بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مرتع و آبخیزداری

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی:
مطالعه موردی حوضه قره‌سو، استان گلستان، ایران

پژوهش و نگارش

جهانتاب خسروانیان

استاد راهنما

دکتر مجید اونق

استاد مشاور

دکتر مسعود گودرزی

تابستان ۱۳۹۱

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **جهانتاب خسروانیان** دانشجوی رشته **آبخیزداری** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تقدیم به دو هدیه الهی

پدر و مادر مهربانم

حمد و سپاس خدای متعال که انسان را به زیور دانش آراست تا با اندیشیدن و تامل راه درست زیستن را بیاموزد. بر خود لازم می دانم از کلیه کسانی که در طول تهیه این پایان نامه از راهنمایی ها و مساعدت های ایشان بهره برده ام، مراتب سپاس قلبی و تشکر خالصانه خود را داشته باشم.

از استاد راهنمای ارجمند و فرهیخته ام جناب آقای دکتر مجید اونق که افتخار شاگردیشان را داشتم و در طول انجام این پژوهش از همفکریشان بهره برده و راهنمایی های ارزنده ای را در جهت تدوین این پژوهش ارائه نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از زحمات بی دریغ و تلاش های بی وقفه استاد گرامی جناب آقای دکتر مسعود گودرزی که در سمت استاد مشاور زحمات زیادی کشیدند و همواره با رویی گشاده پاسخگوی سوالات اینجانب بوده اند و در جهت به ثمر رساندن آن از هیچ تلاش و کوششی دریغ ننمودند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید گرامی و ارجمندم جناب آقای دکتر عبدالرضا بهره مند و دکتر واحد بردی شیخ که علاوه بر قبول زحمت بازخوانی و اصلاح این پایان نامه همکاری لازم را با اینجانب مبذول نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی سرکار خانم دکتر بهاره شعبان پور کمال سپاس را دارم.

همچنین از راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر بابائیان، دکتر سعدالدین، دکتر مقدم نیا، مهندس بای، مهندس مهدی زاده، مهندس زارعی، مهندس کردجزی و مهندس گودرزی کمال سپاس را دارم. از تمام دوستان و همکلاسی های عزیزم نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان صمیمانه سپاس خود را نثار پدر و مادرم می نمایم که همواره در دوران تحصیل مشوق و پشتیبانم بوده اند.

از پروردگار بزرگ برای همه این بزرگواران آرزوی توفیق و کامیابی بیشتر در تمامی مراحل زندگی را دارم.

چکیده

حوضه آبخیز یک سیستم باز و پیچیده به شمار می‌رود و بسیاری از تحلیل‌ها و پیش‌بینی رفتار آتی آن مستلزم مدل‌سازی با روش‌های متفاوت آماری- ریاضی است. محدودیت منابع آب و توزیع نامتجانس آن در مناطق مختلف ایران سبب شده است که در مقایسه با بسیاری از کشورها، نسبت به پدیده تغییر اقلیم آسیب‌پذیرتر باشد. در سال‌های اخیر با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هیئت بین الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی با فرضیات مختلف انتشار اجرا شده‌اند تا وضعیت اقلیمی دهه‌های آتی را پیش‌بینی کنند. داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده برای آینده را می‌توان به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی لحاظ کرده و نتایج آن را در برنامه‌های بلندمدت توسعه منابع آب منظور نمود. این تحقیق شامل دو فاز اقلیمی و هیدرولوژی است. در فاز اقلیمی، داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک گرگان در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ با استفاده از مدل آماری LARS-WG شبیه‌سازی شد وپس از اطمینان از کارآیی این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مذکور در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان، جهت بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم برروناب منطقه مورد مطالعه، داده‌های سه سناریوی A2 (سناریوی حداکثر)، A1B (سناریوی حد وسط) و B1 (سناریوی حداقل) مدل HadCM3 در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با مدل آماری LARS-WG کوچک مقیاس گردید. در فاز هیدرولوژیکی، بارش-رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHACRES شبیه‌سازی و پس از واسنجی (از ۱ ژانویه ۱۹۷۸ تا ۲۹ دسامبر ۱۹۷۹ با مقدار ضریب تعیین ۰/۶۶) و اعتبارسنجی این مدل (۳۰ دسامبر ۱۹۷۹ تا ۲۹ دسامبر ۱۹۸۰ با مقدار ضریب تعیین ۰/۶۵)، داده‌های دما و بارش خروجی مدل LARS-WG به مدل IHACRES وارد شده و تغییرات رواناب تبعی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین دمای حوضه آبخیز قره‌سو به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. هم‌چنین مقدار رواناب سه سناریو در دو دوره مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه ۲۹/۳۵ تا ۴۴/۸ درصد افزایش یافته که این افزایش رواناب در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بیش‌تر است. علاوه بر این تغییرات رواناب در تمام فصول سال به جز بهار روند افزایشی داشته و بیش‌ترین افزایش رواناب نیز به ترتیب در ماه دسامبر و سپس در ماه‌های نوامبر و ژانویه و بیش‌ترین کاهش نیز در ماه آوریل محاسبه شده است. بنابراین میانگین دما یا الگوی دمایی حوضه قره‌سو تحت تاثیر تغییر اقلیم در دو دوره آتی مذکور نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و میانگین بارندگی و رواناب حوضه قره‌سو در دو دوره آتی (به جز رواناب در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱) نسبت به دوره پایه تغییر معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۰ درصد نداشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب، ریزمقیاس‌نمائی، HadCM3، LARS-WG، مدل IHACRES، حوضه آبخیز قره‌سو

