

مقدمه‌ای بر روش‌ها و شگردهای مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم

۱۸۵۰

مؤلفین: دکتر محسن حمیدیان‌پور
دکتر فائزه شجاع

Projection

آینده

ESMs

اکنون

Prediction

RCMS

گذشته

GCMs

SSPs

RCPPs

گزینه‌ها

نیازها

- ✓ ریزگردانی آماری
- ✓ ریزگردانی دینامیکی

- ✓ پیش‌بینی هوا
- ✓ شبیه‌سازی اقلیمی
- ✓ شناخت اقلیم
- ✓ رفع بایاس
- ✓ افزایش قدرت تفکیک مکانی
- ✓ کاهش عدم قطعیت

مشکلات

- ✓ بایاس مدل‌ها
- ✓ خطای نظامند
- ✓ قدرت تفکیک مکانی پایین

DCPP

نام حسد از نیر لوم
حقیقت نکار و عجب کم

محمد بن علی

دانشگاه سیستان و بلوچستان



مقدمه‌ای بر روش‌ها و تکنیک‌های مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم

نویسندگان:

دکتر محسن حمیدیان پور، دانشگاه سیستان و بلوچستان (گروه جغرافیای طبیعی)

دکتر فائزه شجاع، پژوهشگر اقلیم‌شناسی پسادکتری دانشگاه تهران

تابستان ۱۴۰۱

سرشناسه : حمیدیان پور، محسن، ۱۳۵۷.

عنوان و نام بدید آور: مقدمه ای بر روش ها و شگردهای مدل سازی اقلیم و تغییر اقلیم /
مولفین: محسن حمیدیان پور، فائزه شجاع کلانه میرعلی.

مشخصات نشر: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان ۱۴۰۱

مشخصات ظاهری: ۳۸۸ ص، وزیری، ۲۲۸.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۵۸-۲۳-۶

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

موضوع: ص.ع. به انگلیسی: Mohsen Hamidianpour, feaze shoja.

Interoduction to methods and techniques of climate change modeling

موضوع: تغییرات اقلیمی - شبیه سازی - اقلیم شناسی - الگوهای ریاضی - داده برداری

شناسه افزوده: شجاع کلانه میرعلی، فائزه، ۱۳۶۵.

ویراستار ادبی: دکتر تقی طاوسی

شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان.

شناسه افزوده: University of Sistan and Baluchestan

رده بندی کنگره: QC ۹۸۱/۸

رده بندی دیویی: ۵۷۷/۶

شماره کتابشناسی ملی: ۹۰۴۴۳۳۶



ناشر: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه ای بر روش ها و شگردهای مدل سازی اقلیم و تغییر اقلیم

مولفین: دکتر محسن حمیدیان پور/دکتر فائزه شجاع کلانه میرعلی

چاپ: چاپخانه المهدی دانشگاه سیستان و بلوچستان

نوبت چاپ: اول ۱۴۰۱، قیمت: ۱۰۵۰۰۰ تومان، شمارگان: ۲۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۵۸-۲۳-۶

این کتاب با کاغذ حمایتی چاپ شده است.

تمام حقوق چاپ و نشر این اثر طبق قرارداد محفوظ است، هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ممنوع است، متخلفان به موجب قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

تقدیم به

**آنهايي که سخت گرفتند و مسائل را پیچیده‌تر کردن و
انگیزه ما برای فهمیدن را بیشتر کردند.**

۱	پیشگفتار.....
۷	فصل اول: اقلیم و انواع مدل‌های اقلیمی.....
۷	۱-۱- اقلیم (آب‌وهوا) چیست؟.....
۹	۲-۱- سامانه اقلیم زمین (کالبدی پیچیده و مرکب).....
۱۱	۱-۲-۱- اثر گلخانه‌ای.....
۱۲	۳-۱- واداشت‌های اقلیمی.....
۱۴	۴-۱- تفاوت بین واداشت و بازخوردها.....
۱۷	۵-۱- مدل و مدل اقلیمی چیست؟.....
۱۸	۶-۱- علل پیدایش رویکرد مدل‌سازی.....
۱۸	۷-۱- چرا مدل‌سازی می‌کنیم.....
۲۰	۸-۱- انواع مدل‌های اقلیمی.....
۲۰	۱-۸-۱- مدل‌های آماری-احتمالاتی.....
۲۲	۲-۸-۱- مدل‌های رقومی-فیزیکی.....
۲۴	۹-۱- انواع مدل‌های رقومی - فیزیکی.....
۲۴	۱-۹-۱- مدل‌های ترازمندی انرژی (EBMs) یک بعدی.....
۳۲	۲-۹-۱- مدل‌های تابشی-همرفتی (R-CMs) یک بعدی.....
۳۳	۳-۹-۱- مدل‌های آماری - دینامیکی (SDMs) دو بعدی.....
۳۴	۴-۹-۱- مدل‌های اقلیم جهانی (GCMs) سه بعدی.....
۳۹	۱۰-۱- تاریخ توسعه مدل‌سازی اقلیمی.....
۴۳	۱۱-۱- مدل‌های سامانه زمین (ESMs).....
۴۸	۱۲-۱- مدل‌های DCPD.....
۵۳	فصل دوم: اقلیم، تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیم جهانی.....
۵۳	۱-۲- مدل‌های اقلیم جهانی (GCMs).....

۶۰	۲-۲- اعتبار مدل‌های اقلیمی
۶۸	۳-۲- ویژگی‌های مدل‌های جهانی اقلیم
۷۰	۴-۲- ساختار یک مدل اقلیمی گردش عمومی
۷۲	۲-۴-۱- معادلات یک مدل اقلیمی
۸۰	۵-۲- مدل‌های اقلیمی چگونه کار می‌کنند؟
۸۳	۶-۲- محدودیت‌های مدل‌های جهانی اقلیم
۸۵	۷-۲- عوارض و پدیده‌های کوچک‌مقیاس
۸۵	۸-۲- توپوگرافی
۸۶	۹-۲- انواع مدل‌های گردش عمومی / مدل‌های اقلیمی جهانی (GCMS)
۸۸	۱۰-۲- بررسی اجمالی CMIP (پروژه مقایسه مدل جفت شده)
۹۷	۲-۱۰-۱- مدل اقلیمی CCSM
۹۸	۲-۱۰-۲- مدل اقلیمی HadCM3
۹۹	۲-۱۰-۳- مدل اقلیمی CGCM1
۹۹	۲-۱۰-۴- مدل اقلیمی NCAR/CSM
۱۰۰	۲-۱۰-۵- مدل اقلیمی HadGEM2-ES
۱۰۱	۲-۱۰-۶- مدل اقلیمی MIROC
۱۰۲	۲-۱۰-۷- CanESM
۱۰۳	۲-۱۱- تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی گردش عمومی (GCMS)
۱۱۰	۲-۱۲- سناریو
۱۱۳	۲-۱۲-۱- گزارش ویژه سناریوهای انتشار (SERS)
۱۱۴	۲-۱۲-۱-۱- سناریو A1
۱۱۵	۲-۱۲-۲-۱- سناریو A2
۱۱۵	۲-۱۲-۳-۱- سناریو B1
۱۱۶	۲-۱۲-۴-۱- سناریو B2
۱۱۷	۲-۱۲-۲- سناریوهای انتشار RCP
۱۱۹	۲-۱۲-۱-۱- سناریو RCP 8.5 (بالاترین سطح انتشار)

۱۲۰	۲-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 6 (با سطح انتشار متعادل (میانه))
۱۲۰	۳-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 4.5 (با سطح انتشار متعادل)
۱۲۱	۴-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 2.6 (کمترین سطح انتشار)
۱۲۲	۳-۱۲-۲- سناریوهای انتشار SSP
۱۲۵	۱-۳-۱۲-۲- جزئیات SSPها
۱۳۱	۱۳-۲- کدام سناریو؟
۱۳۴	۱۴-۲- انتخاب مدل گردش عمومی جو (یا کدام GCM)
۱۳۷	۱۵-۲- انتخاب قدرت تفکیک فضایی (رزولوشن)
۱۳۸	۱۶-۲- انتخاب متغیر
۱۳۹	۱۷-۲- انتخاب دوره پایه
۱۴۰	۱۸-۲- پیش‌بینی مدل‌های گردش سیاره‌ای از شرایط اقلیمی آتی
۱۴۵	فصل سوم: مدل‌های منطقه‌ای اقلیم
۱۴۵	۱-۳- مقدمه
۱۴۶	۲-۳- مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCMs)
۱۴۹	۳-۳- طبقه‌بندی RCMs
۱۵۲	۴-۳- شرایط مرزی و اولیه RCMs
۱۵۴	۵-۳- مسائل مربوط به استفاده از مدل منطقه محدود تو در تو
۱۵۵	۱-۵-۳- لانه‌سازی عددی: فرمول‌بندی و خط مشی ریاضیاتی
۱۵۶	۲-۵-۳- تفاوت قدرت تفکیک فضایی بین داده‌های کنترل و مدل لانه‌ای
۱۵۷	۳-۵-۳- دوره تنیدگی
۱۵۹	۴-۵-۳- به‌روزرسانی (تغییرات) فراوانی شرایط مرزی (LBCs)
۱۶۰	۵-۵-۳- پرمایش فیزیکی سازگار
۱۶۲	۱-۵-۵-۳- طرح‌واره‌ها
۱۶۳	۶-۵-۳- خطاهای درونیابی افقی و عمودی
۱۷۴	۷-۵-۳- اندازه و مکان قلمرو

