دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد

شبیه سازی و ریز مقیاس کردن رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM) (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)

منصوره کوهی

تیر ماه ۱۳۹۱

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده کشاورزی
پایان نامه کارشناسی ارشد

شبیه سازی و ریز مقیاس کردن رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM) (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)

منصوره کوهی

استادان راهنما

دکتر سید محمد موسوی بایگی

دکتر علیرضا فرید حسینی

استاد مشاور

دکتر سید حسین ثنایی نژاد

تیر ماه ۱۳۹۱

دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب

از این پایان نامه کارشناسی ارشد توسط **منصوره کوهی** دانشجوی مقطع رشته **کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی** در تاریخ **۱۳۹۱/۴/۵** در حضور هیات داوران دفاع گردید. پس از بررسی های لازم، هیات داوران این پایان نامه را با نمره عدد **۱۹/۴۰** حروف **نوزده و چهل صدم** و با درجه عالی مورد تایید قرار داد.

عنوان پایان نامه: **شبیه سازی و ریز مقیاس کردن رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM)**

(مطالعه موردی: حوضه کشف رود)

سمت در هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	گروه	موسسه / دانشگاه	امضاء
استاد راهنما	محمد موسوی بایگی	دانشیار	مهندسی آب	فردوسی	
استاد راهنما	علیرضا فرید حسینی	استادیار	مهندسی آب	فردوسی	
استاد مشاور	حسین ثنایی نژاد	دانشیار	مهندسی آب	فردوسی	
داور	حسین انصاری	دانشیار	مهندسی آب	فردوسی	
داور	مجید هاشمی نیا	مربی	مهندسی آب	فردوسی	
نماینده تحصیلات تکمیلی	کاظم اسماعیلی	استادیار	مهندسی آب	فردوسی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: شبیه سازی و ریز مقیاس کردن رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری (SDSM) (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)

اینجانب منصوره کوهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هواشناسی کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی آقایان دکتر محمد موسوی بایگی و دکتر علیرضا فرید حسینی متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد یگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۱/۴/۵
منصوره کوهی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

بر طبق گزارش های IPCC فراوانی و شدت رویدادهای حدی آب و هوایی تحت شرایط تغییر اقلیم افزایش یافته بطوری که افزایش گاز های گلخانه ای و گرمایش زمین به شکل افزایش شدت، فراوانی و سهم رویدادهای حدی تجلی پیدا کرده است. تغییرات پیش بینی شده ی رویدادهای حدی در نتیجه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر بخش های مختلف مانند آب، کشاورزی و مدیریت آب های سطحی شهری اهمیت زیادی دارد. لذا در این پژوهش با هدف ارایه ی دورنمایی از وضعیت آتی رویدادهای حدی دما و بارش با استفاده از خروجی های مدل HadCM3، در گام اول، توانمندی SDSM در ریزمقیاس کردن میانگین و نمایه های حدی دو متغیر دمای بیشینه و بارش روزانه در سطح حوضه کشف رود مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعدی، سناریوهای اقلیمی دو متغیر و نمایه های حدی آن ها تحت دو سناریوی انتشار تولید شد. داده های استفاده شده برای ارزیابی مدل شامل متغیرهای بزرگ مقیاس جوی بدست آمده از داده های بازتحلیل روزانه NCEP (۲۰۰۱-۱۹۶۱ م.)، برونداد میانگین روزانه مدل اقلیمی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 (۲۰۹۹-۱۹۶۱م.) و میانگین ناحیه ای بارش و دمای بیشینه این حوضه به ترتیب طی دوره آماری۲۰۰۱-۱۹۶۹ و ۲۰۰۰-۱۹۷۲میلادی بود. برای تحلیل رویدادهای حدی دما از نمایه های بیشینه مطلق دمای بیشینه (T-Max)، صدک نودم (آستانه روز داغ یا txq90) و تعداد روزهای داغ (POT30°C) و برای متغیر بارش علاوه بر بیشینه بارش، از صدک نودم (آستانه بارش سنگین یا pq90)، درصد سهم بارش سنگین از کل میزان بارش (pfl90) و بیشینه تعداد روز خشک متوالی (pxcdd) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین دمای بیشینه به طور معنی داری طی سه دوره ی آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت که بیشترین مقدار متعلق به دوره ۲۰۸۰ و تحت سناریوی A2 می باشد. قابل ملاحظه ترین تغییر در نمایه تعداد روزهای داغ (تابستانی)، علاوه بر دو دوره اول، در دوره ۲۰۸۰ مشاهده می شود که هم در مقیاس سالانه و هم در فصل پاییز تفاوت زیادی با دوره پایه (در دو سناریو) خواهد داشت. میانگین بارش ماهانه نسبت به دوره ی پایه کاهش نشان می دهد که بیشترین میزان کاهش بارش در دوره ی آخر قرن بیست و یکم و به میزان ۵/۵- درصد تحت سناریوی A2 خواهد بود اما کاهش بارش در سه دوره معنی دار نخواهد بود. مشهودترین تفاوت در نتایج دو سناریو و در نمایه های حدی بارش، در فصل تابستان در دوره ی ۲۰۲۰ با بیشترین افزایش در مجموع بارش، بیشینه بارش و نمایه ی حدی سهم بارش سنگین در سناریوی A2 بدست آمد. بر این اساس، طی دوره های آتی حوضه کشف رود شاهد افزایش دمای بیشینه خواهد بود که بیشترین مقدار تغییر متعلق به ماه های پاییز و زمستان خواهد بود. همچنین افزایش تعداد روزهای تابستانی بویژه طی دوره آخر قرن بیست و یکم قابل ملاحظه می باشد. علیرغم کاهش بارش، نمایه های حدی مرتبط با بارش طی دوره ۲۰۲۰ تحت سناریوی A2 افزایش یافته اند. این امر بویژه طی ماه های گرم سال نشان از وقوع سیل های مخرب تر خواهد داشت.