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات و مبانی نظری

۱-۱- شواهد تغییر اقلیم..... ۲

۱-۲- تعاریف تغییر اقلیم ۳

۱-۳- مفهوم تغییر اقلیم ۳

۱-٤- دلایل تغییر اقلیم ۵

۱-۵- اثرات مشاهده شده از تغییر اقلیم ٦

۱-٦- دلایل تحقیق در تغییر اقلیم ۷

۱-۷- بیان مسئله ۹

۱-۸- سوال‌های عمده تحقیق ۱۱

۱-۹- فرضیه ۱۱

۱-۱۰- اهداف ۱۱

۱-۱۱- معرفی منطقه مورد مطالعه ۱۱

۱-۱۱-۱- دما..... ۱۲

۱-۱۱-۲- بارندگی ۱۳

۱-۱۱-۳- آبدهی ۱۵

۱-۱۱-٤- شبکه رودخانه قره‌سو ۱٦

۱-۱۱-٤-۱- رودخانه کردکوی ۱۷

۱-۱۱-٤-۲- رودخانه شصت‌کلاته ۱۷

۱-۱۱-٤-۳- رودخانه زیارت ۱۷

۱-۱۱-٤-٤- رودخانه گرمابدشت ۱۸

۱-۱۱-۵- برف ۱۸

۱-۱۱-٦- باد ۱۸

۱-۱۱-۷- تبخیر و تعرق ۱۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۱۱-۸- یخبندان و نم نسبی ۱۹
۱-۱۲- معرفی عمومی فصول پایان‌نامه ۲۰

فصل دوم: مرور منابع

۲-۱- مقدمه ۲٤
۲-۲- داخل کشور ۲٤
۲-۳- خارج از کشور ۳۰
۲-٤- جمع‌بندی ۳۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه ۳۸
۳-۲- روش انجام تحقیق ۳۸
۳-۲-۱- مدل‌های GCM ۳۹
۳-۲-۲- سناریوهای اقلیمی و غیراقلیمی در دوره‌های آتی ٤۲
۳-۲-۲-۱- سناریوهای غیراقلیمی ٤۳
۳-۲-۲-۲- سناریوهای اقلیمی ٤٦
۳-۲-۳- ریزمقیاس‌نمائی ٤۷
۳-۲-۳-۱- ریزمقیاس‌نمائی تناسبی ٤۸
۳-۲-۳-۲- ریزمقیاس‌نمائی دینامیکی ٤۸
۳-۲-۳-۳- ریزمقیاس‌نمائی آماری ٤۹
۳-۲-۳-۳-۱- روش طبقه‌بندی هواشناسی ۵۰
۳-۲-۳-۳-۲- روش مولدهای هواشناسی ۵۰
۳-۲-۳-۳-۳- روش مدل‌های رگرسیونی ۵۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲-٤- معرفی مدل LARS-WG ۵۱
۳-۲-٤-۱- خلاصه‌ای از فرایندهای مدل LARS-WG5 ..... ۵۲
۳-۲-٤-۱-۱- کالیبره کردن مدل ۵۲
۳-۲-٤-۱-۲- صحت‌سنجی مدل ۵٦
۳-۲-٤-۱-۳- شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی ۵۸
۳-۲-۵- مدل‌های بارش-رواناب ۵۸
۳-۲-٦- معرفی مدل IHACRES ۵۹
۳-۲-٦-۱- مدول غیرخطی کاهش ٦۰
۳-۲-٦-۲- مدول خطی هیدروگراف واحد ٦۱
۳-۲-۷- تحلیل ورودی‌های مدل IHACRES ٦٤
۳-۲-۷-۱- تحلیل داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب ٦٦
۳-۲-۸- واسنجی و اعتبارسنجی مدل IHACRES ٦۷
۳-۲-۸-۱- معیارهای ارزیابی مدل IHACRES ٦۷
۳-۳- جمع‌بندی ٦۸