۱۷۹.....	۳-۵-۱- کیفیت داده‌های کنترلی.....
۱۷۹.....	۳-۵-۹- قدرت تفکیک RCMs و توپوگرافی.....
۱۸۰.....	۳-۵-۱۰- انحراف‌های اقلیمی (Climate Drift) یا خطاهای سامانمند (نظام‌مند).....
۱۸۲.....	۳-۵-۱۰-۱- تجربه برادر بزرگ (ناظر بزرگ).....
۱۸۳.....	۳-۶-۷- کاربردهای RCMs در مطالعات اقلیمی.....
.....	۳-۶-۱- ریزگردانی دینامیکی به منظور آشکارسازی تغییر اقلیم و ارزیابی پیامدهای آن
۱۸۶.....
۱۹۱.....	۳-۶-۱-۱- پروژه کوردکس.....
۱۹۶.....	۳-۶-۲- ریزگردانی دینامیکی به منظور پیش‌بینی‌های ماهانه، فصلی و سالانه.....
۱۹۹.....	۳-۶-۳- ریزگردانی دینامیکی و تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر اقلیم.....
۲۰۶.....	۳-۶-۴- ریزگردانی دینامیکی و نقش فرآیندهای سطحی در اقلیم منطقه‌ای.....
۲۰۷.....	۳-۶-۵- ریزگردانی دینامیکی و نقش هواویزها و گردوغبار در اقلیم.....
.....	۳-۶-۷- ریزگردانی دینامیکی و بررسی اندرکنش‌های موجود بین توپوگرافی و
۲۱۰.....	پدیده‌های اقلیمی.....
۲۱۱.....	۳-۶-۱- نقش ارتفاعات در فرایندها و پدیده‌های اقلیمی.....
۲۱۹.....	۳-۶-۲- نقش دریاچه‌ها در فرایندها و پدیده‌های اقلیمی.....
۲۲۲.....	۳-۷- مدل‌های ریزگردانی دینامیکی.....
۲۲۲.....	۳-۷-۱- مدل RegCM.....
.....
۲۲۵.....	فصل چهارم: ریزگردانی.....
۲۲۵.....	۴-۱- مقدمه.....
۲۲۶.....	۴-۲- ریزگردانی چیست؟.....
۲۲۸.....	۴-۳- فلسفه ریزگردانی.....
۲۳۰.....	۴-۴- انواع روش‌های ریزگردانی.....
۲۳۰.....	۴-۴-۱- ریزگردانی دینامیکی.....
۲۳۲.....	۴-۵- ریزگردانی آماری (تجربی).....

۲۳۴.....	۱-۵-۴- متغیرهای پیشگو.....
۲۳۴.....	۲-۵-۴- متغیرهای پیش‌بینی شونده.....
۲۳۸.....	۶-۴- فرضیات و پیش‌آگاهی‌ها در مورد ریزگردانی آماری.....
۲۴۱.....	۷-۴- طبقه‌بندی روش‌های ریزگردانی آماری.....
۲۴۲.....	۱-۷-۴- روش‌های تجربی ریزگردانی آماری.....
۲۴۷.....	۲-۷-۴- روش‌های ساده واسنجی و رفع اریبی.....
۲۴۷.....	۱-۲-۷-۴- تصحیح اریبی.....
۲۴۹.....	۲-۲-۷-۴- روش عامل تغییر (دلتا).....
۲۵۰.....	۳-۲-۷-۴- روش پیشرفته عامل تغییر.....
۲۵۱.....	۴-۲-۷-۴- روش تصحیح خطی.....
۲۵۲.....	۵-۲-۷-۴- روش تصحیح غیرخطی.....
۲۵۳.....	۶-۲-۷-۴- روش تصحیح اریبی نگاشت چندک (QM).....
۲۵۴.....	۷-۲-۷-۴- روش نگاشت هم فاصله توزیع تجمعی (EDCDFm).....
۲۵۵.....	۸-۲-۷-۴- روش تطبیق چندک (QM).....
۲۵۶.....	۹-۲-۷-۴- روش تبدیل تابع توزیع تجمعی (CDF-t).....
۲۶۰.....	۱۰-۲-۷-۴- روش تطبیق چندک با برونیابی دلتا (QMD).....
۲۶۱.....	۱۱-۲-۷-۴- روش نسبت گیری خطی (LS) (برای تصحیح خطای بارش و دما).....
۲۶۲.....	۱۲-۲-۷-۴- روش تبدیل روزانه برای تصحیح خطای بارش و دما (DT).....
۲۶۳.....	۱۳-۲-۷-۴- روش مقیاس‌گذاری شدت محلی (LOCI) برای تصحیح خطای بارش.....
۲۶۴.....	۱۴-۲-۷-۴- روش تغییر توانی (PT) برای تصحیح خطای بارش.....
۲۶۴.....	۱۵-۲-۷-۴- روش مقیاس‌گذاری واریانس (VARI) برای تصحیح خطای دما.....
۲۶۵.....	۱۶-۲-۷-۴- روش نگاشت توزیع (DM) برای تصحیح خطای بارش و دما.....
۲۶۷.....	۱۷-۲-۷-۴- روش نگاشت چندک تجربی (EQM) برای تصحیح خطای بارش و دما.....
۲۶۸.....	۱۸-۲-۷-۴- روش نگاشت چندک گاما.....
۲۶۹.....	۳-۷-۴- روش‌های خوشه‌بندی.....
۲۷۰.....	۱-۳-۷-۴- طرح‌های طبقه‌بندی اقلیم.....
۲۷۲.....	۲-۳-۷-۴- مدل آنالوگ.....
۲۷۵.....	۳-۳-۷-۴- نقشه‌های خود سازمان دهنده (SOMs).....

۲۷۸.....	۴-۷-۴- روش‌های توابع انتقالی.....
۲۷۹.....	۴-۷-۴-۱- روش‌های مبتنی بر رگرسیون
۲۹۱.....	۴-۷-۴-۲- تفاوت شبکه‌های عصبی و تحلیل رگرسیون چند متغیره
۲۹۲.....	۴-۷-۵- مولدهای اقلیمی (WG).....
۲۹۶.....	۴-۷-۵-۱- روش نوع ریچاردسون.....
۲۹۷.....	۴-۷-۵-۲- مدل زنجیره مارکوف
۲۹۹.....	۴-۷-۵-۳- مدل WGEN.....
۳۰۲.....	۴-۷-۵-۴- مدل ClimGen.....
۳۰۵.....	۴-۷-۵-۵- مدل CLIGEN.....
۳۰۸.....	۴-۷-۵-۶- مدل LARS-WG.....
۳۱۰.....	۴-۸- ریزگردانی آماری یا تصحیح بایاس.....
۳۱۲.....	۴-۹- عدم قطعیت در پیش‌نمایی‌های اقلیمی.....
۳۱۴.....	۴-۹-۱- تغییرپذیری طبیعی.....
۳۱۵.....	۴-۹-۲- عدم قطعیت سناریو.....
۳۱۶.....	۴-۹-۳- عدم قطعیت مدل.....
۳۱۷.....	۴-۱۰- انواع عدم قطعیت‌ها و نحوه بررسی آن‌ها.....
۳۲۵.....	۴-۱۱- روش‌های کاهش عدم قطعیت (میانگین‌گیری مدل‌ها).....
۳۲۹.....	۴-۱۱-۱- میانگین مدل‌های GCM.....
۳۳۰.....	۴-۱۱-۲- روش میانگین‌گیری وزنی.....
۳۳۱.....	۴-۱۱-۳- روش میانگین‌گیری مدل بیزینی.....
۳۳۲.....	۴-۱۱-۴- روش همادی درختی.....
۳۳۴.....	۴-۱۱-۵- ماشین بردار پشتیبان.....
	۴-۱۱-۶- میانگین‌گیری گروهی مبتنی بر عملکرد با استفاده از ریشه میانگین مربعات
۳۳۵.....	خطا و ضریب همبستگی زمانی.....
۳۳۶.....	۴-۱۱-۷- سامانه همادی وزنی بر اساس نمره مهارت تیلور.....
۳۳۷.....	۴-۱۲- نمایه‌های ارزیابی عملکرد.....