کلید واژه ها: ریزمقیاس نمایی، رویداد حدی، کشف رود.

تقدیر و تشکر

آموزگار گرچه خداوندگار نیست جز کردار برتر از آموزگار نیست

در این مجال پیش رو،

از اولین آموزگاران زندگیم، پدر و مادرم عزیزم که در تمام مراحل زندگی و تحصیل در کنارم بوده اند سپاسگزارم و امیدوارم در پناه یزدان پاک، سایه لطف و محبت ایشان بر سرم مستدام باشد،

از زحمات اساتید محترم راهنما، جناب آقایان دکتر سید محمد موسوی بایگی و دکتر علیرضا فرید حسینی نیز سپاسگزاری می نمایم،

از استاد محترم جناب آقای دکتر سید حسین ثنایی نژاد که در انجام این پایان نامه از مشاوره و راهنمایی های ایشان بهره مند بودم کمال تشکر و سپاس را دارم،

از جناب آقای دکتر هادی جباری نوقابی استاد محترم گروه آمار دانشکده ریاضی دانشگاه فردوسی مشهد، همچنین از جناب آقایان دکتر بابائیان، دکتر فتاحی رییس محترم پژوهشکده اقلیم شناسی، مهندس ضیا شهابی و مهندس اثمری کارشناسان محترم مرکز پیش بینی هواشناسی خراسان رضوی که در انجام این پژوهش از راهنمایی های ایشان استفاده کردم نیز بسیار ممنونم،

و در نهایت ، از تک تک اعضای خانواده ام، بخاطر همراهی دلسوزانه شان در تمام مراحل زندگی، نهایت سپاس و تشکر را دارم .