فصل چهارم: نتایج

٤-۱- مقدمه ۷۰
٤-۲- مراحل اجرای مدل آماری LARS-WG5 ..... ۷۰
٤-۳- واسنجی و ارزیابی مدل آماری LARS-WG5 ..... ۷۱
٤-٤- ارزیابی عملکرد مدل آماری LARS-WG5 ..... ۷۷
٤-۵- نتایج شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی ۸۰
٤-۵-۱- میانگین دمای حداقل ۸۲
٤-۵-۲- میانگین دمای حداکثر ۸٤

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-٥-٣- میانگین بارش ٨٦
٤-٥-٤- میانگین ساعت آفتابی ٨٨
٤-٦- مراحل اجرای مدل IHACRES..... ٩٠
٤-٧- واسنجی مدل IHACRES..... ٩٢
٤-٨- اعتبارسنجی مدل IHACRES..... ٩٥
٤-٩- تغییرات رواناب ٩٨
٤-١٠- جمع‌بندی..... ١٠١

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

٥-١- مقدمه..... ١٠٤
٥-٢- تغییر اقلیم..... ١٠٤
٥-٣- مدل‌های GCM و ریزمقیاس‌نمائی آن‌ها ١٠٤
٥-٤- عدم قطعیت‌های حاکم بر تحقیق..... ١٠٥
٥-٥- مدل HadCM3 و روش ریزمقیاس‌نمائی مورد استفاده ١٠٦
٥-٦- مدل بارش-رواناب IHACRES..... ١٠٨
٥-٧- تغییرات رواناب ١١٠
٥-٨- آزمون فرضیات تحقیق ١١٠
٥-٩- نتیجه‌گیری کلی ١١١
٥-١٠- پیشنهادات پژوهشی..... ١١٢
٥-١١- پیشنهادات اجرایی..... ١١٣
فهرست منابع..... ١١٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نقشه موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان و ایران.....۱۲
شکل ۱-۲- تغییرات ماهانه پارامترهای حالات دما در ایستگاه سینوپتیک گرگان (دوره آماری ٥٤ سال) ۱۳
شکل ۱-۳- نمودار تغییرات بارندگی سالانه و میانگین متحرک ۳ ساله آن در ایستگاه باران‌سنجی سیاه‌آب ۱۵
شکل ۱-٤- نمودار میانگین متحرک ۳ ساله آبدهی در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب ۱٦
شکل ۱-٥- تغییرات ماهانه رطوبت نسبی در ایستگاه سینوپتیک گرگان (دوره آماری ٤۱ سال) ۲۰
شکل ۳-۱- نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق ۳۹
شکل ۳-۲- شمای کلی شبکه‌بندی سه بعدی مدل‌های GCM ٤۱
شکل ۳-۳- وضعیت چهار خانواده سناریوی SRES ٤۳
شکل ۳-٤- نمودار شماتیک سناریوهای SRES به همراه ٤۰ سناریوی زیر مجموعه آن‌ها ٤٥
شکل ۳-٥- ساده‌ترین شمای ریزمقیاس گردانی ٤۹
شکل ۳-٦- موقعیت ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان در آبخیز قره‌سو ٥٤
شکل ۳-۷- فایل متنی شامل ارتفاع و موقعیت مکانی ایستگاه گرگان و مسیر داده‌های دیدبانی شده ٥٥
شکل ۳-۸- فایل متنی شامل داده‌های دیدبانی شده دمای حداقل، حداکثر، بارش و ساعات آفتابی٥٦
شکل ۳-۹- چگونگی شبیه‌سازی بارش-رواناب مدل IHACRES همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی ٦۰
شکل ۳-۱۰- هیدروگراف حاصل از بارندگی موثر واحد ٦۲
شکل ۳-۱۱- نقشه موقعیت ۱۱ ایستگاه بارانسنجی منتخب ٦٥
شکل ٤-۱- نمودار میانگین بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ .....۷٤