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
۴-۱۳-رتبه بندی مدل های جهانی اقلیم.....	۳۴۰
۴-۱۴-نقاط ضعف و قوت ریزمقیاس نمایی آماری و دینامیکی.....	۳۴۰
۴-۱۵-چگونگی انتخاب مدل ریزگردانی دینامیکی و آماری.....	۳۴۲
کتابنامه.....	۳۴۶

پیشگفتار

هدف از نگارش این کتاب آموزش و فراگیری الفبای مفاهیم کاربردی مدل‌سازی اقلیمی، استفاده از مدل‌های گردش سیاره‌ای (GCMS) و روش‌های استفاده از آنها شامل ریزگردانی دینامیکی یا مدل‌های منطقه‌ای اقلیم (RCMS) و ریزگردانی آماری است. امروزه از یک سو با پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم روبرو هستیم که برای شناخت آن باید سوار بر مرکب زمان، راهی آینده شد و با توجه به پیش‌فرض‌های که با واقعیت‌های حال حاضر تطابق دارند به پیش‌نمایی این پدیده و پیامدهای احتمالی آن پردازیم، به گونه‌ای که محیط‌زیست را که تنها گاهواره امن ماست - پیش از مواجهه با خطر - پیش‌آگاهی دهیم و سرانجام آن را حفظ کنیم. از سوی دیگر می‌دانیم سیاره زمین دوره‌های گوناگونی را تجربه کرده است و بنا بر شواهد زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و ...، بروز و ظهور اقلیم‌های سرد تا گرم را از سرگذرانده است و همین موضوع پرسش‌های بیشماری را فرا روی انسان قرار داده است. بدیهی است که بشر در حصار زمان محدود است و امکان سیر در گذشته و آینده را ندارد اما به مدد دانش و تجربه بشری و درک و مشاهده طبیعت برای تحلیل پدیده‌های مختلف به سوی مدل‌سازی گام برداشته است. پدیده‌های مختلفی از آغاز خلقت زندگی و حیات بشر را تحت تأثیر قرار داده‌اند و انسان در گذر زمان و تجربه اندوزی مداوم به منظور تحلیل پدیده‌های مختلف روی به ساده‌سازی و استفاده از مدل‌ها آورده است تا به مدد آن بتواند بر ناملايمات طبیعی غلبه نماید یا از فرصت‌های بدست آمده در جهت آسایش و رفاه خود استفاده کند. بدیهی است که مجموع پدیده‌های اقلیمی از گذشته‌های دور در مرکز توجه انسان

بوده است چرا که پیامدهای حاصل از بروز و ظهور پدیده‌های اقلیمی به طور مستقیم بر زندگی بشر تأثیر گذارند و از این رو بشر برای درک و تحلیل موضوع پیچیده اقلیم ناگزیر روی به ساخت مدل از این پدیده آورده است. تا مدت‌ها ذهن جغرافی‌دانان و دانشمندان حوزه علوم زیستی معطوف به این پرسش بزرگ بود که آیا کنش‌های مابین ناهمواری‌های زمین، پوشش گیاهی، کاربری زمین و سایر عوامل طبیعی به عنوان خرد دستگاه‌های تأثیرگذار بر سامانه‌های اقلیمی و متغیرهای هواشناسی می‌توانند در شکل یک مدل تجمیع شوند و به فهم کنش‌ها و شناخت عمیق‌تر پدیده‌های اقلیمی کمک کنند. نوشتار پیش رو با همین رویکرد و به منظور آموزش و فراگیری استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش عمومی با تأکید بر اقلیم، تغییر اقلیم و همچنین شناخت مقدماتی و پیش‌نیازهای ضروری مدل‌های منطقه‌ای اقلیم در شبیه‌سازی پدیده‌ها و فرایندهای اقلیم به رشته تحریر درآمده است. در تدوین این نوشتار تا حد امکان از معرفی نرم‌افزار خودداری شده است. از نظر نویسندگان بهترین آموزگار برای هر پژوهشگری در فراگیری یک نرم‌افزار، مستندات تعبیه شده در خود نرم‌افزار است که نویسندگان آن را در زبانه Help قرار می‌دهند و یا گاهی شیوه‌نامه آن (Handbook) توسط توسعه‌دهندگان نرم‌افزار تهیه می‌شود و نیازمند ترجمه و ارائه آن در کتاب نیست. این موضوع می‌تواند در مواردی سودمند نباشد چرا که نخست خواننده از یادگیری زبان انگلیسی باز می‌دارد و دوم آنکه از تمرکز مترجم و نویسنده کتاب به موضوعات اصلی می‌کاهد.

نکته مهم در نگارش این کتاب این است که تلاش شد تا کتاب‌های تدوین شده به زبان فارسی در این باره که توسط پژوهشگران اقلیم‌شناس در حوزه‌های علمی گوناگون تدوین شده است مطالعه شود و سعی بر آن شد که ارزش افزوده‌ای نسبت به آنها در کتاب پیش رو ارائه شود و از این رو در همین جا از تمامی نویسندگان و مؤلفین این حوزه قدردانی می‌شود چرا که تمامی این بزرگواران به صورت غیر مستقیم به ارتقاء این نوشتار کمک نموده‌اند. همچنین از دانشجویان کارشناسی ارشد ورودی سال ۱۳۹۶ رشته اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان قدردانی می‌شود که نسخه اولیه این کتاب را مطالعه و افزون بر ارائه پیشنهادها، اشکالات نسخه اولیه

را نیز متذکر شده‌اند. نسخه اولیه این کتاب در سال ۱۳۹۴ تدوین شد و تا سال ۱۳۹۶ به طور پیوسته و قوی بر بخش‌های گوناگون آن افزوده شد، اما متأسفانه با حذف درس از دوره کارشناسی ارشد، موجی از ناامیدی و یاس به راه افتاد که مؤلفین را در پیگیری موضوع مردد ساخت، اما در سال‌های بعدی با تدریس دروسی چون درس تحلیل سینوپتیک مخاطرات محیطی (مقطع دکتری)، تحلیل و پیش‌نگری تغییر اقلیم (مقطع دکتری)، روش‌های اقلیم‌شناسی سینوپتیک (مقطع کارشناسی ارشد) و همچنین درس پیش‌نیاز مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای در دوره دکتری مجدداً ضرورت پیگیری نگارش و تکمیل کتاب درسی در خصوص مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم و معرفی روش‌های آن به دانشجویان، احساس و تلاش مضاعفی نیز توسط نگارندگان صورت پذیرفت. چراکه هدف گشودن دریچه‌های نوین علم و دانش به روی فراگیران است. به هر روی امیدبخشی و روحیه‌ای که دانشجویان مقطع دکتری به نگارندگان دادند منجر به آن شد که مجدد تجدیدنظری در کتاب صورت پذیرد و نوشتار اولیه با شکلی نو به زیور طبع آراسته شود و امیدواریم که این کتاب دریچه‌ای نوین بر روی همه عزیزان خواننده بگشاید.

