

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی

تألیف

حسین محمدی - استاد دانشگاه تهران

فاطمه ربانی - دانش‌آموخته دکتری دانشگاه تهران

ابراهیم امیری - دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان



شماره مسلسل ۸۸۳۹

شماره انتشار ۳۷۴۸

## انتشارات دانشگاه تهران

|                     |                                                                                |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : محمدی، حسین، ۱۳۳۶-                                                           |
| عنوان و نام پدیدآور | : تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی / تألیف حسین محمدی، فاطمه ربانی، ابراهیم امیری. |
| مشخصات نشر          | : تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۵.                                  |
| مشخصات ظاهری        | : د، ۱۸۶ ص: مصور.                                                              |
| فروپشت              | : انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۷۴۸.                                   |
| شابک                | : 978-964-03-6936-4                                                            |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | : قیفا                                                                         |
| یادداشت             | : کتابنامه.                                                                    |
| یادداشت             | : نمایه.                                                                       |
| موضوع               | : اقلیم‌شناسی - الگوهای ریاضی                                                  |
| موضوع               | : Climatology--Mathematical Models                                             |
| موضوع               | : تغییرات اقلیمی                                                               |
| موضوع               | : Climatic Changes                                                             |
| موضوع               | : اقلیم‌شناسی - جنبه‌های زیست‌محیطی - شبیه‌سازی                                |
| موضوع               | : Climatology-- Environmental Aspects-- Simulation Methods                     |
| شناسه افزوده        | : امیری، ابراهیم، ۱۳۰۷-                                                        |
| شناسه افزوده        | : ربانی، فاطمه، ۱۳۰۰-                                                          |
| شناسه افزوده        | : دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات                                                |
| رده‌بندی کنگره      | : ۱۳۹۵ ق ۳۷۴۸                                                                  |
| رده‌بندی دیویی      | : ۵۵۱/۶۰۱۱                                                                     |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۴۲۳۸۶۲۵                                                                      |

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.

ISBN 978-964-03-6936-4



9 789640 369364

عنوان: تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی  
تألیف: دکتر حسین محمدی - فاطمه ربانی - ابراهیم امیری  
نوبت چاپ: اول  
تاریخ انتشار: ۱۳۹۵  
شمارگان: ۵۰۰ نسخه  
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۱۲۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش می‌مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