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٢- نمودار میانگین ساعت آفتابی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.....۷۵

شکل ٤-۳ نمودار میانگین حداکثر دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.....۷٦

شکل ٤-٤- نمودار میانگین حداقل دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.....۷۷

شکل ٤-٥- نمودار پراکنش بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ .....۷۸

شکل ٤-٦- نمودار پراکنش حداقل دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ .....۷۹

شکل ٤-۷- نمودار پراکنش حداکثر دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.....۷۹

شکل ٤-۸- نمودار پراکنش ساعت آفتابی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.....۸۰

شکل ٤-۹- نمودار تغییرات میانگین ماهانه دمای حداقل شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰.....۸٤

شکل ٤-۱۰- نمودار تغییرات میانگین ماهانه دمای حداکثر شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰.....۸٦

شکل ٤-۱۱- نمودار تغییرات ماهانه بارش شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ .....۸۸

شکل ٤-۱۲- نمودار تغییرات میانگین ساعت آفتابی شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ .....۹۰

شکل ٤-۱۳- نمودار دوره مشترک آماری ایستگاه‌های بارانسنجی حوضه قره‌سو.....۹۱

شکل ٤-۱٤- نمودار میزان تاخیر بین بارش و رواناب حوضه آبخیز قره‌سو ۹۲

شکل ٤-۱٥- نمودار مقدار بارش روزانه مشاهداتی در دوره کالیبراسیون ۹۲

شکل ٤-۱٦- نمودارهای دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره کالیبراسیون.....۹۳

شکل ٤-۱۷- نمودار خطای مدل‌سازی رواناب در دوره کالیبراسیون ۹۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-١٨- نمودار میزان بارش موثر در ایجاد جریان در دوره کالیبراسیون ٩٤
شکل ٤-١٩- نمودار پراکنش دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی ٩٥
شکل ٤-٢٠- نمودار مقدار بارش روزانه مشاهداتی در سال ١٩٨٠ .....٩٦
شکل ٤-٢١- نمودارهای دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی ٩٦
شکل ٤-٢٢- نمودار خطای دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی.....٩٧
شکل ٤-٢٣- میزان بارش موثر در ایجاد جریان در دوره اعتبارسنجی ٩٧
شکل ٤-٢٤- نمودار پراکنش دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی ٩٨
شکل ٤-٢٥- نمودار مقایسه تغییرات ماهانه رواناب حوضه قره‌سو در دوره ٢٠٣٠-٢٠١١.....١٠٠
شکل ٤-٢٦- نمودار تغییرات ماهانه رواناب حوضه قره‌سو در دوره ٢٠٩٩-٢٠٨٠.....١٠١