این کتاب دارای چهار فصل است که هر فصل موضوع ویژه در عین حال مرتبط به کلیت کتاب را دنبال می‌کند. **فصل اول** کتاب بیشتر به مبانی نظری و تعاریف اولیه مدل و مدل‌سازی و نیاز انسان به مدل‌سازی و انواع مدل‌های اقلیمی می‌پردازد. با توجه به اینکه مدل‌های گردش عمومی جو (GCMها) جز جامع‌ترین مدل‌ها هستند؛ بنابراین در **فصل دوم** به طور ویژه به معرفی این مدل‌ها پرداخته‌ایم. یکی از پرکاربردترین استفاده‌های این مدل‌ها در پیش‌نمایی تغییر اقلیم بر مبنای سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و اقلیمی است؛ بنابراین ضرورت داشت بخشی از این فصل را نیز به انواع GCMها و سناریوهای موجود بپردازیم. در بیشتر مواقع پژوهشگران پرسش بنیادین آنها انتخاب سناریوها است. در این فصل برحسب دانش نگارندگان تلاش شد تا توضیح کافی در این خصوص به پژوهشگران ارائه شود. بعضاً به دلیل شناخت اندرکنش‌های بین خرد دستگاه‌های مختلف طبیعت (اعم از زیست سپهر، هواسپهر، یخ‌سپهر و ...) نیاز به بررسی جزئیات بیشتری است که می‌توان به این مهم با مدل‌های RCMS دست پیدا کرد. بدین منظور

فصل سوم به معرفی RCMS و مسائلی مهم در تصمیم‌گیری اولیه این مدل‌ها و همچنین کاربردهای مختلف آنها می‌پردازد. ارتباط این فصل با فصل دوم به این دلیل است که RCMS نیازمند به استفاده از مدل‌های GCM می‌باشد. به هر روی در این فصل ضمن طبقه‌بندی RCMS، سرانجام مسائل مختلف و ضروریات مرتبط به این دست از مدل‌ها معرفی می‌شود. این فصل دریچه‌ای مفهومی، همراه با جزئیات بیشتر برای پژوهشگران اقلیم باز می‌نماید که در صورت نیل به سمت مطالعات ریزگردانی دینامیکی موضوعات جدید گشوده می‌شود. در این فصل از نتایج پژوهش‌های زیادی استفاده و سعی شده است دیدگاه نویسندگان لحاظ شود؛ ولی با عنایت بر انصاف لازم است بیان شود که اندیشه اصلی و تا حدودی چهارچوب نوشتاری بر اساس مقاله دنیس و همکاران، (۲۰۰۲) و وانگ و همکاران (۲۰۰۴)، مطرح و سعی شده است با استفاده از مثال‌های بیشتر، مسائل به‌ویژه نمونه‌های بومی و محلی موضوعات برای خوانندگان روشن شود. شایان ذکر است با توجه به اینکه مدل RegCM اولین مدل دینامیکی با هدف بررسی اقلیمی است این فصل بیشتر معطوف به ارائه مثال‌ها و بررسی پیشینه مطالعات پیرامون این مدل است، این در حالی است که مدل‌های ریزگردانی فراوانی وجود دارند که قابل توسعه نیز هستند.

هرچند که RCMها خود روشی برای ریزگردانی و کسب ارزش افزوده بیشتر در مقیاس منطقه‌ای، محلی و خرد هستند، در واقع ریزگردانی دینامیکی امکان شبیه‌سازی دینامیکی را مبتنی بر معادلات بنیادین فیزیک اعم از معادله حرکت، حالت، ترمودینامیک و غیره به پژوهشگران می‌دهد و پژوهشگر قادر است به کشف ناشناخته‌های موجود اقلیم بپردازد. افزون بر این یکی از کاربردهای آن نیز در راستای پیش‌نمایی تغییر اقلیم است. با وجود این در راستای هدف اخیر (تغییر اقلیم) شگرد و فن دیگری به نام ریزگردانی آماری یا تجربی وجود دارد که می‌توان جهت استفاده از مدل‌های GCM استفاده کرد. با این تفاوت که در این مدل‌ها با توجه به رابطه تجربی که بین داده‌های مشاهده شده ایستگاهی و مدل‌های GCM وجود دارد، سعی در تولید سری زمانی جدید برای دوره‌های آتی با همان رابطه است. بدین معنی دیگر به مانند مدل‌های RCM از طرح‌واره و داده‌های مرزی و غیره استفاده نمی‌کنند بر همین اساس روش‌های ساده و کم‌هزینه و

سریع‌تری به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی هستند؛ بنابراین فصل **چهارم** به انواع روش‌های ریزگردانی آماری اختصاص یافته است. نخست فلسفه این شگرد شرح داده شده و دسته‌بندی از تمامی شگردهای موجود تا حد امکان ارائه گردیده است. باید آگاه باشیم که در موضوع پیش‌نمایی تغییر اقلیم یکی از بحث‌های مهم «عدم قطعیت» است؛ بنابراین این موضوع نیز در این فصل مورد توجه نویسندگان قرار گرفته است. با مطالعه این فصل پژوهشگر توانا خواهد بود ابزار مورد نیاز خود یعنی روش ریزگردانی دینامیکی و یا آماری را با توجه هدف خود انتخاب نماید.

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همه سروان و بزرگواری که به شیوه‌ی مستقیم و غیرمستقیم مانند تدوین مقالات، کتاب‌ها و برگزاری کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها و غیره در نگارش این نوشتار یاری‌گر نگارندگان این کتاب هستند سپاسگزاری نمایند. بی‌شک بدون تجربه و دانش پیشین ایشان اثری خلق نمی‌شد و در نتیجه از نگارندگان نیز هیچ یادگاری برای آیندگان باقی نمی‌ماند.

در پایان نویسندگان وظیفه خود می‌دانند از تمام عزیزانی که در آماده شدن این نوشتار ما را یاری رسانده‌اند قدردانی نمایند. از همکار گرامی جناب آقای دکتر محمود خسروی عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر همفکری و راهنمایی‌های ارزنده‌شان و از جناب آقای دکتر حمیدرضا ناصری عضو هیات علمی دانشگاه تهران (مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان) برای بازخوانی و ویرایش پیشگفتار کتاب سپاسگزاری می‌شود. ویرایش ادبی کتاب را جناب آقای دکتر تقی طاوسی عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان به انجام رسانده‌اند. بدین وسیله مراتب سپاس و امتنان خود را از ایشان ابراز و اعلام می‌داریم. همچنین از آقای دکتر نورمحمد یعقوبی معاون محترم پژوهشی، آقای ابراهیم شهریاری و خانم مریم رحیمی‌مقدم و دیگر سروان در حوزه‌ی معاونت پژوهشی و اداره‌ی نشریات دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر تلاش‌های بی‌شائبه‌شان در زمینه انتشار این کتاب و تسریع امور مربوطه کمال قدردانی بعمل می‌آید.

این کتاب را به تمامی عزیزان و بزرگواری که مشوق ما در تالیف این نوشتار بوده‌اند، بویژه دانشجویان گرامی، تقدیم می‌داریم. به امید آینده‌ای نه چندان دور با بهره‌گیری از پیشنهادات

و نقطه نظرات خوانندگان و علاقمندان گرامی، نقایص این مجموعه را با نوشتاری فراگیرتر جایگزین نماییم. اگر ایرادی در کتاب وجود دارد قاعدتاً متوجه نویسندگان کتاب است. با آگاهی از اینکه هیچ اثری خالی از کاستی نخواهد بود، بنابراین نگارندگان این اثر از تمامی خوانندگان، پژوهشگران، صاحب‌نظران، فرهیختگان ارجمند تقاضا دارند که مولفین این کتاب را از انتقادات و پیشنهادهای ارزشمند خویش بی‌نصیب نگذارند.

و آنچه نادیدنی است آن بینی
همه آفاق گلستان بینی
آفتابش در میان بینی (هاتف اصفهانی)

چشم دل‌باز کن که جان بینی
گر به اقلیم عشق روی آری
دل هر ذره‌ای را که بشکافی

راه‌های ارتباطی با نویسندگان:

فائزه شجاع

faeze.shoja@yahoo.com



SHOJA_FAEZE

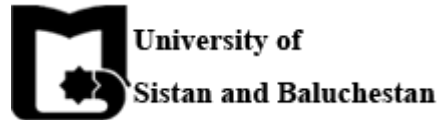
محسن حمیدیان پور

mhamidianpour@gep.usb.ac.ir



MOHSEN_HAMIDIANPOUR

شهریور ۱۴۰۱



Introduction to methods and Techniques of climate and climate change modeling

Mohsen Hamidianpour
University of Sistan and Baluchestan
(Physical Geography)

Faeze Shoja
Postdoctoral Researcher in Climatology, University
of Tehran

Summer 2022

بیت
بیت حیدر اونیورسٹی
حقیقت سنا رو جو عکس
میر حسین علی

دانشگاه سیستان و بلوچستان



مقدمه‌ای بر روش‌ها و تکنیک‌های مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم

نویسندگان:

دکتر محسن حمیدیان پور، دانشگاه سیستان و بلوچستان (گروه جغرافیای طبیعی)

دکتر فائزه شجاع، پژوهشگر اقلیم‌شناسی پسادکتری دانشگاه تهران

تابستان ۱۴۰۱

سرشناسه : حمیدیان پور، محسن، ۱۳۵۷.

