



عادل جلیلی، رئیس مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
پست الکترونیک: Jalili@riff-ac.ir



مصطفی جعفری، سرمؤلف ارزیابی جهانی تغییر اقلیم (IPCC)، برنده مشترک جایزه صلح نوبل در سال ۲۰۰۷ میلادی، عضو هیئت علمی و مشاور تغییر اقلیم، مجری تدوین استراتژیک برنامه کلان تحقیقات تغییر اقلیم  
پست الکترونیک: mostafafafari@riff-ac.ir

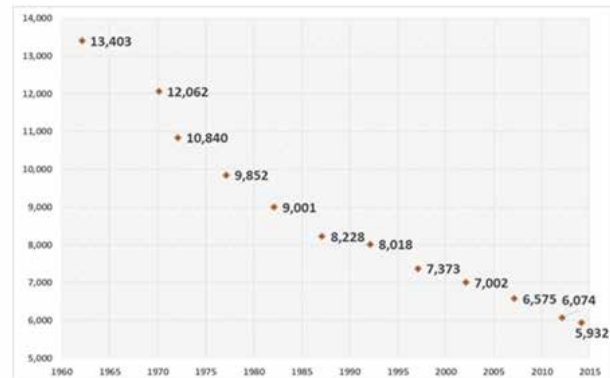
## فاکتور جمعیت و پدیده بحران آب در ایران

تصویر تاریخی ارتباط انسان و آب در فلات ایران نشان می‌دهد در گذشته پراکنش سکونتگاه‌ها و بزرگی جمعیت آنها ارتباط معنی‌داری با پراکنش و کمیت منابع آبی این سرزمین داشته است. استفاده ثقی از رودخانه‌ها، وجود نوعی سطوح آبگیر ابتدایی در پایین دست چشمه‌ها و برداشت متعادل از آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های سازگار چون قنات، زمینه‌ار تباط پایدار انسان و منابع آبی رافراهم می‌کرد. افزایش جمعیت، دسترسی انسان به ابزار، دانش و تکنولوژی کنترل، برداشت نامحدود و انتقال آب و ظهور کلان شهرها و مراکز متمرکز کشاورزی و صنعتی، همه و همه ناشی از رویکرد توسعه‌ای اشتباه، ناپایدار و نامتعادل، عدم آگاهی از فرایند حاکم بر طبیعت و خروجی اجتناب‌ناپذیر متغیر زمان است.

افزایش جمعیت خود به تنهایی مؤلفه مادر است. شاخصی تحت عنوان سرانه آب (براساس میزان آب قابل استحصال) می‌تواند موقعیت هر سرزمین را از نقطه نظر جایگاه آب به عنوان متغیر تعیین‌کننده در توسعه آن مشخص کند. سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل (FAO) سرانه آب در مقیاس جهانی را محاسبه کرده است. به‌طوریکه از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ سرانه آب از ۱۳۴۰۳ مترمکعب برای هر فرد به ۵۹۳۲ مترمکعب یعنی کمتر از نصف رسیده است (شکل ۱). با این حساب اگر قرار بود متوسط جهانی سرانه آب در سال ۲۰۱۵، در ایران وجود داشت، جمعیت هم‌اکنون ما باید ۲۱ میلیون نفر می‌بود.