## فهرست

|    |                                   |
|----|-----------------------------------|
| ۱  | فصل اول: تغییر اقلیم              |
| ۱  | مقدمه                             |
| ۵  | گازهای گلخانه‌ای                  |
| ۱۵ | اثرات تغییر اقلیم                 |
| ۱۹ | آسیب‌پذیری انسان                  |
| ۲۲ | خلاصه فصل اول                     |
| ۲۳ | منابع فصل اول                     |
| ۲۵ | فصل دوم: سیستم اقلیم              |
| ۲۵ | سیستم اقلیم                       |
| ۲۸ | واداشت و بازخورد اقلیمی           |
| ۲۹ | اساس واداشت تابشی                 |
| ۲۹ | تابش جسم سیاه                     |
| ۳۱ | بازخوردهای اقلیمی                 |
| ۳۲ | پارامتر بازخورد اقلیم             |
| ۳۳ | نقش بازخوردهای آب وهوا به دما     |
| ۳۵ | بازخورد بخار آب                   |
| ۳۸ | بازخورد یخ و برف                  |
| ۳۹ | بازخورد ابر                       |
| ۴۲ | سایر بازخوردهای سیستم آب وهوا     |
| ۴۲ | سرمایش لایه استراتوسفر            |
| ۴۳ | بازخورد افت آهنگ دما              |
| ۴۴ | بازخوردهای بیوشیمیایی و چرخه کربن |
| ۴۴ | حساسیت اقلیمی                     |
| ۴۶ | مقیاس‌های فضایی و زمانی           |
| ۴۹ | خلاصه فصل دوم                     |
| ۵۰ | منابع فصل دوم                     |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| ۵۱.....  | فصل سوم: مدل سازی سیستم اقلیم.....    |
| ۵۲.....  | مدل سازی آب و هوا.....                |
| ۵۴.....  | تاریخچه مدل های آب و هوایی.....       |
| ۵۷.....  | مدل آب و هوا.....                     |
| ۶۱.....  | مؤلفه های یک مدل آب و هوایی.....      |
| ۶۱.....  | جو.....                               |
| ۶۳.....  | طرح ریزی شبکه محدود مدل های جوی.....  |
| ۶۶.....  | اقیانوس.....                          |
| ۶۸.....  | یخ دریا.....                          |
| ۶۹.....  | سطح زمین.....                         |
| ۷۲.....  | بیورئوشیمی دریایی.....                |
| ۷۳.....  | صفحات یخ.....                         |
| ۷۴.....  | مدل های اقلیم جهانی.....              |
| ۷۹.....  | ساختار یک مدل جوی.....                |
| ۸۱.....  | نیاز به ساده سازی.....                |
| ۸۲.....  | قدرت تفکیک زمانی و فضایی.....         |
| ۸۴.....  | انواع مدل های آب و هوا.....           |
| ۸۸.....  | مدل های موازنه انرژی.....             |
| ۹۰.....  | مدل تابشی - همرفتی یک بعدی.....       |
| ۹۱.....  | مدل با پیچیدگی متوسط.....             |
| ۹۲.....  | مدل های گردش عمومی (GCMs).....        |
| ۹۴.....  | مدل های سیستم آب و هوایی جفت شده..... |
| ۹۵.....  | اجزای مدل گردش عمومی جوی.....         |
| ۹۶.....  | انتقال تابشی.....                     |
| ۹۸.....  | لایه مرزی.....                        |
| ۱۰۰..... | پیش بینی ابر.....                     |
| ۱۰۳..... | فرایندهای همرفت.....                  |
| ۱۰۶..... | بارش.....                             |
| ۱۰۶..... | کشش موج گرانش.....                    |

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| ۱۰۷ | مدل‌های آب و هوایی در عمل             |
| ۱۰۸ | مدل آب و هوایی CCSM3                  |
| ۱۱۰ | مدل اقلیم جهانی HadCM3                |
| ۱۱۲ | مدل MPI-ESM                           |
| ۱۱۳ | تأیید، اعتبارسنجی و آزمون مدل         |
| ۱۱۸ | خلاصه فصل سوم                         |
| ۱۱۹ | منابع فصل سوم                         |
| ۱۲۱ | فصل چهارم: مدل‌های اقلیم منطقه‌ای     |
| ۱۲۲ | ضرورت مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای         |
| ۱۲۳ | مدل‌های اقلیم منطقه‌ای و شبیه‌سازی‌ها |
| ۱۲۷ | روش‌های مدل‌سازی اقلیم منطقه‌ای       |
| ۱۳۱ | خلاصه فصل چهارم                       |
| ۱۳۲ | منابع فصل چهارم                       |
| ۱۳۳ | فصل پنجم: ریزمقیاس‌نمایی              |
| ۱۳۳ | مقدمه                                 |
| ۱۳۴ | ریزمقیاس‌نمایی                        |
| ۱۳۵ | روش ریزمقیاس‌نمایی                    |
| ۱۳۵ | ۱- ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی            |
| ۱۳۵ | ۱-۱ مدل RegCM                         |
| ۱۳۶ | ۲- ریزمقیاس‌نمایی آماری               |
| ۱۳۷ | ۱-۲ روش‌های خطی                       |
| ۱۳۷ | ۲-۲ طبقه‌بندی آب و هوا                |
| ۱۳۸ | ۳-۲ مولدهای آب و هوا                  |
| ۱۴۲ | ۲-۳-۱ مدل لارس- دلبیوجی               |
| ۱۴۴ | خلاصه‌ای از فرآیند مدل لارس- دلبیوجی  |
| ۱۴۶ | ۲-۳-۲ مدل MarkSim GCM                 |
| ۱۴۶ | ۳-۳-۲ مدل مخفی غیرهمگن مارکف (NHMM)   |
| ۱۴۷ | ۳- روش مختلط                          |