عنوان و نام پدیدآور: مقدمه ای بر روش ها و شگردهای مدل سازی اقلیم و تغییر اقلیم / مولفین: محسن حمیدیان پور، فائزه شجاع کلاته میرعلی.

مشخصات نشر: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان ۱۴۰۱

مشخصات ظاهری: ۳۸۸ ص، وزیری، ۲۲۸.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۵۸-۲۳-۶

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

موضوع: ص.ع. به انگلیسی : Mohsen Hamidianpour, feaze shoja. Interoduction to methods and techniques of climate change modeling

موضوع: تغییرات اقلیمی - شبیه سازی - اقلیم شناسی - الگوهای ریاضی - داده پردازی - الگوهای ریاضی

شناسه افزوده: شجاع کلاته میرعلی، فائزه، ۱۳۶۵.

ویراستار ادبی: دکتر تقی طاوسی

شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان.

شناسه افزوده: University of Sistan and Baluchestan

رده بندی کنگره:

رده بندی دیویی:

شماره کتابشناسی ملی: ۹۰۴۴۳۳۶



ناشر: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه ای بر روش ها و شگردهای مدل سازی اقلیم و تغییر اقلیم

مولفین: دکتر محسن حمیدیان پور/دکتر فائزه شجاع کلاته میرعلی

چاپ: چاپخانه المهدی دانشگاه سیستان و بلوچستان

نوبت چاپ: اول ۱۴۰۱، قیمت: تومان، شمارگان: ۲۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۵۸-۲۳-۶

این کتاب با کاغذ حمایتی چاپ شده است.

تمام حقوق چاپ و نشر این اثر طبق قرارداد محفوظ است، هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ممنوع است، متخلفان به موجب قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

تقدیم به

**آنهايي که سخت گرفتند و مسائل را پیچیده‌تر کردن و
انگیزه ما برای فهمیدن را بیشتر کردند.**

۱	پیشگفتار.....
۷	فصل اول: اقلیم و انواع مدل‌های اقلیمی.....
۷	۱-۱- اقلیم (آب و هوا) چیست؟.....
۹	۲-۱- سامانه اقلیم زمین (کالبدی پیچیده و مرکب).....
۱۱	۱-۲-۱- اثر گلخانه‌ای.....
۱۲	۳-۱- واداشت‌های اقلیمی.....
۱۴	۴-۱- تفاوت بین واداشت و بازخوردها.....
۱۷	۵-۱- مدل و مدل اقلیمی چیست؟.....
۱۸	۶-۱- علل پیدایش رویکرد مدل‌سازی.....
۱۸	۷-۱- چرا مدل‌سازی می‌کنیم.....
۲۰	۸-۱- انواع مدل‌های اقلیمی.....
۲۰	۱-۸-۱- مدل‌های آماری-احتمالاتی.....
۲۲	۲-۸-۱- مدل‌های رقومی-فیزیکی.....
۲۴	۹-۱- انواع مدل‌های رقومی - فیزیکی.....
۲۴	۱-۹-۱- مدل‌های ترازمندی انرژی (EBMs) یک بعدی.....
۳۲	۲-۹-۱- مدل‌های تابشی-همرفتی (R-CMs) یک بعدی.....
۳۳	۳-۹-۱- مدل‌های آماری - دینامیکی (SDMs) دو بعدی.....
۳۴	۴-۹-۱- مدل‌های اقلیم جهانی (GCMs) سه بعدی.....
۳۹	۱۰-۱- تاریخ توسعه مدل‌سازی اقلیمی.....
۴۳	۱۱-۱- مدل‌های سامانه زمین (ESMs).....
۴۸	۱۲-۱- مدل‌های DCPD.....
۵۳	فصل دوم: اقلیم، تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیم جهانی.....
۵۳	۱-۲- مدل‌های اقلیم جهانی (GCMs).....

۶۰	۲-۲- اعتبار مدل‌های اقلیمی
۶۸	۳-۲- ویژگی‌های مدل‌های جهانی اقلیم
۷۰	۴-۲- ساختار یک مدل اقلیمی گردش عمومی
۷۲	۲-۴-۱- معادلات یک مدل اقلیمی
۸۰	۲-۵- مدل‌های اقلیمی چگونه کار می‌کنند؟
۸۳	۲-۶- محدودیت‌های مدل‌های جهانی اقلیم
۸۵	۲-۷- عوارض و پدیده‌های کوچک‌مقیاس
۸۵	۲-۸- توپوگرافی
۸۶	۲-۹- انواع مدل‌های گردش عمومی / مدل‌های اقلیمی جهانی (GCMS)
۸۸	۲-۱۰- بررسی اجمالی CMIP (پروژه مقایسه مدل جفت شده)
۹۷	۲-۱۰-۱- مدل اقلیمی CCSM
۹۸	۲-۱۰-۲- مدل اقلیمی HadCM3
۹۹	۲-۱۰-۳- مدل اقلیمی CGCM1
۹۹	۲-۱۰-۴- مدل اقلیمی NCAR/CSM
۱۰۰	۲-۱۰-۵- مدل اقلیمی HadGEM2-ES
۱۰۱	۲-۱۰-۶- مدل اقلیمی MIROC
۱۰۲	۲-۱۰-۷- CanESM
۱۰۳	۲-۱۱- تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی گردش عمومی (GCMS)
۱۱۰	۲-۱۲- سناریو
۱۱۳	۲-۱۲-۱- گزارش ویژه سناریوهای انتشار (SERS)
۱۱۴	۲-۱۲-۱-۱- سناریو A1
۱۱۵	۲-۱۲-۱-۲- سناریو A2
۱۱۵	۲-۱۲-۱-۳- سناریو B1
۱۱۶	۲-۱۲-۱-۴- سناریو B2
۱۱۷	۲-۱۲-۲- سناریوهای انتشار RCP
۱۱۹	۲-۱۲-۱-۲- سناریو RCP 8.5 (بالاترین سطح انتشار)

۱۲۰	۲-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 6 (با سطح انتشار متعادل (میانه))
۱۲۰	۳-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 4.5 (با سطح انتشار متعادل)
۱۲۱	۴-۲-۱۲-۲- سناریو RCP 2.6 (کمترین سطح انتشار)
۱۲۲	۳-۱۲-۲- سناریوهای انتشار SSP
۱۲۵	۱-۳-۱۲-۲- جزئیات SSPها
۱۳۱	۱۳-۲- کدام سناریو؟
۱۳۴	۱۴-۲- انتخاب مدل گردش عمومی جو (یا کدام GCM)
۱۳۷	۱۵-۲- انتخاب قدرت تفکیک فضایی (رزولوشن)
۱۳۸	۱۶-۲- انتخاب متغیر
۱۳۹	۱۷-۲- انتخاب دوره پایه
۱۴۰	۱۸-۲- پیش‌بینی مدل‌های گردش سیاره‌ای از شرایط اقلیمی آتی
۱۴۵	فصل سوم: مدل‌های منطقه‌ای اقلیم
۱۴۵	۱-۳- مقدمه
۱۴۶	۲-۳- مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCMs)
۱۴۹	۳-۳- طبقه‌بندی RCMs
۱۵۲	۴-۳- شرایط مرزی و اولیه RCMs
۱۵۴	۵-۳- مسائل مربوط به استفاده از مدل منطقه محدود تو در تو
۱۵۵	۱-۵-۳- لانه‌سازی عددی: فرمول‌بندی و خط مشی ریاضیاتی
۱۵۶	۲-۵-۳- تفاوت قدرت تفکیک فضایی بین داده‌های کنترل و مدل لانه‌ای
۱۵۷	۳-۵-۳- دوره تنیدگی
۱۵۹	۴-۵-۳- به‌روزرسانی (تغییرات) فراوانی شرایط مرزی (LBCs)
۱۶۰	۵-۵-۳- پرمایش فیزیکی سازگار
۱۶۲	۱-۵-۵-۳- طرح‌واره‌ها
۱۶۳	۶-۵-۳- خطاهای درونیابی افقی و عمودی
۱۷۴	۷-۵-۳- اندازه و مکان قلمرو

