شرایط بهینه متغیرهای فوق در هر گروه زیست اقلیمی و در سناریوهای مختلف نشان می دهد.



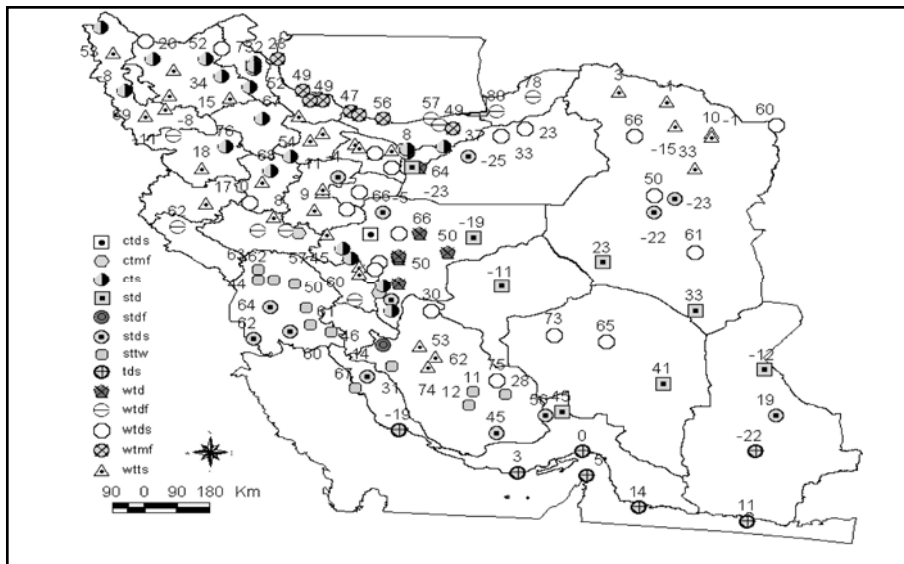
شکل ۲ انحراف از شرایط بهینه طبقاتی گروههای زیست اقلیمی در شرایط دمایی حاضر



شکل ۳ انحراف از شرایط بهینه طبقاتی گروههای زیست اقلیمی در سناریوی افزایش دو درجهای دما



شکل ۴ انحراف از شرایط بهینه طبقاتی گروه‌های زیست‌اقلیمی در شرایط بارش فعلی



شکل ۵ انحراف از شرایط بهینه طبقاتی گروه‌های زیست‌اقلیمی در شرایط کاهش ۱۰ درصدی بارش

میزان انحرافات دمایی در شرایط فعلی ($T+0$) بیانگر این است که گروه ctds با مقادیر انحراف ۴۶ ناپایدارترین و گروههای cts با ۲۴، sttw با ۲۲ و ctmf با ۱۹ بترتیب از درجه پایداری کمتری در شرایط گرمایشی برخوردارند. مقادیر به دست آمده در سناریوهای T_1 تا T_4 نیز این مطلب را تأیید می‌کند. از سوی دیگر گروههای tds با مقدار انحراف ۱۹-، wts با ۱۷-std و stdf با ۱۱- در شرایط گرمایشی پایدارترین گروهها قرار دارند.

مقادیر انحرافات بارش در شرایط فعلی نشان می‌دهد که ۱۲ گروه از مجموع ۱۳ گروه (بجز گروه wtd) انحرافات منفی دارند. گروههای ctmf، stdf و wtdf که همگی جزء تیپ‌های جنگلی هستند، بترتیب با مقادیر انحراف بارش ۳۱-، ۲۶- و ۲۶- از شرایط ناپایدارتری نسبت به سایر گروهها در صورت کاهش بارش برخوردارند. این وضعیت در سناریوی P_4 بخوبی نشان داده شده است.

۷- بررسی و تحلیل درجه پایداری

همانطور که در بخش کلیات اشاره شد؛ درجه پایداری در این تحقیق به صورت کمی (بیر اساس رابطه گشتاورها) تعریف شده است؛ به نحوی که هر چه مقادیر انحراف یک گروه خاص زیست‌اقلیمی از شرایط بهینه همان گروه (مقادیر جدول ۳) کمتر و به صفر نزدیکتر باشد؛ بیانگر درجه پایداری بیشتر و یا شکنندگی کمتر است. جدول ۵ درجه پایداری گروههای مختلف را با اجرای سناریوهای چندگانه نشان می‌دهد.

