

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و  
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه رازی است



دانشگاه رازی

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

گروه جغرافیا

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی جغرافیای طبیعی  
گرایش اقلیم شناسی

تحت عنوان:

ریزگردانی آماری متغیرهای دما و بارش – مطالعه موردی شهر همدان

استادان راهنما:

دکتر غلامرضا براتی

دکتر علیرضا مساح بوانی

نگارش:

احمد هراتیان عرب

مهر ۱۳۸۸

## سپاسگزاری

خداوند بزرگ را بسیار سپاس می گویم که مرا در جهت کسب علم و معرفت و انجام این پژوهش یاری رساند. بی شک کسب این موفقیت را مرهون توجهات حضرت باری تعالی و تلاش های استادان ارزشمند و گرانقدر گروه جغرافیای دانشگاه رازی هستم.

بر خود لازم می دانم که از جناب آقای دکتر براتی و جناب آقای دکتر مساح بوانی استادان گرامی که در انجام این پایان نامه از هیچ کوششی دریغ نکردند. سپاس و تشکر صمیمانه خود را ابراز می دارم. بی شک بدون حمایت های ایشان اتمام این کار میسر نبود.

از اساتید گرانقدر اقلیم شناسی گروه جغرافیای دانشگاه رازی جناب آقای دکتر ذوالفقاری، مدیر گروه محترم جغرافیا و جناب آقای دکتر مجرد که در تمام مراحل مختلف تحصیل، تلاش ها و زحمات مضاعفی را تقبل نمودند سپاسگزارم.

فرصت را غنیمت شمرده مراتب تشکر خود را از دوست خوبم جناب دکتر اسدالله خورانی که نخستین ایده این موضوع را در من ایجاد نمودند ابراز می دارم. هم چنین از مهندس روح الله احمدی به خاطر در اختیار گذاشتن منابع مورد نیاز کمال تشکر را دارم.

تقدیر و تشکر از زحمات و تلاش های آقای خزایی و فرجی کارشناسان محترم گروه جغرافیا و آقای یزدانی کارشناس تحصیلات تکمیلی دانشگاه رازی .

تقدیم به:

پدر و مادر فداکارم،

همسر مهربانم،

پسر کوچولویم علی پارسا،

و تمامی عزیزانی که

وجودشان مشوق و یاریگر من در انجام این تحقیق بود.

## چکیده

با آشکار شدن اثر افزایش غلظت گاز های گلخانه ای جو در تغییر اقلیم، مدل های جهانی اقلیم (GCM) برای بر آورد میزان این تغییرات در آینده گسترش یافتند قدرت تفکیک پایین این مدل ها، کاربرد آنها را در ارزیابی تغییر اقلیمی نواحی کوچک مقیاس محدود کرده است. اکثر این مدل ها دارای قدرت تفکیک بین ۲ الی ۴ درجه در طول و عرض جغرافیایی (۲۰۰ الی ۴۰۰ کیلومتر) هستند لذا جهت استفاده از این داده ها برای مقیاس های کوچکتر لازم شد تا تکنیک های مختلف ریزگردان (downscaling) در سطوح ایستگاهی اجرا شوند.

در این تحقیق روش ریزگردانی آماری مبتنی بر وایازی، برای مدل کردن بارندگی و دمای روزانه شهر همدان به عنوان یکی از شهر های پرجمعیت و استراتژیک غرب ایران که از دیر باز دارای مشکلات تامین آب در بخش آشامیدنی و کشاورزی بوده است؛ محاسبات ریزگردانی آماری با استفاده از مدل SDSM انجام گرفت و برای تنظیم مدل از داده های NCEP و برای تولید سناریوی اقلیمی در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 استفاده شد.

نتایج در مجموع نشان دهنده قابلیت بالای روش SDSM در مدل کردن میانگین درجه حرارت و دشواری مدل کردن بارندگی است. از طرف دیگر نتایج نشان داد که میانگین درجه حرارت و میزان بارندگی همدان در دوره آتی روند افزایشی خواهد داشت. به طوری که در این دوره بارندگی به میزان ۲۵/۹ درصد و درجه حرارت به میزان ۲/۸۸ درجه سانتی گراد افزایش خواهد داشت.

کلید واژه ها: ریزگردانی آماری، SDSM، دما، بارش، همدان

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سرآغاز.....	۱
۱-۱-دیباچه .....	۲
۲-۱-اهداف پژوهش.....	۵
۳-۱-پیشینه پژوهش.....	۵
۱-۳-۱-پیشینه مطالعات لاتین.....	۵
۲-۳-۱-پیشینه مطالعات درایران.....	۷
<b>فصل دوم: بنیاد ها و سرزمین پژوهش.....</b>	<b>۱۰</b>
۱-۲-۱-مبانی نظری.....	۱۱
۱-۲-۱-تغییر اقلیم.....	۱۱
۲-۱-۲-گرمايش جهانی.....	۱۲
۳-۱-۲-انواع سناریو های.....	۱۴
۱-۳-۱-۲-سناریوهای غیر آب و هوایی(سناریو های اقتصادی – اجتماعی).....	۱۴
۲-۳-۱-۲-سناریو های آب و هوایی.....	۱۶
۳-۳-۱-۲-سناریو های آب و هوایی ترکیبی.....	۱۷
۴-۳-۱-۲-سناریو های آب و هوایی مشابه (قیاسی).....	۱۷
۵-۳-۱-۲-سناریو های آب و هوایی مدل های AOGCM.....	۱۸
۲-۲-ریزگردانی.....	۲۰
۱-۲-۲-ریزگردانی دینامیک.....	۲۱
۲-۲-۲-ریزگردانی آماری.....	۲۱