۱۷۹.....	۳-۵-۱- کیفیت داده‌های کنترلی.....
۱۷۹.....	۳-۵-۹- قدرت تفکیک RCMs و توپوگرافی.....
۱۸۰.....	۳-۵-۱۰- انحراف‌های اقلیمی (Climate Drift) یا خطاهای سامانمند (نظام‌مند).....
۱۸۲.....	۳-۵-۱۰-۱- تجربه برادر بزرگ (ناظر بزرگ).....
۱۸۳.....	۳-۶-۷- کاربردهای RCMs در مطالعات اقلیمی.....
.....	۳-۶-۱- ریزگردانی دینامیکی به منظور آشکارسازی تغییر اقلیم و ارزیابی پیامدهای آن
۱۸۶.....
۱۹۱.....	۳-۶-۱-۱- پروژه کوردکس.....
۱۹۶.....	۳-۶-۲- ریزگردانی دینامیکی به منظور پیش‌بینی‌های ماهانه، فصلی و سالانه.....
۱۹۹.....	۳-۶-۳- ریزگردانی دینامیکی و تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر اقلیم.....
۲۰۶.....	۳-۶-۴- ریزگردانی دینامیکی و نقش فرآیندهای سطحی در اقلیم منطقه‌ای.....
۲۰۷.....	۳-۶-۵- ریزگردانی دینامیکی و نقش هواویزها و گردوغبار در اقلیم.....
.....	۳-۶-۷- ریزگردانی دینامیکی و بررسی اندرکنش‌های موجود بین توپوگرافی و
۲۱۰.....	پدیده‌های اقلیمی.....
۲۱۱.....	۳-۶-۶-۱- نقش ارتفاعات در فرایندها و پدیده‌های اقلیمی.....
۲۱۹.....	۳-۶-۶-۲- نقش دریاچه‌ها در فرایندها و پدیده‌های اقلیمی.....
۲۲۲.....	۳-۷- مدل‌های ریزگردانی دینامیکی.....
۲۲۲.....	۳-۷-۱- مدل RegCM.....
.....
۲۲۵.....	فصل چهارم: ریزگردانی.....
۲۲۵.....	۴-۱- مقدمه.....
۲۲۶.....	۴-۲- ریزگردانی چیست؟.....
۲۲۸.....	۴-۳- فلسفه ریزگردانی.....
۲۳۰.....	۴-۴- انواع روش‌های ریزگردانی.....
۲۳۰.....	۴-۴-۱- ریزگردانی دینامیکی.....
۲۳۲.....	۴-۵- ریزگردانی آماری (تجربی).....

۲۳۴.....	۱-۵-۴- متغیرهای پیشگو.....
۲۳۴.....	۲-۵-۴- متغیرهای پیش‌بینی شونده.....
۲۳۸.....	۶-۴- فرضیات و پیش‌آگاهی‌ها در مورد ریزگردانی آماری.....
۲۴۱.....	۷-۴- طبقه‌بندی روش‌های ریزگردانی آماری.....
۲۴۲.....	۱-۷-۴- روش‌های تجربی ریزگردانی آماری.....
۲۴۷.....	۲-۷-۴- روش‌های ساده واسنجی و رفع اریبی.....
۲۴۷.....	۱-۲-۷-۴- تصحیح اریبی.....
۲۴۹.....	۲-۲-۷-۴- روش عامل تغییر (دلتا).....
۲۵۰.....	۳-۲-۷-۴- روش پیشرفته عامل تغییر.....
۲۵۱.....	۴-۲-۷-۴- روش تصحیح خطی.....
۲۵۲.....	۵-۲-۷-۴- روش تصحیح غیرخطی.....
۲۵۳.....	۶-۲-۷-۴- روش تصحیح اریبی نگاشت چندک (QM).....
۲۵۴.....	۷-۲-۷-۴- روش نگاشت هم فاصله توزیع تجمعی (EDCDFm).....
۲۵۵.....	۸-۲-۷-۴- روش تطبیق چندک (QM).....
۲۵۶.....	۹-۲-۷-۴- روش تبدیل تابع توزیع تجمعی (CDF-t).....
۲۶۰.....	۱۰-۲-۷-۴- روش تطبیق چندک با برونیابی دلتا (QMD).....
۲۶۱.....	۱۱-۲-۷-۴- روش نسبت گیری خطی (LS) (برای تصحیح خطای بارش و دما).....
۲۶۲.....	۱۲-۲-۷-۴- روش تبدیل روزانه برای تصحیح خطای بارش و دما (DT).....
۲۶۳.....	۱۳-۲-۷-۴- روش مقیاس‌گذاری شدت محلی (LOCI) برای تصحیح خطای بارش.....
۲۶۴.....	۱۴-۲-۷-۴- روش تغییر توانی (PT) برای تصحیح خطای بارش.....
۲۶۴.....	۱۵-۲-۷-۴- روش مقیاس‌گذاری واریانس (VARI) برای تصحیح خطای دما.....
۲۶۵.....	۱۶-۲-۷-۴- روش نگاشت توزیع (DM) برای تصحیح خطای بارش و دما.....
۲۶۷.....	۱۷-۲-۷-۴- روش نگاشت چندک تجربی (EQM) برای تصحیح خطای بارش و دما.....
۲۶۸.....	۱۸-۲-۷-۴- روش نگاشت چندک گاما.....
۲۶۹.....	۳-۷-۴- روش‌های خوشه‌بندی.....
۲۷۰.....	۱-۳-۷-۴- طرح‌های طبقه‌بندی اقلیم.....
۲۷۲.....	۲-۳-۷-۴- مدل آنالوگ.....
۲۷۵.....	۳-۳-۷-۴- نقشه‌های خود سازمان دهنده (SOMs).....

۲۷۸.....	۴-۷-۴- روش‌های توابع انتقالی.....
۲۷۹.....	۴-۷-۴-۱- روش‌های مبتنی بر رگرسیون
۲۹۱.....	۴-۷-۴-۲- تفاوت شبکه‌های عصبی و تحلیل رگرسیون چند متغیره
۲۹۲.....	۴-۷-۵- مولدهای اقلیمی (WG).....
۲۹۶.....	۴-۷-۵-۱- روش نوع ریچاردسون.....
۲۹۷.....	۴-۷-۵-۲- مدل زنجیره مارکوف
۲۹۹.....	۴-۷-۵-۳- مدل WGEN.....
۳۰۲.....	۴-۷-۵-۴- مدل ClimGen.....
۳۰۵.....	۴-۷-۵-۵- مدل CLIGEN.....
۳۰۸.....	۴-۷-۵-۶- مدل LARS-WG.....
۳۱۰.....	۴-۸- ریزگردانی آماری یا تصحیح بایاس.....
۳۱۲.....	۴-۹- عدم قطعیت در پیش‌نمایی‌های اقلیمی.....
۳۱۴.....	۴-۹-۱- تغییرپذیری طبیعی.....
۳۱۵.....	۴-۹-۲- عدم قطعیت سناریو.....
۳۱۶.....	۴-۹-۳- عدم قطعیت مدل.....
۳۱۷.....	۴-۱۰- انواع عدم قطعیت‌ها و نحوه بررسی آن‌ها.....
۳۲۵.....	۴-۱۱- روش‌های کاهش عدم قطعیت (میانگین‌گیری مدل‌ها).....
۳۲۹.....	۴-۱۱-۱- میانگین مدل‌های GCM.....
۳۳۰.....	۴-۱۱-۲- روش میانگین‌گیری وزنی.....
۳۳۱.....	۴-۱۱-۳- روش میانگین‌گیری مدل بیزی.....
۳۳۲.....	۴-۱۱-۴- روش همادی درختی.....
۳۳۴.....	۴-۱۱-۵- ماشین بردار پشتیبان.....
.....	۴-۱۱-۶- میانگین‌گیری گروهی مبتنی بر عملکرد با استفاده از ریشه میانگین مربعات
۳۳۵.....	خطا و ضریب همبستگی زمانی.....
۳۳۶.....	۴-۱۱-۷- سامانه همادی وزنی بر اساس نمره مهارت تیپور.....
۳۳۷.....	۴-۱۲- نمایه‌های ارزیابی عملکرد.....