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- پارامترهای آماری آبدهی سالانه در ایستگاه هیدرومتری سیاه‌آب (دوره آماری ۳٤ ساله) ١٦
جدول۳-۱- تعدادی از مدل‌های چرخش عمومی و مشخصات آن‌ها ٤١
جدول ۳-۲- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3.....٤٢
جدول ۳-۳- خلاصه‌ای از برآوردهای سناریوهای اقلیمی در سال ۲۱۰۰ .....٤٦
جدول ۳-٤- مشخصات ایستگاه سینوپتیک گرگان ٥۴
جدول ۳-٥- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده جهت محاسبه میانگین بارش حوضه قره‌سو ...٦٦
جدول ٤-۱- فایل متنی در برگیرنده توزیع تجربی سری‌های تر و خشک حوضه قره‌سو ۷۰
جدول ٤-۲- فایل متنی شامل خصوصیات آماری پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو ۷۱
جدول ٤-۳- مقادیر نرمال ماهانه بارش حوضه قره‌سو در دوره ۱۹۹۹- ۱۹۷۰ (میلی‌متر) ۷۲
جدول ٤-٤- مقادیر نرمال ماهانه دمای حداقل حوضه قره‌سو در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ (درجه سلسیوس) ۷۲
جدول ٤-٥- مقادیر نرمال ماهانه دمای حداکثر حوضه قره‌سو در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ (درجه سلسیوس) ۷۳
جدول ٤-٦- مقادیر نرمال ماهانه ساعات آفتابی حوضه قره‌سو در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ (ساعت)....۷۳
جدول ٤-۷- مقادیر پارامترهای آماری متغیرهای هواشناسی حوضه قره‌سو در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰.۷۸
جدول ٤-۸- مقادیر داده های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو A1B در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ .....۸۱
جدول ٤-۹- مقادیر داده های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو B1 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ .....۸۲
جدول ٤-۱۰- مقادیر دمای حداقل شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره۲۰۳۰-۲۰۱۱ (درجه سلسیوس).....۸۳
جدول ٤-۱۱- مقادیر دمای حداقل شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (درجه سلسیوس) ۸۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١٢- مقادیر دمای حداکثر شبیه‌سازی مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (درجه سلسیوس) ۸۵
جدول ٤-١٣- دمای حداکثر شبیه‌سازی مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره۲۰۹۹-۲۰۸۰ (درجه سلسیوس) ۸۵
جدول ٤-١٤- بارش شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (میلیمتر) ۸۷
جدول ٤-١٥- بارش شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (میلیمتر) ۸۷
جدول ٤-١٦- ساعت آفتابی شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (ساعت) ۸۹
جدول ٤-١٧- ساعت آفتابی شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG5 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (ساعت) ۸۹
جدول ٤-١٨- نتایج واسنجی مدل IHACRES در دوره ۷۹-۱۹۷۸ ..... ۹٤
جدول ٤-١٩- مقادیر بهینه پارامترهای مدل در مرحله واسنجی ۹٤
جدول٤-٢٠- نتایج اعتبارسنجی مدل IHACRES در سال ۱۹۸۰ ..... ۹۸
جدول ٤-٢١- مقادیر دبی مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۹۹-۱۹۷۰) و دبی شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (میلیون‌لیتر در روز) ۹۹
جدول ٤-٢٢- مقادیر دبی مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۹۹-۱۹۷۰) و دبی شبیه‌سازی شده حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (میلیون‌لیتر در روز) ۹۹

فصل اول

کلیات و مبانی نظری

۱- کلیات و مبانی نظری

۱-۱- شواهد تغییر اقلیم

شواهد نشان‌دهنده آن است که گرمایش زمین به طور گسترده‌ای اتفاق افتاده است. در حال حاضر متوسط جهانی دمای اقیانوس و هوا افزایش یافته است و ذوب گسترده برف و یخ سبب بالا آمدن متوسط سطح دریا شده است. متوسط دمای جهان در سال‌های ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵، ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. روند خطی گرمایش بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۵۶ ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد بوده که نسبت به سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۰۶در هر دهه تقریبا دو برابر است. افزایش دما در سراسر جهان گسترده است و این فرایند در عرض‌های شمالی بالاتر وسیع‌تر است، نرخ متوسط دمای قطب شمال در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۰۶ تقریبا دو برابر متوسط جهانی افزایش یافته است. هم‌چنین مناطق خشکی نسبت به اقیانوس‌ها گرم‌تر شده‌اند. مشاهدات سال ۱۹۶۱ نشان داده که متوسط دمای اقیانوس‌ها حداقل تا عمق ۳۰۰۰ متر افزایش یافته است و متوسط دمای اقیانوس‌ها بیش از ۸۰ درصد نسبت به گرمای اضافه شده به سیستم آب و هوایی، گرم‌تر شده‌اند. متوسط جهانی تراز سطح دریا بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱ به طور متوسط در هر سال ۱/۸ میلی‌متر افزایش یافته و به طور متوسط حدود ۳/۱ میلی‌متر در هر سال بین سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۳، که این افزایش سطح دریا با گرم شدن کره زمین سازگار است.

هم‌چنین در مقیاس قاره‌ای، منطقه‌ای و اقیانوسی، تغییرات درازمدت متفاوتی در جنبه‌های دیگری از اقلیم اتفاق افتاده است. در بسیاری از مناطق بزرگ، بارش در دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۰۰ (در قسمت‌های شرقی آمریکای شمالی و جنوبی، شمال اروپا و قسمت‌های شمالی و مرکزی آسیا) افزایش قابل توجهی داشته است در حالی‌که در ساحل مدیترانه، جنوب آفریقا و بخش‌هایی از جنوب آسیا بارندگی کاهش یافته است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

به منظور بررسی دقیق‌تر پدیده تغییر اقلیم و طرح آثار زیان‌بار و مخرب آن برای نسل کنونی و نسل‌های آتی، در سال ۱۹۸۸ موسسه‌ای با نام هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC [1]) با همکاری سازمان جهانی هواشناسی WMO [2] و برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد UNEP [3] تشکیل شد.