۷۱	۳-۱-۲-۴- بررسی فراوانی داده‌های مشاهداتی و مدل شده دما.....
۷۲	۲-۲-۴- بارش.....
۷۳	۱-۲-۲-۴- بررسی شاخص‌های آماری داده‌های مشاهداتی و مدل شده بارش.....
۷۶	۲-۲-۲-۴- بررسی سری زمانی داده‌های مشاهداتی و مدل شده بارندگی.....
۷۸	۳-۲-۲-۴- بررسی فراوانی داده‌های مشاهداتی و مدل شده بارش.....
۷۹	۳-۴- تغییرات آب و هوایی.....
۷۹	۱-۳-۴- بررسی تغییرات شاخص‌های آماری دما.....
۸۲	۲-۳-۴- بررسی تغییرات سری‌های زمانی دما.....
۸۳	۳-۳-۴- بررسی تغییرات شاخص‌های آماری بارش.....
۸۷	۴-۳-۴- بررسی تغییرات سری‌های زمانی بارش.....
۸۰	فصل پنجم: جمع بندی.....
۸۰	۱-۱- نتایج.....
۸۲	۲-۲- آزمون فرضیات.....
۸۳	۱-۲-۵- آزمون فرضیه اول.....
۸۳	۲-۲-۵- آزمون فرضیه دوم.....
۸۳	۳-۲-۵- آزمون فرضیه سوم.....
۸۳	۴-۲-۵- آزمون فرضیه چهارم.....
۸۳	۳-۵- تنگناهای پژوهش.....
۸۴	۴-۵- پیشنهادهای پژوهش.....
۸۵	منابع و ماخذ.....

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱- نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱.....
۴	شکل ۲-۱- نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما.....
۱۱	شکل ۱-۲- نحوه عملکرد گازهای گلخانه‌ای در گرمایش زمین.....
۱۳	شکل ۲-۲- نمودار غلظت ۳ گاز گلخانه‌ای طی ۱۰۰۰ سال اخیر.....
۱۴	شکل ۳-۲- فلوجارت داده‌های مورد استفاده در تغییر اقلیم.....
۱۶	شکل ۴-۲- وضعیت ۴ گروه سناریوهای SRES به شکل شماتیک.....
۲۰	شکل ۵-۲- شماتیک نحوه عملکرد ریزگردانی.....
۲۸	شکل ۶-۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه انتخابی در کشور.....
۲۸	شکل ۷-۲- نقشه پراکنندگی ناهموازی‌های استان همدان.....
۲۹	شکل ۸-۲- میانگین دمای ماهانه در ایستگاه نوژه همدان در دوره زمانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱).....
۲۹	شکل ۹-۲- میانگین دمای سالانه در ایستگاه نوژه همدان در دوره زمانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱).....
۳۰	شکل ۱۰-۲- بارش ماهانه ایستگاه نوژه همدان در دوره زمانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱).....
۳۱	شکل ۱۱-۲- بارش سالانه ایستگاه نوژه همدان در دوره زمانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱).....
۳۷	شکل ۱-۳- صفحه فهرست اصلی SDSM ۲-۴.....
۳۸	شکل ۲-۳- فلوجارت مراحل مختلف انجام ریزگردانی آماری SDSM.....
۴۰	شکل ۳-۳- صفحه تنظیمات Settings.....
۴۱	شکل ۴-۳- صفحه تنظیمات Advanced Settings.....
۴۲	شکل ۵-۳- صفحه کنترل کیفیت داده‌ها.....
۴۳	شکل ۶-۳- صفحه نتایج کنترل کیفیت داده‌های دمایی ایستگاه نوژه همدان در (۱۹۹۰-۱۹۶۱).....
۴۳	شکل ۷-۳- صفحه تغییر شکل داده‌ها.....
۴۴	شکل ۸-۳- صفحه انتخاب متغیرهای غالب.....