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
۴-۱۳-رتبه بندی مدل های جهانی اقلیم.....	۳۴۰
۴-۱۴-نقاط ضعف و قوت ریزمقیاس نمایی آماری و دینامیکی.....	۳۴۰
۴-۱۵-چگونگی انتخاب مدل ریزگردانی دینامیکی و آماری.....	۳۴۲
کتابنامه.....	۳۴۶

پیشگفتار

هدف از نگارش این کتاب آموزش و فراگیری الفبای مفاهیم کاربردی مدل‌سازی اقلیمی، استفاده از مدل‌های گردش سیاره‌ای (GCMS) و روش‌های استفاده از آنها شامل ریزگردانی دینامیکی یا مدل‌های منطقه‌ای اقلیم (RCMS) و ریزگردانی آماری است. امروزه از یک سو با پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم روبرو هستیم که برای شناخت آن باید سوار بر مرکب زمان، راهی آینده شد و با توجه به پیش‌فرض‌های که با واقعیت‌های حال حاضر تطابق دارند به پیش‌نمایی این پدیده و پیامدهای احتمالی آن پردازیم، به گونه‌ای که محیط‌زیست را که تنها گاهواره امن ماست -پیش از مواجهه با خطر- پیش‌آگاهی دهیم و سرانجام آن را حفظ کنیم. از سوی دیگر می‌دانیم سیاره زمین دوره‌های گوناگونی را تجربه کرده است و بنا بر شواهد زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و ...، بروز و ظهور اقلیم‌های سرد تا گرم را از سرگذرانده است و همین موضوع پرسش‌های بیشماری را فرا روی انسان قرار داده است. بدیهی است که بشر در حصار زمان محدود است و امکان سیر در گذشته و آینده را ندارد اما به مدد دانش و تجربه بشری و درک و مشاهده طبیعت برای تحلیل پدیده‌های مختلف به سوی مدل‌سازی گام برداشته است. پدیده‌های مختلفی از آغاز خلقت زندگی و حیات بشر را تحت تأثیر قرار داده‌اند و انسان در گذر زمان و تجربه اندوزی مداوم به منظور تحلیل پدیده‌های مختلف روی به ساده‌سازی و استفاده از مدل‌ها آورده است تا به مدد آن بتواند بر ناملايمات طبیعی غلبه نماید یا از فرصت‌های بدست آمده در جهت آسایش و رفاه خود استفاده کند. بدیهی است که مجموع پدیده‌های اقلیمی از گذشته‌های دور در مرکز توجه انسان

بوده است چرا که پیامدهای حاصل از بروز و ظهور پدیده‌های اقلیمی به طور مستقیم بر زندگی بشر تأثیر گذارند و از این رو بشر برای درک و تحلیل موضوع پیچیده اقلیم ناگزیر روی به ساخت مدل از این پدیده آورده است. تا مدت‌ها ذهن جغرافی‌دانان و دانشمندان حوزه علوم زیستی معطوف به این پرسش بزرگ بود که آیا کنش‌های مابین ناهمواری‌های زمین، پوشش گیاهی، کاربری زمین و سایر عوامل طبیعی به عنوان خرد دستگاه‌های تأثیرگذار بر سامانه‌های اقلیمی و متغیرهای هواشناسی می‌توانند در شکل یک مدل تجمیع شوند و به فهم کنش‌ها و شناخت عمیق‌تر پدیده‌های اقلیمی کمک کنند. نوشتار پیش رو با همین رویکرد و به منظور آموزش و فراگیری استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش عمومی با تأکید بر اقلیم، تغییر اقلیم و همچنین شناخت مقدماتی و پیش‌نیازهای ضروری مدل‌های منطقه‌ای اقلیم در شبیه‌سازی پدیده‌ها و فرایندهای اقلیم به رشته تحریر درآمده است. در تدوین این نوشتار تا حد امکان از معرفی نرم‌افزار خودداری شده است. از نظر نویسندگان بهترین آموزگار برای هر پژوهشگری در فراگیری یک نرم‌افزار، مستندات تعبیه شده در خود نرم‌افزار است که نویسندگان آن را در زبانه Help قرار می‌دهند و یا گاهی شیوه‌نامه آن (Handbook) توسط توسعه‌دهندگان نرم‌افزار تهیه می‌شود و نیازمند ترجمه و ارائه آن در کتاب نیست. این موضوع می‌تواند در مواردی سودمند نباشد چرا که نخست خواننده از یادگیری زبان انگلیسی باز می‌دارد و دوم آنکه از تمرکز مترجم و نویسنده کتاب به موضوعات اصلی می‌کاهد.

نکته مهم در نگارش این کتاب این است که تلاش شد تا کتاب‌های تدوین شده به زبان فارسی در این باره که توسط پژوهشگران اقلیم‌شناس در حوزه‌های علمی گوناگون تدوین شده است مطالعه شود و سعی بر آن شد که ارزش افزوده‌ای نسبت به آنها در کتاب پیش رو ارائه شود و از این رو در همین جا از تمامی نویسندگان و مؤلفین این حوزه قدردانی می‌شود چرا که تمامی این بزرگواران به صورت غیر مستقیم به ارتقاء این نوشتار کمک نموده‌اند. همچنین از دانشجویان کارشناسی ارشد ورودی سال ۱۳۹۶ رشته اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان قدردانی می‌شود که نسخه اولیه این کتاب را مطالعه و افزون بر ارائه پیشنهادها، اشکالات نسخه اولیه

را نیز متذکر شده‌اند. نسخه اولیه این کتاب در سال ۱۳۹۴ تدوین شد و تا سال ۱۳۹۶ به طور پیوسته و قوی بر بخش‌های گوناگون آن افزوده شد، اما متأسفانه با حذف درس از دوره کارشناسی ارشد، موجی از ناامیدی و یاس به راه افتاد که مؤلفین را در پیگیری موضوع مردد ساخت، اما در سال‌های بعدی با تدریس دروسی چون درس تحلیل سینوپتیک مخاطرات محیطی (مقطع دکتری)، تحلیل و پیش‌نگری تغییر اقلیم (مقطع دکتری)، روش‌های اقلیم‌شناسی سینوپتیک (مقطع کارشناسی ارشد) و همچنین درس پیش‌نیاز مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای در دوره دکتری مجدداً ضرورت پیگیری نگارش و تکمیل کتاب درسی در خصوص مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم و معرفی روش‌های آن به دانشجویان، احساس و تلاش مضاعفی نیز توسط نگارندگان صورت پذیرفت. چراکه هدف گشودن دریچه‌های نوین علم و دانش به روی فراگیران است. به هر روی امیدبخشی و روحیه‌ای که دانشجویان مقطع دکتری به نگارندگان دادند منجر به آن شد که مجدد تجدیدنظری در کتاب صورت پذیرد و نوشتار اولیه با شکلی نو به زیور طبع آراسته شود و امیدواریم که این کتاب دریچه‌ای نوین بر روی همه عزیزان خواننده بگشاید.

این کتاب دارای چهار فصل است که هر فصل موضوع ویژه در عین حال مرتبط به کلیت کتاب را دنبال می‌کند. **فصل اول** کتاب بیشتر به مبانی نظری و تعاریف اولیه مدل و مدل‌سازی و نیاز انسان به مدل‌سازی و انواع مدل‌های اقلیمی می‌پردازد. با توجه به اینکه مدل‌های گردش عمومی جو (GCMها) جز جامع‌ترین مدل‌ها هستند؛ بنابراین در **فصل دوم** به طور ویژه به معرفی این مدل‌ها پرداخته‌ایم. یکی از پرکاربردترین استفاده‌های این مدل‌ها در پیش‌نمایی تغییر اقلیم بر مبنای سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و اقلیمی است؛ بنابراین ضرورت داشت بخشی از این فصل را نیز به انواع GCMها و سناریوهای موجود بپردازیم. در بیشتر مواقع پژوهشگران پرسش بنیادین آنها انتخاب سناریوها است. در این فصل برحسب دانش نگارندگان تلاش شد تا توضیح کافی در این خصوص به پژوهشگران ارائه شود. بعضاً به دلیل شناخت اندرکنش‌های بین خرد دستگاه‌های مختلف طبیعت (اعم از زیست سپهر، هواسپهر، یخ‌سپهر و ...) نیاز به بررسی جزئیات بیشتری است که می‌توان به این مهم با مدل‌های RCMS دست پیدا کرد. بدین منظور

فصل سوم به معرفی RCMS و مسائلی مهم در تصمیم‌گیری اولیه این مدل‌ها و همچنین کاربردهای مختلف آنها می‌پردازد. ارتباط این فصل با فصل دوم به این دلیل است که RCMS نیازمند به استفاده از مدل‌های GCM می‌باشد. به هر روی در این فصل ضمن طبقه‌بندی RCMS، سرانجام مسائل مختلف و ضروریات مرتبط به این دست از مدل‌ها معرفی می‌شود. این فصل دریچه‌ای مفهومی، همراه با جزئیات بیشتر برای پژوهشگران اقلیم باز می‌نماید که در صورت نیل به سمت مطالعات ریزگردانی دینامیکی موضوعات جدید گشوده می‌شود. در این فصل از نتایج پژوهش‌های زیادی استفاده و سعی شده است دیدگاه نویسندگان لحاظ شود؛ ولی با عنایت بر انصاف لازم است بیان شود که اندیشه اصلی و تا حدودی چهارچوب نوشتاری بر اساس مقاله دنیس و همکاران، (۲۰۰۲) و وانگ و همکاران (۲۰۰۴)، مطرح و سعی شده است با استفاده از مثال‌های بیشتر، مسائل به‌ویژه نمونه‌های بومی و محلی موضوعات برای خوانندگان روشن شود. شایان ذکر است با توجه به اینکه مدل RegCM اولین مدل دینامیکی با هدف بررسی اقلیمی است این فصل بیشتر معطوف به ارائه مثال‌ها و بررسی پیشینه مطالعات پیرامون این مدل است، این در حالی است که مدل‌های ریزگردانی فراوانی وجود دارند که قابل توسعه نیز هستند.