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۱۴۷ | ۱-۳ روش جداسازی فضایی بایاس اصلاح‌شده (BCSD)..... |
| ۱۴۷ | ۲-۳ مدل (SDSM).....                               |
| ۱۵۰ | مهارت نسبی ریزمقیاس‌نمایی آماری و دینامیکی.....   |
| ۱۵۱ | خلاصه فصل پنجم.....                               |
| ۱۵۲ | منابع فصل پنجم.....                               |
| ۱۵۳ | <b>فصل ششم: پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم.....</b>     |
| ۱۵۳ | نیاز به پیش‌بینی هوا و ماهیت آن.....              |
| ۱۵۴ | پیش‌بینی سناریوها و طرح ریزی‌ها.....              |
| ۱۵۵ | سناریوهای منتشرشده بر پایه IPCC.....              |
| ۱۵۹ | هدف از سناریوها و ساخت سناریو.....                |
| ۱۶۱ | گزارش ویژه سناریوهای انتشار (SPES).....           |
| ۱۶۴ | خط سیر نشانگر تراکم (PCPs).....                   |
| ۱۶۶ | تفاوت در پیش‌بینی آب و هوا.....                   |
| ۱۶۸ | خلاصه فصل ششم.....                                |
| ۱۶۹ | منابع فصل ششم.....                                |
| ۱۷۱ | منابع و مآخذ.....                                 |
| ۱۷۵ | واژگان فارسی.....                                 |
| ۱۷۹ | واژگان انگلیسی-فارسی.....                         |
| ۱۸۳ | نمایه.....                                        |

## مقدمه نویسندگان

تغییرات اقلیم از پیچیده‌ترین چالش‌هایی است که بشر در حال حاضر و در آینده با آن مواجه بوده و خواهد بود. از شروع دهه ۱۹۸۰، تهدیدی که توجه عمومی را به خود جلب کرد، گرم‌شدن قابل‌ملاحظه کره زمین به علت افزایش دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو بوده است. طبق آخرین گزارش‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اثر فعالیت‌های بشری عامل اصلی تغییرات اقلیمی در قرن اخیر بوده و بیشتر مناطق کره زمین را با افزایش دما، تغییرات در رژیم بارشی و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن مواجه خواهد کرد. تاکنون مطالعات فراوانی برای ارزیابی اقلیم دهه‌های آینده صورت پذیرفته است. هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم در سال ۱۹۸۸ برای ارزیابی اطلاعات موجود فنی و علمی مربوط به موضوع تغییر اقلیم ایجاد شد. این هیأت از زمان تأسیس، نشست‌ها و کنوانسیون‌های مختلفی برای ارزیابی و جلوگیری از تغییرات اقلیم داشته است. کتابی که پیش‌رو دارید به شکل مجموعه‌ای بهم‌پیوسته از وضعیت اقلیم و ابزارهای مورد استفاده در بررسی اقلیم تألیف شده است. در این کتاب به علل تغییرات کنونی اقلیم و اثرات آن، سیستم اقلیم و مولفه‌های سیستم اقلیم، مدل‌سازی سیستم اقلیم و تاریخچه آن، مدل‌های گردش عمومی، مدل‌های اقلیم منطقه‌ای، سناریوهای تغییر اقلیم و روش‌های کوچک‌مقیاس کردن مدل‌های گردش عمومی پرداخته شده است. ساختار کتاب بر شش فصل به شرح زیر تنظیم شده است:

فصل اول به شرایط کلی، تعاریف، مفاهیم، گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن پرداخته است.

فصل دوم به سیستم اقلیم و بازخوردهای مختلف اقلیمی توجه داشته است.

فصل سوم به ماهیت مدل‌سازی سیستم اقلیم و تاریخچه مدل‌های آب و هوا اشاره شده است.

فصل چهارم شامل مدل‌های اقلیم منطقه‌ای، ضرورت مدل‌سازی و شبیه‌سازی اقلیم منطقه‌ای است.

فصل پنجم به تکنیک‌های ریزمقیاس کردن مدل‌های گردش عمومی اشاره کرده است.

در فصل ششم، پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم، سناریوها و طرح‌ریزی‌ها بررسی شده است.

این کتاب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و علاقه‌مندان به مباحث تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی مفید خواهد بود.