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱- مقدمه..... ۱

۱-۱ تغییر اقلیم..... ۱

۱-۲ فرضیه های پژوهش..... ۵

۱-۳ هدف ها..... ۶

۱-۴ ضرورت انجام پژوهش..... ۶

۱-۵ مشکلات پژوهش..... ۷

۱-۶ کاربردهای پژوهش..... ۷

فصل دوم: بررسی منابع ۹

۲- بررسی منابع..... ۹

۲-۱ مقدمه..... ۹

۲-۲ معرفی مدل های اقلیمی..... ۹

۲-۲-۱ مدل های بیلان انرژی (EBMs)..... ۱۱

۲-۲-۲ مدل های اقلیمی تابشی ـ همرفتی (RCMs)..... ۱۲

۲-۲-۳ مدل های آماری ـ دینامیکی (SDMs)..... ۱۲

۲-۲-۴ مدل های گردش عمومی (GCMs)..... ۱۲

۲-۳ سناریوهای انتشار..... ۱۵

۲-۴ ریزمقیاس نمایی ۱۷

۲-۴-۱ ریزمقیاس نمایی مکانی..... ۱۷

۲-۴-۲ ریزمقیاس نمایی زمانی..... ۱۸

۲-۵ رویدادهای حدی (فرین)..... ۲۵

۲-۵-۱ تحلیل رویدادهای حدی..... ۲۶

۲-۵-۱-۱ نمایه های حدی اقلیمی..... ۲۶
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۳
۳- مواد و روش ها..... ۳۳
۳-۱ منطقه مورد مطالعه..... ۳۳
۳-۱-۱ موقعیت جغرافیایی..... ۳۳
۳-۱-۲ ویژگی های آب و هوایی..... ۳۴
۳-۲ داده ها..... ۳۴
۳-۳ روش کار..... ۳۸
۳-۳-۱ معرفی مدل HadCM3..... ۳۸
۳-۳-۲ نرم افزارهای مورد استفاده..... ۳۹
۳-۳-۲-۱ کنترل کیفی داده ها..... ۳۹
۳-۳-۲-۲ بررسی همگنی داده ها..... ۳۹
۳-۳-۲-۳ مدل SDSM..... ۴۰
۳-۳-۲-۴ نرم افزار JMP..... ۴۷
۳-۳-۳- انتخاب معیارهای ارزیابی توانمندی مدل..... ۴۷
۳-۳-۳-۱ مقایسه دو میانگین با استفاده از آزمون t..... ۴۷
۳-۳-۳-۲ معیارهای دقت..... ۴۸
فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۱
۴- نتایج و بحث..... ۵۱
۴-۱ کنترل کیفی و همگنی داده ها..... ۵۱
۴-۲ واسنجی و صحت سنجی داده های تولید شده آب و هوایی..... ۵۳
۴-۲-۱ واسنجی و صحت سنجی بارش..... ۵۳
۴-۲-۱-۱ ریزمقیاس نمایی بارش با استفاده از متغیرهای بزرگ مقیاس مدل HadCM3..... ۵۸
۴-۲-۱-۲ مقایسه نمایه های حدی ریزمقیاس شده طی دوره صحت سنجی..... ۶۰
۴-۲-۱-۳ ریزمقیاس کردن نمایه های حدی بارش در اقلیم فعلی توسط دو مدل NCEP و HadCM3. ۶۲
۴-۲-۲ واسنجی و صحت سنجی دمای بیشینه..... ۶۴
۴-۲-۲-۱ ریزمقیاس کردن دمای بیشینه با استفاده از مدل HadCM3..... ۶۸
۴-۲-۲-۲ مقایسه نمایه های حدی ریزمقیاس شده با مقدار مشاهداتی طی دوره صحت سنجی..... ۷۰
۴-۲-۲-۳ ریزمقیاس کردن نمایه های حدی بارش در اقلیم فعلی توسط دو مدل NCEP و HadCM3. ۷۱

۴-۲-۳ تولید سناریوهای آتی بارش و دمای بیشینه و رویدادهای حدی منتخب تحت سناریوی های انتشار ۷۳
۴-۲-۳-۱ بارش و نمایه های حدی آن..... ۷۳
۴-۲-۳-۲ دمای بیشینه و نمایه های حدی آن..... ۷۸
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۸۳
۵-نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۳
۵-۱نتیجه گیری..... ۸۳
۵-۲- پیشنهادات..... ۸۷

منابع و مآخذ :..... ۸۹
پیوست..... ۹۵

فهرست شکل ها

عنوان شکل | صفحه

شکل ۲-۱. هرم مدلسازی اقلیمی..... ۱۱

شکل ۲-۲. ساختار یک مدل جفت شده جو – اقیانوس ۱۵

شکل ۲-۳. مفهوم ریزمقیاس نمایی مکانی..... ۱۸

شکل ۳-۱. موقعیت حوضه کشف رود در خراسان رضوی و محدوده های آن..... ۳۴

شکل ۳-۲. نمودار دمای بیشینه ماهانه سه ایستگاه مشهد، زشک و مارشک..... ۳۶

شکل ۳-۳. نمودار میانگین بارش ماهانه چهار ایستگاه مشهد، گلمکان، کارده، اولنگ اسدی..... ۳۶