جدول ۵ رتبه پایداری گروههای بیوکلیمایی در سناریوهای مختلف

تیپ	F	T.	P.	T_1	T_2	T_3	T_4	P_1	P_2	P_3	P_4
ctds	۱	۱۳	۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۲	۳	۳	۴
ctmf	۳	۱۰	۱۳	۱۰	۱۰	۹	۹	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳
cts	۲۱	۱۲	۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱	۴	۲	۳
wtd	۶	۶	۱۲	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۳	۱۳	۵	۱
wtdf	۹	۷	۱۰	۹	۹	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱
wtds	۲۱	۲	۴	۶	۶	۶	۶	۳	۲	۴	۵
wtmf	۸	۴	۵	۷	۷	۷	۸	۵	۱	۶	۶

ادامه جدول ۵

تیپ	F	T.	P.	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴	P _۱	P _۲	P _۳	P _۴
wts	۳۲	۸	۶	۴	۱	۳	۴	۶	۵	۷	۷
std	۸	۵	۷	۳	۲	۱	۲	۷	۶	۸	۸
stdf	۱	۳	۱۱	۱	۳	۴	۳	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲
stds	۱۳	۱	۱	۳	۵	۵	۵	۴	۹	۱	۲
sttw	۱۲	۱۱	۸	۱۱	۱۱	۸	۷	۸	۷	۹	۹
tds	۷	۹	۹	۵	۴	۲	۱	۹	۸	۱۰	۱۰

* مقادیر بیشتر، پایداری کمتری دارند.

همانطور که در جدول ۳ و شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود؛ پوشش استپی منطقه معتدل سرد در ناحیه کوهستانی (ارتفاع بین ۱۵۰۰ - ۲۴۰۰ متر) ایران با فراوانی ۱۵ درصد، اولین حوزه حیاتی وسیعی است که بیشترین حساسیت را در برابر افزایش دما دارد. این حوزه حیاتی که دارای اقلیم معتدل سرد می‌باشد، در نواحی مرتفع استانهای اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی، زنجان، تهران، همدان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری قرار دارد.

دومین حوزه حیاتی شکننده ایران در شرایط گرمتر، جنگلهای خشک در شرق مازندران و غرب استان گلستان می‌باشد. همچنین پوششهای جنگلی مرطوب واقع در مناطق سرد و مرطوب نواحی مرتفع البرز و زاگرس نیز در شرایط بحرانی قرار دارند. در بین تیپهای بیابانی موجود در ایران، بیابانهای گرم نواحی مرکزی ایران ناپایدارترین تیپ بیابانی ایران در شرایط گرمایشی می‌باشد. از نقطه نظر بارش دوازده تیپ از بین سیزده تیپ زیست‌اقلیمی ایران در شرایط فعلی مقادیر منفی (کمتر از بهینه) دارند. تیپهای جنگلی کشور واقع در کناره‌های دریای خزر (بویژه در سواحل شرقی)، ارتفاعات زاگرس و البرز بیشترین مقادیر منفی را در سناریوهای کاهش بارش کسب کرده‌اند. در این صورت بیشترین حساسیت در صورت ایجاد شرایط محیطی خشکتر مربوط به اکوسیستم جنگل خواهد بود و کمترین میزان حساسیت مربوط به بیابانهای مرکزی ایران است.

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق علاوه بر نشان دادن پتانسیل‌های موجود از نقطه نظر اقلیم حیاتی، درجه حساسیت اکوسیستم‌های مختلف کشور در برابر تغییر شرایط محیطی به تصویر کشیده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند کاربرد وسیعی در برنامه‌ریزیها و سیاست‌گذاری‌های مربوط به بهره‌برداری از جنگلها، مراتع و کنترل فرسایش و مقابله بیابان‌زایی داشته باشد. در این صورت ضروری است که هر گونه بهره‌برداری با توجه به ماهیت انواع اکوسیستمها و ظرفیتهای این بسترها صورت گیرد و سیاستهای انطباقی و پیش‌گیرانه به منظور مقابله با شرایط بحرانی اتخاذ شود.