برای محاسبه سرانه آب در ایران می‌توان براساس دو سناریو عمل کرد؛ آب قابل استحصال ایران براساس متوسط درازمدت حدود ۱۲۶ میلیارد مترمکعب است در این سناریو سرانه آب کشور با جمعیت حدود ۸۳ میلیون نفر برابر با ۱۵۱۸ مترمکعب می‌شود درحالی‌که با توجه به تغییر اقلیم و کاهش آورد آبی رودخانه در دهه اخیر براساس محاسبه وزارت نیرو به عدد ۸۸ میلیارد مترمکعب رسیده، یعنی حدود ۳۰ درصد کاهش پیدا کرده است. در این سناریو عدد سرانه آب کشور حدود ۱۰۶۰ مترمکعب محاسبه می‌شود. در رابطه با دو شاخص ۱۷۰۰ مترمکعب و ۱۰۰۰ مترمکعب سرانه آب بین پژوهشگران و کارشناسان اتفاق نظر وجود دارد که اگر در کشوری سرانه آب از عدد ۱۷۰۰ عبور کند، آن کشور در ردیف کشورهای مواجه با پدیده استرس آب، قرار می‌گیرد. حال اگر این عدد به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب برسد، کشور وارد دوران بحران آب می‌شود. براساس نتایج رتبه‌بندی کشورهای دارای بحران آب توسط انستیتو جهانی منابع (World Resources Institute)، منتشرشده در سایت بولمرگ، ایران در بین تمام کشورها، در جایگاه چهارم دنیا قرار گرفته است. بنابراین تنها با در نظر گرفتن فاکتور جمعیت، ایران وارد دوران بحران آب شده است.

Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters)  
Food and Agriculture Organization, AQUASTAT data.



شکل ۱- سرانه آب شیرین در مقیاس جهانی از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵

## مدل‌های اقلیمی به زبان ساده

تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی مبحث مهمی در علوم جوی، اقیانوسی و محیط‌زیستی است. از دلایل به‌کارگیری مدل‌های اقلیمی در موضوعات اقلیم و تغییر اقلیم، می‌توان به نقش آنها در تبدیل شرایط و مشکلات پیچیده به سیستم‌های ساده و قابل درک اشاره کرد. همچنین از طریق مدل‌ها امکان آزمون و صحت‌سنجی تئوری‌ها و راه‌حل‌ها فراهم می‌شود. به‌طورکلی شاید بتوان مدل‌های اقلیمی را به دو دسته ۱- مدل‌های آماری و احتمالی (روش همبستگی، مدل رگرسیونی، مدل‌های سری زمانی، مدل‌های تابع انتقال، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی) و ۲- مدل‌های فیزیکی (عام، منطقه‌ای) تقسیم کرد. در مورد چگونگی عملکرد مدل‌های اقلیمی ذکر این نکته مهم است، مدل‌های اقلیمی بر مبنای فرایندهای تأییدشده فیزیکی، شیمیایی و زیستی به‌منظور شبیه‌سازی انتقال انرژی و مواد در سیستم اقلیمی (یخ‌کره، زیست‌کره، آب‌کره، سنگ‌کره و هواکره) سامان داده شده‌اند. مدل‌های اقلیمی معمولاً به‌عنوان مدل‌های چرخش عمومی (GCMs) شناخته می‌شوند، که می‌توان آن را بخشی از مدل‌های فیزیکی عام در نظر گرفت. در این مدل‌های اقلیمی با به‌کارگیری فرمول‌ها و روابط ریاضی، خصوصیات و اثرات متقابل انرژی و مواد در قسمت‌های مختلف و اکوسیستم‌های متفاوت از قبیل اقیانوس (آب‌کره)، جو (هواکره)، همچنین عرصه‌های خشکی (سنگ‌کره) تعریف و معین می‌شوند. طراحی و اجرای مدل‌های اقلیمی فرایندی بسیار پیچیده برای شناخت، تشخیص و کمی کردن فرایندهای سیستمی کره زمین است. دانشمندان تلاش می‌کنند تا از این مدل‌های اقلیمی برای ارائه پیش‌بینی‌ها و یافتن راه‌حل‌ها و شرایط ناشی از فشارهای اقلیمی استفاده کنند. به‌کارگیری ابررایانه‌ها برای طراحی و اجرای مدل‌های اقلیمی امری ناگزیر است. کدهای رایانه‌ای تعریف‌شده توسط دانشمندان، ممکن است برابر با ۱۸۰۰۰ صفحه چاپ‌شده باشد. به‌طورمثال سه رایانه مورد استفاده در هواشناسی انگلستان، می‌توانند ۱۴۰۰۰ ترابایتون محاسبه را در یک ثانیه انجام دهند. در مورد مقیاس‌ها و دقت مدل‌های اقلیمی، باید یادآوری کرد که در مدل‌های اقلیمی، سطح کره در سه بعد به درجات و سلول‌هایی تقسیم می‌شود. سه بعد، شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع (بیانگر تغییرات فشار) است. سپس نتایج به دست آمده از فرایندها در هر سلول مدل، به سلول مجاور منتقل می‌شود تا تبادل انرژی و مواد در بازه زمانی معینی مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرند. در هر سلول برای متغیرها، به‌طورمثال دما، مقدار معینی وجود دارد، که نماینده یا متوسط دما در سلول است. اندازه این درجات و سلول‌ها، مقیاس و میزان دقت را در خروجی مدل‌ها مشخص می‌کند. هرچقدر اندازه این درجه‌بندی و سلول‌ها کوچک‌تر باشد، میزان اطلاعاتی که به دست می‌آید بیشتر خواهد بود. امکان درجه‌بندی کوچک‌تر و تعریف سلول‌های بیشتر، به میزان قدرت و ظرفیت ابررایانه‌های مورد استفاده، بستگی مستقیم خواهد داشت. اندازه این سلول‌ها از اولین تا چهارمین ارزیابی جهانی تغییر اقلیم که توسط IPCC انجام گرفت، به شرح زیر توسعه یافته است، در FAR ۱۹۹۰ ۵۰۰ کیلومتر، در SAR ۲۵۰ کیلومتر، در TAR ۲۰۰۱ ۱۸۰ کیلومتر، در AR4 ۲۰۰۷ ۱۱۰ کیلومتر و در CMIP5 برای سری‌های زمانی به کار گرفته شده، که دارای دقت افقی هواکره ۷۰ کیلومتر بود. برای AR6 نیز CMIP6 در دست اقدام است. برای به‌کارگیری نتایج به دست آمده از مدل‌های اقلیمی، باید از صحت و دقت آنها اطمینان حاصل شود. برای صحت‌سنجی مدل‌های اقلیمی از فرایندی بر مبنای نگاه به گذشته استفاده می‌شود. بدین معنی که مدل اقلیمی طراحی شده برای بازه زمانی معینی از گذشته تا حال به اجرا در می‌آید. به‌طوری‌که در این مدت زمانی داده‌های اقلیمی مشاهده شده در اختیار باشد. هرچقدر میزان نتایج خروجی از مدل با منحنی داده‌های واقع شده هماهنگی داشته باشد، مدل قابل اطمینان بیشتری است، در غیر این صورت نسبت به اصلاح مدل اقدام می‌شود. خروجی مدل‌ها می‌تواند به درک صحیح چگونگی تأثیر انسان بر کره زمین بیانجامد و این دانش در اتخاذ تصمیمات منطقی و علمی مؤثر خواهد بود. پیش‌بینی و پیشگویی اقلیمی مدل‌هایی که صحت‌سنجی شده باشند، بر مبنای سناریوهای مختلف ارائه می‌شوند. قابل ذکر است که، سناریوهای شرایط اقتصادی، اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای محتمل به وقوع در آینده ترسیم می‌کنند. این شرایط براساس اقدامات طبیعی و انسان‌ساز متفاوت هستند. شرایط انسان‌ساز می‌تواند شامل پیش‌ران‌هایی مثل انتشار دی‌اکسیدکربن، افزایش جمعیت، مسائل اقتصادی و غیره باشند. مجمع بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در هر دوره ارزیابی‌های خود، سناریوهای را تعریف و معرفی می‌کند، در این سناریوهای شرایط محتمل به وقوع در بازه‌های مختلف زمانی در آینده ترسیم می‌شوند. براساس مدل‌های موجود، دمای کره زمین در قرن آتی رو به افزایش خواهد بود، البته نقش و رفتار انسان‌ها در نرخ و میزان این افزایش دما نقش خواهد داشت. باید توجه داشت که مدل‌های اقلیمی تا حدودی از مدل‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت هواشناسی متفاوت هستند، مدل‌های اقلیمی ممکن است برای یک منطقه، بخشی از یک اقلیم یا برای شبیه‌سازی بر مبنای الگوهای جهانی اقیانوس‌ها و جو برنامه‌ریزی شده باشند.