شکل ۳-۴. نمایش یاخته پوشش دهنده ی محدوده مشهد-چناران حوضه..... ۳۷

شکل ۳-۵ ساختار مدلSDSM ۴۴

شکل ۴-۱. سرهای ناهنجاری پایه (ناهنجاری هایی که با چرخه میانگین..... ۵۲

شکل۴-۲. سرهای ناهنجاری پایه (ناهنجاری هایی که..... ۵۲

شکل ۴-۳. نتایج آزمون t برابری میانگین دو سری بارش..... ۱۰۰

شکل ۴-۴. مقایسه جمع بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده..... ۱۰۰

شکل ۴-۵. مقایسه انحراف معیار بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده..... ۱۰۰

شکل ۴-۶. مقایسه جمع بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده..... ۵۷

شکل ۴-۷. مقایسه انحراف معیار بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده ۵۷

شکل ۴-۸. مقایسه مقدار ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده..... ۱۰۱

شکل ۴-۹. مقایسه انحراف معیار بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده..... ۱۰۱

شکل ۴-۱۰. مقایسه جمع بارش ماهانه دو سری داده های..... ۵۹

شکل ۴-۱۱. مقایسه انحراف معیار دو سری داده های مشاهداتی..... ۵۹

شکل ۴-۱۲. مقایسه میانگین مقدار بارش بیشینه مشاهداتی..... ۶۱

شکل۴-۱۳. مقایسه میانگین دمای بیشینه مشاهداتی..... ۱۰۱

شکل ۴-۱۴. مقایسه انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی..... ۱۰۱

شکل ۴-۱۵. نتایج آزمون t برابری میانگین..... ۱۰۲

شکل ۴-۱۶. مقایسه میانگین دمای بیشینه مشاهداتی..... ۶۷

شکل ۴-۱۷. مقایسه انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی..... ۶۷
شکل ۴-۱۸. مقایسه مقدار میانگین دمای بیشینه..... ۱۰۳
شکل۴-۱۹. مقایسه انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی..... ۱۰۳
شکل۴-۲۰. مقایسه مقدار میانگین دمای بیشینه مشاهداتی..... ۶۸
شکل ۴-۲۱. مقایسه انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی..... ۶۹
شکل ۴-۲۲. مقایسه میانگین دمای بیشینه..... ۷۱
شکل۴-۲۳. مقایسه میانگین ماهانه نمایه های حدی بارش..... ۷۷
شکل۴-۲۴. روند تغییرات بارش سالانه..... ۷۸
شکل ۴-۲۵. مقایسه میانگین ماهانه دمای بیشینه..... ۷۹
شکل ۴-۲۶. روند تغییرات دمای بیشینه سالانه..... ۸۱

فهرست جدول ها

عنوان جدول	صفحه
جدول۲-۱. مشخصات سناریوی های انتشار در گزارش ویژه سناریوهای انتشار	۱۶
جدول۲-۲. خلاصه ای از نقاط ضعف و قدرت	۲۱
جدول ۲-۳. نمایه های رویدادهای حدی STARDEX	۲۸
جدول۳-۱. مشخصات جغرافیایی و نوع ایستگاه های مورد استفاده	۳۵
جدول۳-۲. مشخصات جغرافیایی و نوع ایستگاه های مورد استفاده	۳۵
جدول ۳-۳. متغیرهای بزرگ مقیاس جوی بدست آمده	۴۶
جدول ۴-۱. مقدار ضریب همبستگی	۹۸
جدول ۴-۲. مقدار ضریب همبستگی	۹۹
جدول ۴-۳. مقدار ضریب همبستگی جزئی	۵۴
جدول ۴-۴ مقدار عرض از مبدا	۵۴
جدول۴-۵. نتایج آزمون برابری میانگین دو سری بارش	۵۵
جدول ۴-۶. مقدار بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی	۱۰۱
جدول۴-۷. نتایج آزمون برابری میانگین دو سری بارش	۵۶
جدول ۴-۸. نتایج آزمون برابری میانگین دو سری بارش	۵۸
جدول۴-۹. ارزیابی توانمندی مدل در شبیه سازی	۶۰
جدول ۴-۱۰. NRMSE بین نمایه های حدی بارش	۶۳
جدول۴-۱۱. RS بین نمایه های حدی بارش	۶۳
جدول۴-۱۲. مقدار ضریب همبستگی	۶۴
جدول ۴-۱۳. مقدار عرض از مبدا	۶۵
جدول ۴-۱۴. محاسبه مقدار تفاوت میانگین دمای بیشینه	۱۰۲
جدول ۴-۱۵. نتایج آزمون برابری میانگین	۶۶
جدول ۴-۱۶. ارزیابی توانمندی مدل در شبیه سازی	۶۶
جدول ۴-۱۷. نتایج حاصل از مقایسه دو سری	۶۹