دستاوردهای حاصل از اجرای روش هولدریج همراه با اجرای سناریوهای متفاوت نشان می‌دهد که زیست‌بوم‌های جنگلی ایران در برابر کاهش بارش نسبت به سایر بیومها از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند. علاوه بر آن زیست‌بوم‌های استپی کشور حساسیت زیادی را نسبت به افزایش دما و کاهش بارش دارند. به طوری که بیشترین حساسیت در برابر افزایش دما مربوط به زیست‌بوم‌های استپی معتدله سرد در نواحی کوهستانی کشور است. برعکس و برخلاف تصور، مناطق بیابانی به علت وجود بحران در شرایط فعلی احتمال تغییر در آنها کمتر است؛ به طوری که پایدارترین گروه‌های بیوکلیمایی در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی جنوب کشور است. اکوسیستم‌های جنگلی ایران حساسیت بیشتری به کاهش بارش نسبت به سایر اکوسیستم دارند. نتایج کلی این تحقیق نشان می‌دهد که نواحی کوهستانی ایران با اقلیم معتدل که چهار فصل منظم دارند و در شرایط گرمایشی تغییرات بیشتری را از نقطه نظر اکولوژیکی و اقلیم حیاتی متحمل خواهند شد.

۹- منابع

- [۱] قائمی، ه. و عساکره، ح.؛ تحلیلی آماری بر روند تغییرات دمای مشهد طی سده گذشته و رابطه آن با نوسانهای اطلس شمالی، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ش ۷۱، ۱۳۸۲.
- [۲] عساکره، ح.؛ تجزیه و تحلیل آماری- اقلیمی سری‌های زمانی دما در ایران، *برازش‌مدلهای ARIMA بر داده‌های دمایی و توجیه تغییرات دما بوسیله توابع*



- انتقال، گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۰.
- [۳] جی فورد، م.؛ تغییر اقلیم، ترجمه: شهریار خالدی، نشر سرا، ۱۳۸۳.
- [4] Catrinus J. , Munasingle M.; Climate change policy facts, ISSNES and analysis, Cambridge, 1988.
- [5] Box E., et. al; Predicated effects of climate change on distribution ecologically important native tree and shrub species in Florida. *Journal of Climate Change* No 41 213 – 248, 1999.
- [6] Bazzaz F. and Sombroek W.; Global climate change and agricultural, John Willey, 1996.
- [۷] پورخباز، ع. و پورخباز، ح؛ عمده‌ترین آشفته‌گی‌های زیست محیطی قرن حاضر، انتشارات به‌نشر، ۱۳۸۱.
- [۸] عزیزی، ق.؛ تغییر اقلیم؛ نشر قومس، ۱۳۸۳.
- [۹] کوچکی، ع. و دیگران؛ پیامدهای اکولوژیکی تغییر اقلیم؛ انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۷۷.
- [10] Mpelasoka F. S. and et. al; New Zealand climate change Information derived by Multivariate statistical and artificial neural networks approaches; *Journal of climatology* 21, 2001.
- [۱۱] شائمی، ا.؛ ارزیابی اثرات گرمایش جهانی بر مناطق بیوکلیمایی ایران، پایان‌نامه دوره دکتری، گروه جغرافیای دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
- [12] Parry M. L.; Estimating the sensitivitiy of natural ecosystem and agriculture to climate change; *journal of climate change* No. 7,1985.
- [13] Sirotenko. O; Review and summary of methods used for the assessment of possible adaptation by farming systems and by the agricultural sector to climate change and climate variability, WMO/CAGM report No. 87, 2001.
- [14] Sirotenko, O. The Global greenhouse effect, agroecosystems and the future of agriculture, WMO, CAGM Report, No. 77, 2001.
- [15] Gates D.M; Climate change and its biological consequences, sinaure

Associates ; 1993.

- [16] Overpeck J.t.and Bartlin P.J.; Assessing response of vegetation to future climate change, tripak, 1989.
- [17] Zabinski C., Davids. M.B; hard times ahead for great lakes forests. In Smith and Tripak, 1989.
- [18] Emanuel W. R and et.al; Climate change and distribution of terrestrial ecosystem complexes, Climate Change No.7 457 – 460, 1985.
- [19] Griffiths F.; Hand book of agricultural meteorology; oxford University Press, 1994.
- [20] Prentice K.C.AND Fung L.;The sensitivity of terrestrial carbon storage to climate change; Nature No. 346, 1990.

[۲۱] علیجانی، ب.؛ اقلیم شناسی سینوپتیک؛ انتشارات سمت، ۱۳۸۱.

[۲۲] عبدالله زاده، ک. و عبدالله زاده، ی.؛ آمار و احتمالات؛ نشر آیش، ۱۳۷۹.