هرچند که RCMها خود روشی برای ریزگردانی و کسب ارزش افزوده بیشتر در مقیاس منطقه‌ای، محلی و خرد هستند، در واقع ریزگردانی دینامیکی امکان شبیه‌سازی دینامیکی را مبتنی بر معادلات بنیادین فیزیک اعم از معادله حرکت، حالت، ترمودینامیک و غیره به پژوهشگران می‌دهد و پژوهشگر قادر است به کشف ناشناخته‌های موجود اقلیم بپردازد. افزون بر این یکی از کاربردهای آن نیز در راستای پیش‌نمایی تغییر اقلیم است. با وجود این در راستای هدف اخیر (تغییر اقلیم) شگرد و فن دیگری به نام ریزگردانی آماری یا تجربی وجود دارد که می‌توان جهت استفاده از مدل‌های GCM استفاده کرد. با این تفاوت که در این مدل‌ها با توجه به رابطه تجربی که بین داده‌های مشاهده شده ایستگاهی و مدل‌های GCM وجود دارد، سعی در تولید سری زمانی جدید برای دوره‌های آتی با همان رابطه است. بدین معنی دیگر به‌مانند مدل‌های RCM از طرح‌واره و داده‌های مرزی و غیره استفاده نمی‌کنند بر همین اساس روش‌های ساده و کم‌هزینه و

سریع‌تری به‌منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی هستند؛ بنابراین فصل **چهارم** به انواع روش‌های ریزگردانی آماری اختصاص یافته است. نخست فلسفه این شگرد شرح داده شده و دسته‌بندی از تمامی شگردهای موجود تا حد امکان ارائه گردیده است. باید آگاه باشیم که در موضوع پیش‌نمایی تغییر اقلیم یکی از بحث‌های مهم «عدم قطعیت» است؛ بنابراین این موضوع نیز در این فصل مورد توجه نویسندگان قرار گرفته است. بامطالعه این فصل پژوهشگر توانا خواهد بود ابزار مورد نیاز خود یعنی روش ریزگردانی دینامیکی و یا آماری را با توجه هدف خود انتخاب نماید.

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همه سروان و بزرگواری که به شیوه‌ی مستقیم و غیرمستقیم مانند تدوین مقالات، کتاب‌ها و برگزاری کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها و غیره در نگارش این نوشتار یاری‌گر نگارندگان این کتاب هستند سپاسگزاری نمایند. بی‌شک بدون تجربه و دانش پیشین ایشان اثری خلق نمی‌شد و در نتیجه از نگارندگان نیز هیچ یادگاری برای آیندگان باقی نمی‌ماند.

در پایان نویسندگان وظیفه خود می‌دانند از تمام عزیزانی که در آماده شدن این نوشتار ما را یاری رسانده‌اند قدردانی نمایند. از همکار گرامی جناب آقای دکتر محمود خسروی عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر همفکری و راهنمایی‌های ارزنده‌شان و از جناب آقای دکتر حمیدرضا ناصری عضو هیات علمی دانشگاه تهران (مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان) برای بازخوانی و ویرایش پیشگفتار کتاب سپاسگزاری می‌شود. ویرایش ادبی کتاب را جناب آقای دکتر تقی طاوسی عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان به انجام رسانده‌اند. بدین وسیله مراتب سپاس و امتنان خود را از ایشان ابراز و اعلام می‌داریم. همچنین از آقای دکتر نورمحمد یعقوبی معاون محترم پژوهشی، آقای ابراهیم شهریاری و خانم مریم رحیمی‌مقدم و دیگر سروان در حوزه‌ی معاونت پژوهشی و اداره‌ی نشریات دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر تلاش‌های بی‌شائبه‌شان در زمینه انتشار این کتاب و تسریع امور مربوطه کمال قدردانی بعمل می‌آید.

این کتاب را به تمامی عزیزان و بزرگواری که مشوق ما در تالیف این نوشتار بوده‌اند، بویژه دانشجویان گرامی، تقدیم می‌داریم. به امید آینده‌ای نه چندان دور با بهره‌گیری از پیشنهادات

و نقطه نظرات خوانندگان و علاقمندان گرامی، نقایص این مجموعه را با نوشتاری فراگیرتر جایگزین نماییم. اگر ایرادی در کتاب وجود دارد قاعدتاً متوجه نویسندگان کتاب است. با آگاهی از اینکه هیچ اثری خالی از کاستی نخواهد بود، بنابراین نگارندگان این اثر از تمامی خوانندگان، پژوهشگران، صاحب‌نظران، فرهیختگان ارجمند تقاضا دارند که مولفین این کتاب را از انتقادات و پیشنهادهای ارزشمند خویش بی‌نصیب نگذارند.

و آنچه نادیدنی است آن بینی
همه آفاق گلستان بینی
آفتابش در میان بینی (هاتف اصفهانی)

چشم دل‌باز کن که جان بینی
گر به اقلیم عشق روی آری
دل هر ذره‌ای را که بشکافی

راه‌های ارتباطی با نویسندگان:

فائزه شجاع

faeze.shoja@yahoo.com



SHOJA_FAEZE

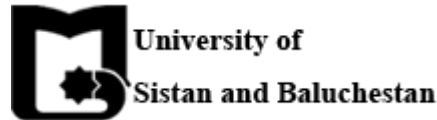
محسن حمیدیان پور

mhamidianpour@gep.usb.ac.ir



MOHSEN_HAMIDIANPOUR

شهریور ۱۴۰۱



Introduction to methods and Techniques of climate and climate change modeling

Mohsen Hamidianpour
University of Sistan and Baluchestan
(Physical Geography)

Faeze Shoja
Postdoctoral Researcher in Climatology, University
of Tehran

Summer 2022



Introduction to methods and techniques of climate and climate change modeling

۲۰۲۰

Cooler Average temperature over reference period (1971-200) Warmer

Global

Dr. Mohsen Hamidianpour

Dr. Faeze Shoja

امروزه از یک سو با پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم روبرو هستیم که برای شناخت آن باید سوار بر مرکب زمان، راهی آینده شد و با توجه به پیش‌فرض‌های که با واقعیت‌های حال حاضر تطابق دارند به پیش‌نمایی این پدیده و پیامدهای احتمالی آن پردازیم، به‌گونه‌ای که محیط‌زیست را که تنها گاهواره امن ماست -پیش از مواجهه با خطرها - پیش‌آگاهی دهیم و سرانجام آن را حفظ کنیم. از سوی دیگر می‌دانیم سیاره زمین دوره‌های گوناگونی را تجربه کرده است و بنا بر شواهد زمین‌شناسی، زیست‌شناسی و ...، بروز و ظهور اقلیم‌های سرد تا گرم را از سرگذرانده است و همین موضوع پرسش‌های بیشماری را فرا روی انسان قرار داده است. بدیهی است که بشر در حصار زمان محدود است و امکان سیر در گذشته و آینده را ندارد اما به مدد دانش و تجربه بشری و درک و مشاهده طبیعت برای تحلیل پدیده‌های مختلف به سوی مدل‌سازی گام برداشته است. بنابراین به منظور درک چگونگی فعالیت سامانه‌ی اقلیم در گذشته، حال و آینده بهتر است که اقلیم مدل شده باشد و از طرفی به منظور مدل‌سازی اقلیم، بسیار مهم است آگاه باشیم که اقلیم چگونه فعالیت می‌کند.

ISBN:978-622-6858-23-6



9

786226 858236