جدول ۴-۱۸. ارزیابی توانمندی مدل..... ۷۰
جدول ۴-۱۹. NRMSE بین نمایه های حدی دما..... ۷۲
جدول ۴-۲۰. RS بین نمایه های حدی دما..... ۷۳
جدول ۴-۲۱. محاسبه درصد تغییر بارش..... ۷۶
جدول ۴-۲۲. محاسبه مقدار تفاوت میانگین دما..... ۸۰
جدول ۵-۱. متغیرهای پیش گوی انتخاب شده جهت برآورد بارش و دما ۸۵

فهرست علائم و اختصارات

علامت	معادل انگلیسی	معادل فارسی
AM	Annual Maximum	بیشینه مطلق سالانه
ANN	Artificial Neural Networks	شبکه عصبی مصنوعی
AOGCM	Atmosphere-Ocean General Circulation Model	مدل های جفت‌شده اقیانوس ـ اتمسفر
ASD	Automated Statistical Downscaling	ریزمقیاس نمایی آماری خودکار
CATCHMOD	Catchment Modeling	مدل سازی حوضه آبریز
CCSM	Community Climate System Model	مدل جامع سامانه اقلیمی
CCSR	Center for Climate System Research Model, the University of Tokyo	مدل مرکز پژوهشی سامانه اقلیمی دانشگاه توکیو
CGCM2	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis Model	مدل مرکز تحلیل و مدلسازی اقلیمی کانادا
CLIVAR	Research Program on Climate Variability and Predictability	برنامه تحقیقاتی تغییر پذیری و پیش بینی اقلیمی
CO_2	Carbon Dioxide	دی اکسید کربن
CSIRO	Australia's Common wealth Scientific and Industrial Research Organization Model	مدل سازمان پژوهش های مشترک المنافع علمی و صنعتی استرالیا
EBMs	Energy Balance Models	مدل های بیلان انرژی
ECHAM4	European Center Hamburg 4 Model	مدل مرکز اروپایی هامبورگ ۴
ECIS	Extreme Climate Index Software	نرم افزار نمایه های حدی اقلیمی
ETCCDMI	Expert Team on Climatic Change Detection, Monitoring and Indices	گروه متخصصین پیش بینی، پایش و نمایه های تغییر اقلیم
GCMs	General Circulation Models	مدل های گردش عمومی
GEV	Generalized Extreme Value Distribution	تابع توزیع مقدار حدی تعمیم یافته
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی
GISS	Goddard Institute for Space Studies	موسسه مطالعات فضایی گودارد
HadRM3	Hadly Center Regional high-resolution Model	مدل با قدرت تفکیک بالای منطقه ای مرکز هادلی
IHACRES	Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data	شناسایی هیدورگراف های واحد و مولفه جریان های ناشی از داده های بارش، تبخیر و جریان رودخانه ای
(INCA-N)	The Integrated Nitrogen Model for Catchments	مدل تلفیقی نیتروژن برای حوضه آبریز
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	هیات بین الدول تغییر اقلیم