- شکل ۳-۹- صفحه نتایج آنالیز فصلی داده های دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۴۵
- شکل ۳-۱۰- صفحه نتایج همبستگی بخشی داده های دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۴۶
- شکل ۳-۱۱- صفحه تنظیم مدل..... ۴۷
- شکل ۳-۱۲- نتایج صفحه تنظیم مدل داده های دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۴۸
- شکل ۳-۱۳- نتایج تولید شده فایل PAR صفحه تنظیم مدل در داده های دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۴۸
- شکل ۳-۱۴- صفحه تولید داده های ساختگی..... ۴۹
- شکل ۳-۱۵- صفحه خلاصه آماری..... ۵۰
- شکل ۳-۱۶- نتایج شاخص های آماری داده های میانگین دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۱
- شکل ۳-۱۷- صفحه آنالیز فراوانی داده ها..... ۵۲
- شکل ۳-۱۸- نمودار چندک-چندک داده های میانگین دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۳
- شکل ۳-۱۹- نمودار تابع چگالی احتمالات PDF داده های میانگین دمایی ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۳
- شکل ۳-۲۰- نمودار دوره بازگشت حداکثر تعمیم یافته داده های مشاهداتی و ریزگردانی دما در ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۹۰-۱۹۶۱)..... ۵۵
- شکل ۳-۲۱- نمودار دوره بازگشت تابع نمایی داده های مشاهداتی و ریزگردانی دما در ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۶
- شکل ۳-۲۲- نمودار دوره بازگشت گامبل داده های مشاهداتی و ریزگردانی دما در ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۷
- شکل ۳-۲۳- نمودار دوره بازگشت تجربی داده های مشاهداتی و ریزگردانی دما در ایستگاه نوزه همدان در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۵۷
- شکل ۳-۲۴- صفحه سناریو سازی مدل..... ۵۸
- شکل ۳-۲۵- صفحه مقایسه نتایج به صورت ماهانه..... ۵۹
- شکل ۳-۲۶- فراوانی میانگین دمایی ماهانه ایستگاه نوزه همدان در دوره مشاهداتی و تنظیم مدل در (۱۹۶۱-۱۹۹۰)..... ۶۰
- شکل ۳-۲۷- صفحه مقایسه نتایج سری های زمانی..... ۶۰
- شکل ۴-۱- متوسط دراز مدت ماهانه میانگین درجه حرارت در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۴
- شکل ۴-۲- متوسط دراز مدت ماهانه بیشینه درجه حرارت در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۵

## صفحه

## عنوان

- شکل ۴-۳- پراش میانگین درجه حرارت ماهانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۵
- شکل ۴-۴- صدک نودم درجه حرارت روزانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۶
- شکل ۴-۵- تعداد روزهایی که میانگین درجه حرارت روزانه بالای  $1^{\circ}\text{C}$  در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۶
- شکل ۴-۶- تعداد روزهایی که میانگین درجه حرارت روزانه بالای  $25^{\circ}\text{C}$  در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۷
- شکل ۴-۷- تعداد روزهایی که میانگین درجه حرارت روزانه آنها زیر صفر درجه سانتیگراد مدل..... ۶۷
- شکل ۴-۸- میانگین دمای سالانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۸
- شکل ۴-۹- میانگین بیشینه دمای سالانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۹
- شکل ۴-۱۰- صدک نودم میانگین درجه حرارت سالانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱- میانگین تعداد روزهای داغ (بالای  $25^{\circ}\text{C}$ ) در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۰
- شکل ۴-۱۲- میانگین تعداد روزهای بالای  $1^{\circ}\text{C}$  در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۰
- شکل ۴-۱۳- نمودار چندک-چندک (Q-Q) میانگین دمای سالانه در دوره های تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۱
- شکل ۴-۱۴- نمودار تابع چگالی احتمال در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۱
- شکل ۴-۱۵- نمودار دوره بازگشت دمای سالانه بر اساس توزیع گامبل در دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۲
- شکل ۴-۱۶- شدت بارندگی روزانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۳
- شکل ۴-۱۷- پراش شدت بارندگی روزانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۴
- شکل ۴-۱۸- درصد روزهای بارانی در ایستگاه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۴
- شکل ۴-۱۹- میانگین طول دوره خشکی در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۵
- شکل ۴-۲۰- میانگین طول دوره مرطوب در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۵
- شکل ۴-۲۱- سری زمانی بارش سالانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۶
- شکل ۴-۲۲- میانگین طول دوره های خشکی در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۶
- شکل ۴-۲۳- انحراف معیار میانگین سالانه بارندگی روزانه در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۷
- شکل ۴-۲۴- میانگین سالانه طول دوره های مرطوب در دو دوره تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۷

- شکل ۴-۲۵- نمودار چندک-چندک بارش سالانه در دوره‌های تنظیم و ارزیابی مدل..... ۷۸
- شکل ۴-۲۶- مقادیر بارش بر اساس دوره بازگشت‌های حاصل از توزیع سوم گامبل مدل..... ۷۹
- شکل ۴-۲۷- میانگین دما در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۰
- شکل ۴-۲۸- پراش میانگین دما در وره مشاهداتی و آتی..... ۸۰
- شکل ۴-۲۹- تعداد روزهای داغ (بالای  $25^{\circ}C$ ) در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۱
- شکل ۴-۳۰- تعداد روزهای یخبندان در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۲
- شکل ۴-۳۱- میانگین دمای سالانه در دو دوره مشاهداتی و سناریوسازی..... ۸۳
- شکل ۴-۳۲- میانگین تعداد روزهای داغ سالانه (بالای  $25^{\circ}C$ ) در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۳
- شکل ۴-۳۳- میانگین شدت بارش روانه در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۴
- شکل ۴-۳۴- پراش شدت بارش روزانه در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۴
- شکل ۴-۳۵- درصد روزهای مرطوب در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۵
- شکل ۴-۳۶- میانگین طول دوره خشکی در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۶
- شکل ۴-۳۷- میانگین طول دوره مرطوب در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۶
- شکل ۴-۳۸- مجموع بارندگی سالانه در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۷
- شکل ۴-۳۹- میانگین سری زمانی طول دوره خشکی در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۸
- شکل ۴-۴۰- تعداد روزهای مرطوب سال در دو دوره مشاهداتی و آتی..... ۸۸