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2- World Metrological Organization (WMO)
3- United Nation Environmental Program (UNEP)

هدف اصلی IPCC از بدو تاسیس، شناخت تمام جنبه‌های تغییر اقلیم و خصوصا بررسی چگونگی تاثیر فعالیت‌های انسانی بر آن بوده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱ الف). و وظیفه اصلی IPCC تحقیق و بررسی در رابطه با مقوله‌های علمی و فنی و خطرات بالقوه تغییرات آب و هوا و هم‌چنین اثرات آن در سطح جهان و تعیین سیاست‌های مقابله با آن می‌باشد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). سه گروه کاری توسط IPCC ایجاد شد. گروه کاری اول به مطالعه ارزیابی اطلاعات علمی، اقتصادی-اجتماعی و فنی برای درک پدیده تغییر اقلیم می‌پردازد، گروه کاری دوم تاثیرات بالقوه پدیده تغییر اقلیم، تطبیق با این پدیده و آسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف تحت آن را بررسی و ارزیابی می‌کند و گروه کاری سوم کاهش اثرات ناشی از این پدیده را مورد بررسی قرار می‌دهد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

۱-۲- تعاریف تغییر اقلیم

تعریف IPCC از تغییر اقلیم: هر گونه تغییر قابل تشخیص (به عنوان مثال با استفاده از آزمون‌های آماری تغییر در میانگین و یا سایر خصوصیات) در آب و هوا در طول زمان که طبیعی بوده و یا بر اثر فعالیت‌های انسانی حاصل شود و هم‌چنین برای دوره طولانی(ده‌ها سال یا بیش‌تر) ادامه دارد.

تعریف تغییر اقلیم از نظرUNFCCC[1]: تغییری که خصوصیات اقلیم به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر فعالیت‌های انسان بر روی تغییر ترکیب اتمسفر جهانی صورت گیرد.

۱-۳- مفهوم تغییر اقلیم

اقلیم کره‌زمین متشکل از چهار جزء شامل اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر می‌باشد که در ادامه به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

- اتمسفر در برگیرنده‌ی هوای اطراف کره زمین می‌باشد که از گازهای مختلفی پر شده است. در میان این گازها، گازهای گلخانه‌ای و در رأس آن‌ها گاز CO_2 تاثیر عمده‌ای بر دمای اتمسفر دارد. به گونه‌ای که عبور نور خورشید با طول موج کوتاه از این گازها و رسیدن آن‌ها به سطح زمین باعث گرم شدن سطح زمین و ساطع شدن امواج مادون قرمز که دارای طول موج بلند است می‌شود که به این

1- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC)

گازها برخورد نموده و دوباره به سطح زمین منعکس می‌شود. این عمل باعث بالا رفتن درجه حرارت اتمسفر خواهد شد.

– کریوسفر در برگیرنده یخ‌های موجود در کره زمین می‌باشد که نقش مهمی را در پدیده آلبیدو یعنی انعکاس امواج رسیده به سطح زمین دارد.

– بیوسفر که نقش مهمی را در میزان انرژی سیستم اقلیمی دارد، به عنوان یکی از منابع اصلی تولید و مصرف گاز CO_2 به شمار می‌رود.

– هیدروسفر هم در برگیرنده دریاها، دریاچه‌ها، رودها و اقیانوس‌ها می‌باشد که در میزان جذب CO_2 نقش مهمی دارد.