علامت	معادل انگلیسی	معادل فارسی
IS92	IPCC Scenarios, 1992	سناریوهای هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۱۹۹۲
LARS-WG	Long Ashton Research Station Weather Generator	مولد مصنوعی آب و هوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ اشتون
MAE	Mean Absolute Error	میانگین مطلق خطا
MRI	National Institute for Environmental Studies Model	مدل موسسه ملی مطالعات محیطی
MSD	Mean Square Deviation	میانگین مربعات خطا
NCAR	National Centre for Atmospheric Prediction	مرکز ملی پیش بینی جّوی
NCEP	National Centre for Environment Prediction	مرکز ملی پیش بینی محیطی
PCA	Principal Component Analysis	تحلیل مؤلفه اصلی
PMF	Penalized Maximal F test	جریمه حداکثری آزمون F
PMT	Penalized Maximal t Test	جریمه حداکثری آزمون t
POT	Peaks-Over-Threshold	اوج های بالاتر از یک حد آستانه
ppm	Parts per Million	قسمت در میلیون
R10mm	Number of heavy of precipitation days	تعداد روزهای با بارش سنگین
R20mm	Number of very heavy precipitation days	تعداد روزهایی با بارش خیلی سنگین
RCMs	Radiative-Convctive Models	مدل های اقلیمی تابشی ـ همرفتی
REGCM	Regional Climate Model	مدل اقلیمی منطقه ای
RSME	Root Mean Square Error	ریشه دوم میانگین مربعات خطا
SDMs	Statistical-Dynamical Models	مدل های آماری ـ دینامیکی
SDSM	Statistical Downscaling Model	مدل ریزمقیاس نمایی آماری
SIMHYD	SIMple HYDrology Model	مدل ساده هیدرولوژی
SPI	Standard Precipitation Index	نمایه بارش استاندارد شده
SRES	Special Report on Emission Scenario	گزارش ویژه در مورد سناریوهای انتشار
SVM	Support Vector Machine	ماشین بردار پشتیبانی
SWAT	Soil and Water Assessment Tool	ابزار ارزیابی خاک و آب
TN90p	Hot days	روز های داغ
WCRP	World Climate Research Program	برنامه تحقیقات اقلیم جهانی
WMO	World Meteorological Organization	سازمان جهانی هواشناسی
WMO-CCL	World Meteorological Organization Commission for Climatology	کمیته جهانی اقلیم شناسی سازمان هواشناسی

فصل اول

۱- مقدمه

۱-۱ تغییر اقلیم

در سال ۱۸۹۶ میلادی اسوانت آرهینوس دانشمند سوئدی پیش بینی کرد که احتـراق سـوخت هـای فسیلی به ویژه زغال سنگ سبب دو برابر شدن CO_2 جّو طی ۳۰۰ سال آینده می شود، که این امر منجر بـه افزایش میانگین درجه حرارت جهانی در حدود ۵ درجه سانتی گراد می گردد. اگرچه نظریه آرهینوس تا امروز مطرح مانده، اما وی این آهنگ را کمتر برآورد کرده است. در حقیقت غلظت CO_2 جّو طـی ۱۰۰ سـال ۳۰٪ افزایش یافته که حدود ۱۸ برابر سریع تر از پیش بینی آرهینوس بوده است و قبل از پایان ایـن قـرن نیـز دو برابر خواهد شد (هاردی، ۲۰۰۴).

در پی رشد توقف ناپذیر صنایع و کارخانه‌ها از آغـاز انقـلاب صـنعتی و بـه تبـع آن افـزایش مصـرف سوخت‌های فسیلی از یکسو و تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی کشاورزی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز CO_2 طی دهه های اخیر شده است. افزایش این گـاز گلخانـه ای بـه نحـوی بوده که غلظت آن از ppm ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ بـه ppm ۳۷۹ در سـال ۲۰۰۵ رسـیده اسـت. اگـر مصـرف سوخت های فسیلی با سرعت و حجم فعلی ادامه یابد، احتمالا غلظت این گاز تا قبل از پایان قـرن ۲۱ام بـه بیش از ppm ۶۰۰ خواهد رسید. تغییرات ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اقلیم کره زمین تغییر اقلـیم[1] نامیده شده است.

نتایج حاصل از بررسی های انجام شده از روند تغییرات دمای کره زمین در قرن گذشته توسط هیـات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC) نشان می دهد که پدیده تغییر اقلیم، به صورت افزایش دمای کـره زمـین در

1. Climate Change

اکثر نقاط جهان نمود یافته که در مجامع علمی از آن تحت عنوان گرمـایش جهـانی[1] یـاد مـی شـود. طبـق گزارش های جامعی که توسط IPCC در مقیاس قاره ای انجام یافته، پدیده تغییر اقلیم نه تنها بر دمای کـره زمین تاثیر گذار بوده، بلکه تغییراتی را نیز در خصوصیات سیستم هایی که با جّو زمین در تعامل می باشند، به وجود آورده است.