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۹.....	جدول ۱-۲- مشخصات مدل‌های مدل‌های گردش عمومی اقیانوس - جوی.....
۲۱.....	جدول ۲-۲- فهرست متغیرهای NCEP و Hadley.....
۶۴.....	جدول ۱-۴- متغیرهای غالب در مدلسازی میانگین دمای روزانه.....
۷۲.....	جدول ۲-۴- متغیرهای غالب در مدلسازی میانگین بارش.....

**فصل یکم**

**سر آغاز**

## ۱-۱- دیباچه

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی و در نتیجه افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک سو و تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی کشاورزی از سوی دیگر، باعث افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای مخصوصاً گاز CO<sub>2</sub> در چند دهه اخیر شد، به گونه‌ای که غلظت این گاز از ۲۸۰ پی‌پی‌ام در سال ۱۷۵۰ به ۳۷۹ پی‌پی‌ام در سال ۲۰۰۵ افزایش یافت. تحقیقات نشانگر آن است که در صورت ادامه روند کنونی و مصرف سوخت‌های فسیلی و تخریب جنگل‌ها، غلظت این گاز تا پیش از پایان سده بیستم می‌تواند به بیش از ۶۰۰ پی‌پی‌ام برسد. افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییراتی را در آب‌وهوا کره زمین بوجود آورد که در نوشته‌های علمی به آن تغییر آب‌وهوا<sup>۱</sup> گفته می‌شود (IPCC-TGCI: 2007: 1-18). تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین یا گرمایش جهانی<sup>۲</sup> به عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر آب‌وهوا در سده حاضر، جملگی ریشه در افزایش گازهای گلخانه‌ای دارند (علیجانی و قویدل؛ ۱۳۸۴: ۶).

واقعیت تغییر آب‌وهوا از موضوعات جالب توجه محافل علمی و حتی عوام در طی چند دهه‌ی اخیر بوده، پژوهش‌های گسترده‌ای در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی را به خود اختصاص داده است. بررسی و مطالعه تغییرات آب‌وهوا از آن رو در مطالعات جغرافیایی حایز اهمیت است که جنبه‌های عمده‌ای از این تغییرات به خصوص طی سده اخیر به نقش و عملکرد انسان مانند شهرسازی، جنگل زدایی، توسعه و رشد صنعتی و افزایش گازهای گلخانه‌ای نسبت داده می‌شود (عساکره و غیور؛ ۱۳۸۲: ۹۹). افزایش میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای عامل عمده تغییرات آب‌وهوایی است زیرا باعث تغییرات در الگوهای جوی و فعالیت بیشتر چرخه آب می‌گردد. این تغییر در تعادل‌های انرژی و روند گرمایش جو باعث تغییر آب‌وهوا خواهد شد: 2008: Xu Z et al (10). افزایش بارش در نواحی محدود و کاهش بارش ۲۰٪ در دیگر نواحی خواهد شد. این تغییرات تقریباً روی اکثر رفتارهای انسانی اثر خواهد گذاشت (Matondo et al؛ 2004: 29).

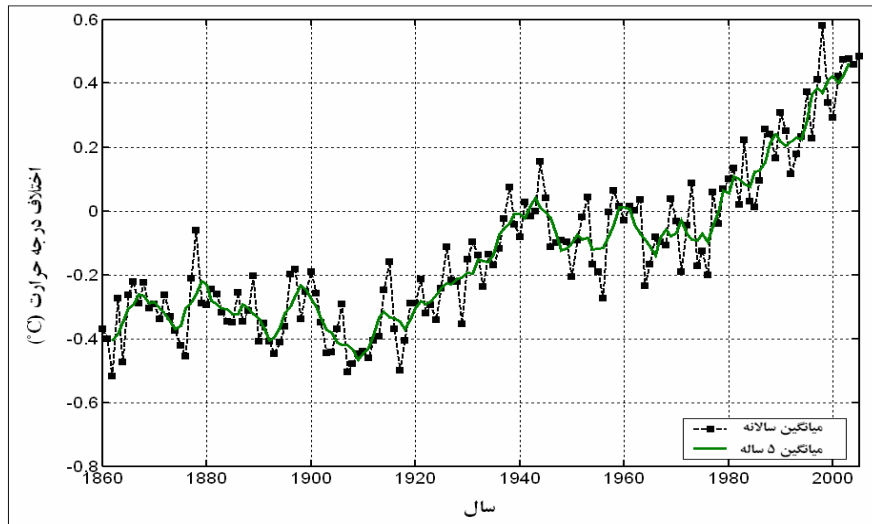
---

<sup>1</sup>. Climate change

<sup>2</sup>. Global warmin

نخستین بررسی‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>3</sup> IPCC نشان داد که از سال ۱۸۶۰ تا کنون دما سیر صعودی داشته، بیشتر این افزایش در دو دوره اتفاق افتاده است: ۱۹۴۵-۱۹۱۰ و ۱۹۷۶-۲۰۰۰.