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزا مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تاثیراتی را بر اجزا دیگر بگذارد. هر گونه تغییر در اقلیم را می‌توان ابتدا به علل طبیعی و در دوران اخیر علل انسانی تقسیم نمود. علل طبیعی اقلیم نیز به دو بخش عوامل داخلی ناشی از کنش‌های متقابل بین اجزا سیستم اقلیم و عوامل طبیعی خارجی ناشی از تابش خورشیدی، فعالیت‌های آتشفشانی و افزایش غیرطبیعی گازهای گلخانه‌ای قابل تقسیم می‌باشند. عوامل خارجی عموما چرخه‌ای هستند و شامل تغییرات در مدار خورشید در داخل کهکشان راه شیری، عبور ستاره‌های دنباله‌دار، تغییرات در خروجی خورشید (تئوری سیمپسون[1])، تغییرات در پارامترهای مداری (فرضیه میلانکویچ) می‌شوند. عوامل داخلی به طور کلی به دو طریق سبب تغییر اقلیم می‌شوند. این عوامل یا از طریق ترکیب جو و یا از طریق تغییر پوشش سطحی زمین، زمینه‌های تغییر در موازنه گرمایی و در نتیجه تغییر اقلیم را به وجود می‌آورد. عوامل طبیعی داخلی بیش‌تر منشأ زمین‌شناسی دارند و شامل رانش قاره‌ها، کوه‌زایی‌ها، فعالیت آتشفشانی و تغییر در مغناطیس زمین می‌شوند (عزیزی، ۱۳۸۳).

به تغییرات ایجاد شده به واسطه عامل اول، نوسانات درونی اقلیم و به واسطه عامل دوم، نوسانات خارجی اقلیم گفته شده و به مجموعه این تغییرات، نوسانات طبیعی اقلیمی گفته می‌شود (مساح بوانی، ۱۳۸۵). از بین این عوامل ذکر شده، تنها افزایش گازهای گلخانه‌ای است که به صورت غیرطبیعی بر اقلیم کره زمین تاثیر می‌گذارد.

1- Simpson Theory

بین تغییر اقلیم[1] و نوسانات اقلیمی[2] از نظر علمی تفاوت وجود دارد. واژه نوسانات اقلیمی به تغییرات آب و هوایی حول مقدار متوسط اطلاق می‌شود. این تغییرات که نسبتا کوتاه‌مدت و موضعی می‌باشد نمایانگر روند گرمایش یا سرمایش نبوده، از سالی به سال دیگر متفاوتند. به عبارتی دیگر شامل بحران‌ها و تفاوت‌های مقادیر ماهانه و سالانه از مقدار انتظاری (میانگین زمانی) اقلیم می‌باشد. خشک‌سالی ناشی از نوسانات اقلیمی می‌باشد، این تفاوت‌ها معمولا آنومالی نامیده می‌شوند. تغییر اقلیم یک پدیده اتمسفری-اقیانوسی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده که باعث گرم شدن زمین و تغییر رفتارهای هیدرولوژیکی برخی مناطق جهان می‌گردد (منتظری و فهمی، ۱۳۸۲).

۱-۴- دلایل تغییر اقلیم

از سال ۱۷۵۰ غلظت گازهای گلخانه‌ای CH4، CO2 و N2O به دلیل فعالیت‌های انسانی به طور قابل توجهی افزایش یافته و در حال حاضر میزان افزایش آن‌ها نسبت به قبل از انقلاب صنعتی بیش‌تر است. افزایش جهانی در غلظت CO2 در درجه اول به علت استفاده از سوخت‌های فسیلی است. افزایش مشاهده شده در غلظت CH4 با توجه به فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از سوخت‌های فسیلی است و افزایش در غلظت N2O در درجه اول به دلیل فعالیت‌های کشاورزی است که از این بین CO2 مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای است که توسط فعالیت‌های انسان تولید می‌شود و به دلیل خواص تابشی متفاوت تأثیر آن روی گرم شدن جهانی با بقیه گازهای گلخانه‌ای متفاوت است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

مصرف انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهایی مانند دی اکسید کربن (CO_2) در جو شده است که پدیده تغییر آب و هوا یکی از تبعات آن است. مصرف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی و تولید بیش از حد گازهای گلخانه‌ای توازن انرژی زمین را به‌هم می‌زنند. ادامه روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی در چند دهه‌آینده، تغییر کاربری زمین، گسترش فعالیت‌های کشاورزی، دامداری و افزایش ضایعات جامد و مایع پدیده‌ی گلخانه‌ای را در جو زمین تشدید خواهد کرد. مدل‌های جوی پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۱۰۰، دمای کره‌ی زمین از ۱ تا ۵/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که این مقدار بیش از تغییرات دمایی ۱۰۰۰۰ سال گذشته خواهد بود.

1- Climate Change
2- Climate variability