این هیات در گزارش های خود در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۱ میلادی به تغییرات جهانی اقلیمی حاکی از افزایش دمای کره زمین حدود ۰/۷ درجه سانتی گراد از نیمه قرن نوزدهم اشاره نموده است. بر طبق گزارش منتشر شده این هیات در سال ۲۰۰۷، بیشترین افزایش مشاهده شده در دمای میانگین جهانی از نیمه ی قرن بیستم به احتمال زیاد به دلیل افزایش گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت های بشر می باشد (هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

گزارش این هیات بر اساس داده های دیدبانی شده در ۱۵۷ سال گذشته نشان می دهد که دما در سطح زمین به طور جهانی و با تغییرپذیری منطقه ای به طور معنی داری افزایش یافته است. برای متوسط جهانی، گرمایش در قرن گذشته (قرن بیستم) در دو مرحله اتفاق افتاده است، از دهه ی ۱۹۱۰ تا دهه ۱۹۴۰ به اندازه ۰/۳۵ درجه سانتی گراد، و افزایش بیشتر آن از دهه ی۱۹۷۰ تا اکنون به اندازه ۰/۵۵ درجه سانتی گراد (هیات بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). کلی ترین نتایج به دست آمده از این گرمایش عبارتند از: الف) تغییرات موسمی کم، ب) نوسانات زیاد در دمای روزانه و بارش و ج) افزایش آنتروپی سیستم که باعث افزایش فراوانی و مقادیر رویدادهای حدی می شود (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸).

بدون شک در دوره های آتی فعالیت های بشری افزایش یافته و به واسطه آن میزان انتشار گازهـای گلخانه ای نیز در جّو افزایش خواهد یافت. این افزایش باعث تشدید تغییرات در متغیرهای اقلیمی کره زمـین خواهد گردید. از طرف دیگر باید توجه داشت که حتی اگر انتشار تمامی گازهای گلخانه ای هم اکنون متوقف شود، بدلیل زمان ماندگاری بالای گازهای گلخانه ای که از قبل در جّو کره زمین انتشـار یافتـه انـد، بشـر در قرن ۲۱ با تغییر در متغیرهای اقلیمی روبـرو خواهـد شـد. بهرحـال تشـدید تغییـرات پارامترهـای اقلیمـی در دوره‌های آتی، می تواند تاثیرات منفی زیادی را بر سیستم های مختلف از جملـه منـابع آب، محـیط زیسـت،

1. Global Warming

صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم هایی که در کنش با سیستم اقلیم می باشند، بگذارد. تبعات منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می تواند مخرب باشد که در کنفرانس بین المللی اقتصاد در سال ۲۰۰۳، در بـین ۱۰ عامل تهدید آمیز بشر در قرن ۲۱ مانند فقر، سلاح های هسته ای، کمبود غذا و غیره، پدیده تغییـر اقلـیم مقام اول را به خود اختصاص داده است.

ردیابی پدیده تغییر اقلیم از طریق ردیابی تغییر عناصر اقلیمی قابل درک است که این امر طی مدت طولانی، از طریق ردیابی تغییر سطح میانگین عناصر اقلیمی انجام می شد، چرا که بسیاری اقلیم شناسان، میانگین (ماهانه و سالانه) متغیرهای جّوی را توصیفی از اقلیم می دانند. با این وصف میانگین، تمامی صفات اقلیمی را ارایه نمی‌دهد. از این رو ممکن است بی آن که میانگین اقلیمی تغییر یابد، جنبه هایی از ویژگی‌های اقلیم دگرگون گردد و یا تغییر بسیار کوچکی در میانگین، تغییرات قابل توجهی در برخی مشخصات اقلیمی دیگر را به دنبال داشته باشد (یان و همکاران، ۲۰۰۲). طی سالیان اخیر دانشمندان توجه خود را به ردیابی دگرگونی در مقادیر بسیار بزرگ یا بسیار کوچک عناصر اقلیمی معطوف داشته اند. زیرا این اعتقاد وجود دارد که تغییر پذیری متغیرهای اقلیمی از طریق ردیابی صفات پرشماری از جمله حدی ها (فرین ها)[1] قابل ردیابی است (عساکره، ۱۳۸۹). در واقع نتیجه گرمایش جهانی تغییر در متوسط متغیرها نیست، بلکه در مجموع افزایش رویدادهای حدی می باشد.