در فاصله سال‌های ۱۹۴۶-۱۹۷۵ در نیمکره جنوبی افزایش دما و در نیمکره شمالی شاهد کاهش دما بودیم. گرم شدن در دوره اولیه ابتدا در اقیانوس اطلس شمالی و نواحی مجاور آن متمرکز بود. با احتمالی بین ۹۹-۹۰٪، دهه ۹۰ و سال ۱۹۹۸ گرم‌ترین دهه از سال ۱۸۶۱ تا کنون بودند افزایش دمای سده بیستم با احتمال ۹۰-۶۶٪ بیشترین افزایش طی ۱۰۰۰ سال گذشته بوده است (IPCC؛ 2001: 2).

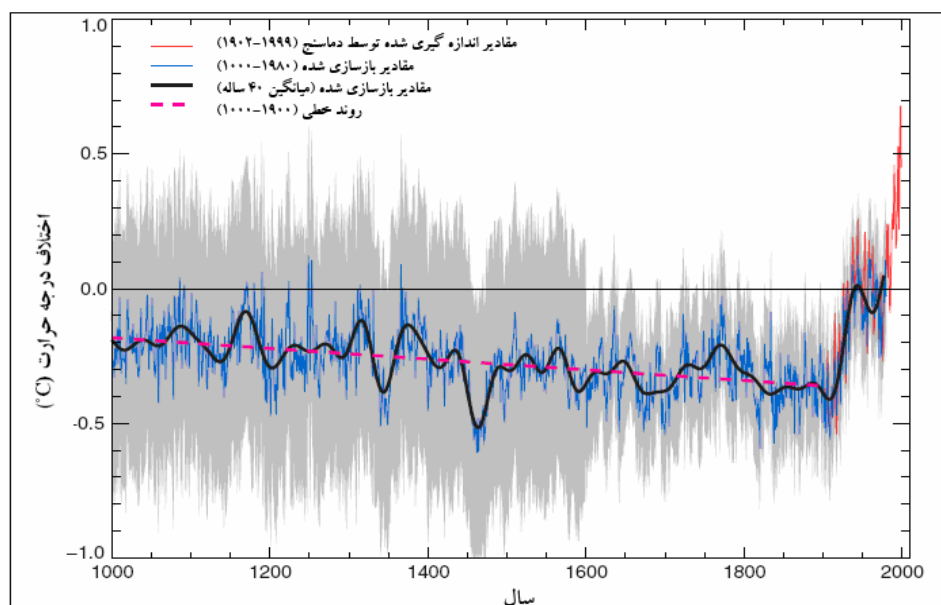


شکل ۱-۱: نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (IPCC؛ 2001: 2)

گذشته از تحلیل مستقیم تغییرات دمایی، شواهد دیگری نیز دلالت بر افزایش دما در چند دهه اخیر دارد. کاهش پوشش یخ و برف یکی از این شواهد است. داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهند که به طور تقریبی ۱۰٪ پوشش برفی، از اواخر دهه ۱۹۶۰ کاهش یافته است. پوشش یخ روی دریا در نیمکره شمالی در فصول بهار و تابستان از دهه ۱۹۵۰ بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش داشته است. همچنین ستبرای یخ در اقیانوس منجمد شمالی در تابستان و پاییز به میزان ۴۰٪ کاهش پیدا کرده است. همچنین میزان پوشش یخی در نواحی غیرقطبی و یخچال‌های کوهستانی نیز رو به کاهش بوده است. دلیل دیگر، افزایش میانگین سطح تراز آب دریاها به میزان ۰/۱ تا ۰/۲ متر است (IPCC؛ 2001: 10) که در سده بیستم رخ داده است. با توجه مسایل مطرح شده تردیدی نیست که دمای سطح زمین در حال افزایش است. اینجا پرسشی به وجود می‌آید که آیا این افزایش غیر طبیعی است؟ برای پاسخ به این پرسش باید تغییرات دمایی در سده‌های گذشته بررسی شود. به علت عدم وجود دستگاه‌ها و وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت پیش از اواسط سده ۱۹ و نبود مدارک

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel of Climate Change

و شواهد لازم از دوره گرم، دمای زمین به صورت غیر مستقیم با استفاده از شواهد تاریخی، قوانین فیزیک، زیست شناسی و زمین شناسی تخمین زده می‌شود و به آن Proxy Indicators می‌گویند. برخی از این شواهد و مدارک که با استفاده از آنها دمای زمین تخمین زده می‌شود عبارتند از حلقه‌های رشد درختان، مرجان‌های دریایی، مغزه‌های یخی، رسوب کف دریاها و دریاچه‌ها، نوشته‌های تاریخی و توده‌های یخچالی. با بررسی این موارد دانشمندان نمودار تغییرات دمایی از سال ۱۰۰۰ میلادی را نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ برای نیمکره شمالی به شکل ۱-۲ ترسیم کردند. ناحیه خاکستری حدود خطای استاندارد را نشان می‌دهد (IPCC؛ 2001: 10).



شکل ۱-۲: نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ طی ۱۰۰۰ سال اخیر (IPCC. Climate Change؛ 2001: 3)

چنانکه از شکل ۱-۲ مشخص است، دما در ۱۰۰۰ سال گذشته دارای نوسانات زیادی بوده است، به طوری که از سده یکم تا ۱۴ یک دوره گرم و از سده ۱۵ تا ۱۹ ما شاهد حاکمیت یک دوره سرد در نیمکره شمالی هستیم ولی از اوایل سده بیستم دما سیر صعودی شدیدی را آغاز کرده است (2001: 27)؛ (IPCC).

این افزایش دما می‌تواند از جمله باعث تغییر و تحول بارش، تبخیر و تعرق، ابرناکی، رطوبت خاک، شدت طوفان‌ها، بارش برف، میزان رواناب، شدت سیلاب‌ها و خشکی‌ها، تغذیه آب‌های زیرزمینی در سامانه‌های آب‌شناسی و جغرافیای زمین شود (Ragab and Prudhomme؛ 2002: 81). به نحوی که ویتروال در سال ۲۰۰۵ پدیده تغییر آب‌وهوا را یک تهدید جدی برای جامعه بشری دانست. مهمترین این تغییرات، تغییرات بارشی است، چرا که بارش سده بیستم با احتمالی ۹۹-۹۰٪ در عرض‌های بالا و میانه



نیمکره شمالی بین ۱ تا ۵٪ درصد و در عرض‌های ۱۰ درجه شمالی و جنوبی استوا ۲ تا ۳٪ درصد افزایش می‌یابد ولی در بیشتر نواحی جنب حاره نیمکره شمالی (۱۰ تا ۳۰ درجه دو نیمکره) در هر دهه از سده بیستم ۳٪ میزان بارش کاهش می‌یابد (IPCC؛ 2001: 20-50). آنچه در مطالب بالا آمد به عنوان تهدیدی جدی برای آینده بشر است. لذا بررسی دقیق‌تر وضعیت آینده آب‌وهوا در سطح کره زمین، امری ضروری است. این در حالی است که با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش‌های کافی در سطح کشور ما انجام نشده است.

در عرصه غرب ایران شهر همدان یکی از شهرهای پرجمعیت و استراتژیک است که از دیرباز دارای مشکلات تامین آب در بخش آشامیدنی و کشاورزی بوده است. از این رو در پژوهش کنونی این شهر موضوع تحقیق قرار گرفت.

### ۱-۲- اهداف تحقیق

بر این اساس اهداف ذیل با استفاده از روش ریزگردانی (کوچک مقیاس کردن) آماری دنبال شد:

۱. تعیین رابطه مناسب بین متغیرهای بزرگ مقیاس هواشناسی و مقادیر روزانه بارش در ایستگاه همدان - نوزه طی دوره مشاهداتی.

۲. شبیه‌سازی مقادیر روزانه بارش و میانگین روزانه دمای ایستگاه نوزه - همدان در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی) با استفاده از خروجی مدل هدلی<sup>۴</sup> HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و روش ریزگردانی آماری<sup>۵</sup> SDSM.

### ۱-۳- پیشینه پژوهش

تغییرات آب‌وهوایی و پیش‌بینی آن موضوع پژوهش‌های فراوانی در جهان امروز بوده و هست. از میان عناصر آب‌وهوایی دما، بارش و عوامل مرتبط با این دو، بیشتر در کانون توجه پژوهشگران بوده است. با توجه به موضوع پژوهش کنونی مجموعه تحقیقاتی را که به عنوان پیشینه در دسترس محقق قرار گرفتند، می‌توان در دو دسته لاتین و فارسی جای داد. در این تحقیقات محققان از روش‌هایی چون شبیه‌سازی و ریزگردانی برای درک تغییرات آب‌وهوایی بهره برده‌اند.

### ۱-۳-۱- پیشینه مطالعاتی لاتین

از این دسته، نخست می‌توان چهار مورد را که با تکنیک ریزگردانی، تغییرات عنصر بارش را محور قرار داده