رویدادهای حّدی اقلیمی، پدیده هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب می باشند و از آنجایی که اکوسیستم ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده اند و در زمان رخداد این پدیده ها، به ندرت می توانند خود را تجهیز و آماده کنند. در نتیجه، تغییر در زمان وقوع رویدادهای حدی اغلب می تواند آثار چشمگیری بر اکوسیستم ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط متوسط جّوی داشته باشد (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶). رخداد بیشتر روزهای داغ و امواج گرمایی سبب افزایش مرگ و میر، افزایش برخی بیماری ها در افراد سالمند، به ویژه در مناطق فقیر نشین، افزایش تنش های گرمایی انسان و حیوانات اهلی، جابجایی مناطق گردشگری، صدمه به محصولات کشاورزی و ... می گردد. تاثیرات اجتماعی و زیست محیطی این رویدادهای حدی در مقیاس محلی زیاد بوده، می تواند بخش ها و مناطق

1. Extreme

خاصی را به طور گسترده ای تحت تاثیر قرار دهد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸). گزارش های IPCC نیز بر افزایش فراوانی و شدت رویدادهای حدی آب و هوایی تحت شرایط تغییر اقلیم تاکید کرده است، به طوری که افزایش گاز های گلخانه ای و گرمایش زمین به شکل افزایش شدت، فراوانی و سهم رویدادهای فرین تجلی یافته است. سومین گزارش ارزیابی هیات بین الدول تغییر اقلیم (۲۰۰۷) نشان می دهد که در بیشتر بخش های عرض های میانه و بالای نیمکره شمالی مقادیر مربوط به بارش های حدی (فرین)، بسامد بیشتری داشته است. گزارش IPCC تغییراتی را در رویدادهای حدی طی دهه های گذشته بر مبنای سری داده های اندازه گیری شده توسط ابزار گزارش کرده است. به عنوان مثال، سال ۲۰۱۰، گرم ترین سال (به همراه سال های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵) بوده است. در زمستان ۲۰۱۰–۲۰۰۹ دمای بسیار پایین در قسمت های اعظم نیمکره شمالی شامل اروپا، آسیا و آمریکای شمالی مشاهده گردید بطوریکه صدها رکورد دمای کمینه روزانه در ایالات متحده آمریکا شکسته شد. تابستان ۲۰۱۰ با رخداد بارش های حدی مخرب، به عنوان مرطوب ترین تابستان (در بین رکوردهای ثبت شده تا کنون) شناخته شد. در این سال، پاکستان مخرب ترین سیل را در تاریخ خود تجربه کرد. جّولای ۲۰۱۰ گرمترین ماه در میان رکوردهای ثبت شده در مسکو از زمان ثبت آمار هواشناسی مدرن بود. این رویدادها تنها مربوط به سال ۲۰۱۰ می باشد. سازمان هواشناسی جهانی اقدام به تهیه گزارش ویژه رویدادهای حدی طی دهه ۲۰۰۰ نموده است که در این گزارش به رویدادهای حدی دما و بارش روی داده در سراسر جهان طی سال های اخیر اشاره شده و آمار آنها نیز ارایه گردیده است. انتشار چنین ویژه نامه ها و خبرنامه هایی آن هم از طرف معتبرترین سازمان جهانی در عرصه هواشناسی، گواه جدی بودن و لزوم توجه خاص به این نوع رویدادها می باشد (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۱).

آب و کشاورزی از مهم ترین قسمت هایی هستند که متاثر از حوادث حدی بوده و تغییرات در رویدادهای حدی بر تعداد بسیاری زیادی از نیازهای بشر از جمله کمیت و کیفیت محصولات تولید شده، تاثیر بسزایی دارد. از آنجایی که معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های گردش عمومی جّو سه بعدی می‌باشند لذا اطمینان از قابلیت مدل های اقلیمی در شبیه سازی رویدادهای حدی آب وهوایی مانند بارش و دمای حدی، می تواند در ارایه دورنمایی از وضعیت آتی رویدادهای حدی و در امر برنامه