---

<sup>4</sup>. Hadley Center Climate Model

<sup>5</sup>. Statistical downscaling model

مرور کرد. بررسی تغییرات میانگین، شدت و فراوانی روزهای بارش با استفاده از سناریوی انتشار A2 و روش‌های ریزگردانی دینامیک و آماری برای ناحیه آلپ اروپا توسط اسپمیدل<sup>6</sup> و همکاران (۲۰۰۷) از نخستین موارد است. در پژوهشی دیگر ویدمن و بریت‌هرتون<sup>7</sup> (۲۰۰۳) سعی نمودند با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی NCAR، خروجی<sup>8</sup> NCEP و روش ریزگردانی در دوره ۱۹۹۴-۱۹۴۹، بین بارش و متغیرهای بزرگ مقیاس در نواحی واشنگتون و ارگون پیوند برقرار کنند. نتایج نشان داد که متغیر بزرگ مقیاس ارتفاع ژوپتانسیل در ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت در ۸۵۰ هکتوپاسکال نتایج بهتری فراهم می‌کند و روش SDV می‌تواند تقریباً تا ۶۰ درصد نوسانات بارشی ماهانه را در تمام ناحیه شبیه‌سازی کند. در این میان پانگویا<sup>9</sup> و همکاران (۲۰۰۸) هر دو متغیر دما و بارش روزانه‌ی حوضه میسوچورا در مرکز یونان را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. در این بررسی از روش ریزگردانی چندمتغیری تصادفی<sup>10</sup> با توجه به الگوی<sup>11</sup> PC استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد افزایش مقدار بارش روزانه به کاهش تناوب وقوع در دوره آتی (۲۰۶۱-۲۱۰۰) می‌انجامد. در پژوهشی که توسط هون‌دیچا و باردوسی<sup>12</sup> (۲۰۰۸) در آلمان انجام گرفت نیز از روش‌های ریزگردانی و سناریوهای A2 و B2 استفاده شد. نتایج نشان داد در هر دو سناریو مقدار میانگین فصلی بارش و دماهای حداکثر و حداقل روزانه افزایش می‌یابد ولی تغییرات دما و بارش سناریو B2 کمتر از A2 است.

پژوهش اینک و اسپیکات<sup>13</sup> (۱۹۹۷) که با استفاده از دو روش ریزگردانی آماری، مدل طبقه بندی<sup>14</sup> و مدل وایازی<sup>15</sup> انجام شد، در بررسی رژیم دمایی موفق بود ولی برای عناصر رطوبت، پوشش ابری و طول مدت تابش آفتاب موفقیت کمتری داشت. از این رو نشان داد که در استفاده از داده‌های بارش بدست آمده از این روش‌ها نیز باید با احتیاط عمل کرد.

در این میان برخی پژوهش‌ها به اثر الگوهای بزرگ مقیاس بر بارش‌های روزانه و خروجی مدل‌های گردش عمومی جو توجه کرده‌اند. برای نمونه ویت‌رهال<sup>16</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، اثرات الگوهای جوی بزرگ مقیاس<sup>17</sup> را بر بارش روزانه و ماهانه در مرکز سوئد بررسی و ارزیابی کردند. در این پژوهش روش‌های مختلف ریزگردانی مورد ارزیابی قرار گرفت و تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که روش‌های PCA و TWS<sup>18</sup>

<sup>6</sup>. H. Schmidli

<sup>7</sup>. M. Widmann and C.S. Bretherton

<sup>8</sup>. National Centers for Environmental Prediction

<sup>9</sup>. D. Panagouia

<sup>10</sup>. Multivariate stochastic

<sup>11</sup>. Circulation pattern

<sup>12</sup>. Y. Hundechea and A. Bardossy

<sup>13</sup>. W. Enke and A. Spekat

<sup>14</sup>. Classification Model

<sup>15</sup>. Regression Model

<sup>16</sup>. F. Wetterhall

<sup>17</sup>. Large-scale atmospheric

<sup>18</sup>. Teweles-Wobu score

نسبت به روش آنالوگ<sup>19</sup> (AM)، ارتباط مناسب‌تری بین بارندگی و فشار تراز دریا برقرار می‌کنند. زائوا<sup>20</sup> و همکاران (۲۰۰۵) نیز در پژوهشی در آفریقای جنوبی با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی و سناریوی B2 از مجموع سناریوی انتشار<sup>21</sup> (SRES) توانستند با روش آنالیز همبستگی استاندارد و میانگین فشار تراز دریا کاهش میزان بارندگی را پیش‌بینی کنند. این کاهش بارش نیز در پژوهش ویت‌رهال<sup>22</sup> (۲۰۰۵) در دو کشور چین و سوئد دیده می‌شود ولی بوسیوک<sup>23</sup> و همکاران (۲۰۰۶) بر خلاف پژوهش‌های دیگر در نتایج خود به افزایش بارش در طول دوره آتی (۲۱۰۰-۲۰۷۱) برای شمال شرق و شمال غرب رومانی اشاره می‌کنند.

سولمان و نونز (۱۹۹۹) نیز با استفاده از روش وایزی چندگانه<sup>24</sup> و ضریب همبستگی نشان دادند که بین متغیرهای کوچک مقیاس محلی<sup>25</sup> و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی پیوندهای قوی می‌توان برقرار کرد. رجب<sup>26</sup> و همکاران (۲۰۰۲) نیز در بررسی آب‌وهوای نواحی خشک و نیمه خشک با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی Hadcm2 در یک شبکه‌بندی بزرگ<sup>27</sup> نتیجه‌گیری نمودند که تا سال ۲۰۵۰ میانگین بارش سالانه ۱۰ الی ۲۵ درصد نسبت به دوره حال کاهش و میانگین دما بین ۲ الی ۲/۷۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. با اینکه روش‌ها و نتایج برخی از تحقیقات یاد شده برای انجام تحقیق کنونی قابل استفاده است، پژوهش اخیر چون با شبکه‌بندی‌های بزرگ (۲۰۰ الی ۴۰۰ کیلو متر) کار کرده است، نمی‌تواند جوابگوی مطالعه تغییرات در سطوح محلی و ناحیه‌ای مثل شهر همدان باشد.

### ۱-۳-۲- پیشینه مطالعاتی در ایران

بررسی تغییرات آب‌وهوایی تحت سناریوهای انتشار گازهای توسط مساح بوانی (۱۳۸۴) از نخستین کارهایی است که در ایران به انجام رسیده است. در این پژوهش اثرات تغییر آب‌وهوا بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعه با روش زمین - آماری کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله<sup>28</sup> (IDW) در ریزگردانی متوسط ماهانه دما و بارندگی دوره پایه ۳۰ ساله (۲۰۰۰ - ۱۹۷۱) انجام شد. نتایج نشان داد که طی دوره‌های آتی به ترتیب در سناریوهای A2 و B2، میزان بارندگی ۱۰ و ۱۶ درصد کاهش و درجه حرارت به میزان ۳/۲ و ۴/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

<sup>19</sup>. Analogue method

<sup>20</sup>. Y. Zhao

<sup>21</sup>. Special Reports on Emission Scenario

<sup>22</sup>. F. Wetterhall

<sup>23</sup>. E. Hertig and J. Jacobeit

<sup>24</sup>. Multiple regression

<sup>25</sup>. Predictor

<sup>26</sup>. R. Ragab

<sup>27</sup>. Grid box

<sup>28</sup>. Inverse Distance Weighting

در پژوهشی متفاوت (احمدی؛ ۱۳۸۶)، دما و بارش شمال ایران مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج شامل خروجی مدل گردش عمومی CGCM2A2 و خروجی NCEP با روش ریزگردانی آماری تا سال ۲۱۰۰ است. برای تعیین این پیوندها، از تکنیک ریزگردانی وایزی خودکار<sup>۲۹</sup> ASD استفاده گردید. نتایج نشان داد که شدت افزایش درجه حداقل بیشتر از درجه حرارت حداکثر است. روند تغییرات بارندگی مدل شده در اکثر ایستگاه‌ها نزولی است. در تحقیق دیگری که توسط مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) انجام گردید، اثرات این پدیده بر تخصیص منابع آب در حوضه زاینده‌رود اصفهان، با داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 و دو سناریوی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی شد. نتیجه‌گیری‌ها نشان از کاهش بارندگی، افزایش دما و افزایش سال‌های خشک متوالی تا سال ۲۱۰۰ دارد.

در پژوهشی عام‌تر علیجانی و قویدل (۱۳۸۴: ۱) وجود رابطه بین دما و بارش تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین را بررسی کردند. در این تحقیق تغییرپذیری آب‌وهوا تبریز بر پایه روش‌های وایزی خطی و شبکه عصبی بررسی شد و مشخص شد که دمای سالانه تبریز تحت تاثیر گرمایش گلخانه‌ای است ولی در پژوهش دیگری (قویدل؛ ۱۳۸۴) که با استفاده خروجی مدل‌های گردش عمومی GFDL و ECHAM4 انجام گرفت، حساسیت‌پذیری دما و بارش شهر تبریز به افزایش CO<sub>2</sub> جوی مطالعه شد، نتایج مبین افزایش دمای تبریز در کلیه‌ی مقاطع ماهانه، فصلی و سالانه و کاهش بارش در فصول زمستان، بهار و افزایش آن در فصل‌های تابستان، پاییز بود.

کار شبیه‌سازی اثرات آب‌وهوا در ایران توسط سلطانی و قلی‌پور (۱۳۸۵) برای مطالعه اثرات تغییر آب‌وهوا بر رشد، عملکرد و مصرف آب توسط محصول نخود در شمال غرب ایران پژوهشی دیگر است. ایشان به این نتیجه رسیدند که در صورت دو برابر شدن غلظت CO<sub>2</sub> در طی فصل رشد نخود، میانگین دما در منطقه مورد بررسی به میزان ۳ الی ۴/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و این نشانگر افزایش طول دوره رشد است.

نتیجه اکثر مطالعات در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در کشور ما نشان می‌دهد که بیشتر از روش‌های آزمون و بازسازی داده‌ها استفاده شده است. این روش‌ها بیشتر افزایش دما و کاهش بارش برای سال‌های آینده پیش‌بینی می‌کنند ولی به دلایلی از جمله تغییر ایستگاه‌های اندازه‌گیری، تغییر اشخاصی که کار قرائت را بر عهده دارند، منظم نبودن زمان اندازه‌گیری، تعویض ادوات، احداث ساختمان اطراف ایستگاه‌های هواشناسی، ناهمگنی داده‌های مورد استفاده در پژوهش و عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها بروز می‌کند.

با اینکه با توجه به پیشنهاد IPCC دوره مطالعاتی تغییرات آب و هوا نباید کمتر از ۳۰ سال باشد، دوره مطالعاتی بیشتر پژوهش‌های کشور ما کمتر از ۳۰ سال است لذا هر گونه تغییرات ممکن است مربوط به نوسانات آب و هوا باشد تا تغییرات آب و هوایی.

<sup>29</sup>. Automated Regression Downscaling