

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

## اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در چند منطقه ایران

پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

محمد جواد خردادی

اساتید راهنما

دکتر سید سعید اسلامیان

دکتر جهانگیر عابدی کوپایی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی آقای محمد جواد خردادای  
تحت عنوان

**اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در چند منطقه ایران**

در تاریخ ۱۳۸۷/۹/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| دکتر سید سعید اسلامیان    | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر جهانگیر عابدی کوپایی | ۲- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر صفیه محمودی          | ۳- استاد مشاور پایان نامه   |
| مهندس اسماعیل لندی        | ۳- استاد مشاور پایان نامه   |
| دکتر سید فرهاد موسوی      | ۴- استاد داور               |
| دکتر پرویز احسان زاده     | ۵- استاد داور               |
| دکتر فرشید نوربخش         | سرپرست تحصیلات تکمیلی       |

یک چند به کودکی به استاد شدیم  
پایان سخن شنو که ما را چه رسید

یک چند ز استادی خود شاد شدیم  
چون آب بر آمدیم و چون باد شدیم

با تشکر از اساتید بزرگوارم آقایان دکتر اسلامیان و دکتر عابدی که بدون وجود این دو عزیز امکان به ثمر رسیدن پایان نامه حاضر مقدور نبود. هم چنین از اساتید مشاورم خانم دکتر محمودی و آقای مهندس لندی به خاطر راهنمایی های ارزشمندشان بسیار ممنونم. از آقایان دکتر موسوی و دکتر احسانزاده که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و مرا از نظرات سودمندشان بهره مند کردند سپاسگزارم.

مرحوم پرویز شاپور عقیده داشت آدمی بایستی قله استعداد خودش را کشف کند و روی قله بایستد. ارتفاع قله مهم نیست، فتح آن مهم است. شاید و بسیار شاید که فتح این قله، فتح خودشناسی، تکامل و بلوغ باشد. یقین دارم آنجا دیگر هیاهوی مبتدل برای هیچ وجود ندارد، روزمریت و کسالت جایی ندارد. جایی دیگر است، جایی است مثل هیچ جا. به امید روزی که بتوانم پرچم خود را روی قله ام بکوبم.

محمد جواد خردادادی

آذر ماه ۱۳۸۷

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

برای همزادانم

**صادق**

و

**فروغ**

که انسانیت را با زندگی شان معنا کردند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	چکیده
<b>فصل اول: مقدمه و بررسی منابع</b>	
۲-۱-۱	کلیات
۲-۱-۲	اهمیت مطالعه
۳-۱	بررسی منابع
۴-۱	برآورد تبخیر و تعرق
۴-۱-۱	روش های مستقیم تعیین تبخیر و تعرق
۴-۱-۲	روش های محاسباتی تعیین تبخیر و تعرق
۵-۱	یونجه
۵-۱-۱	نیاز آبی
۵-۱-۲	تأمین آب آبیاری و عملکرد محصول
<b>فصل دوم: مواد و روش ها</b>	
۱-۲	آزمون های اولیه
۱-۱-۲	آزمون کولموگروف - اسمیرنوف
۲-۱-۲	آزمون همگنی داده ها
۳-۱-۲	آزمون تصادفی بودن
۲-۲	تخمین تبخیر و تعرق
۲-۲-۱	روش فائو - پنمن - ماتیس
۳-۲	استفاده از داده های لایسمتری
۱-۳-۲	لایسمتر
۲-۳-۲	ضریب همبستگی پیرسون
۴-۲	تحلیل حساسیت
۵-۲	آزمون های روند
۱-۵-۲	تعریف روند
۲-۵-۲	ضریب همبستگی رتبه ای من - کندال
۳-۵-۲	آزمون انحراف تجمعی
۴-۵-۲	تحلیل رگرسیون
۵-۵-۲	آزمون خودهمبستگی مرتبه اول
<b>فصل سوم: نتایج و بحث</b>	
۱-۳	آزمون های اولیه

۵۰.....	۲-۳- تطابق با داده های لایسیمیتری .....
۵۲.....	۳-۳- تحلیل حساسیت .....
۵۲.....	۴-۳- آزمون من- کندال .....
۵۳.....	۵-۳- آزمون انحراف تجمعی .....
۵۴.....	۶-۳- تحلیل رگرسیون .....
۵۴.....	۷-۳- ضریب خود همبستگی .....

#### فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۶۸.....	۱-۴- نتیجه گیری .....
۶۹.....	۲-۴- پیشنهادها .....
۷۲.....	پیوست ها .....
۸۴.....	منابع .....



## چکیده

بررسی تغییر اقلیم و نقش انسان در گرمایش جهانی به سبب آزادسازی گازهای گلخانه‌ای در جو، زمینه غالب مطالعات اقلیمی در دهه‌های اخیر در کشورهای توسعه یافته بوده است. برای مطالعه تغییرات اقلیمی بررسی پارامترهای حساس و مؤثر در محاسبه تبخیر و تعرق می‌تواند گزینه مناسبی برای این امر باشد. در این تحقیق با استفاده از آمار هواشناسی ۵۴ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ در پنج ایستگاه تهران، اصفهان، شیراز، تبریز و مشهد اقدام به تخمین تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از روش پنمن-مانتیس گردید و برای به دست آوردن میزان دقت، با داده‌های لایسیمتری موجود در ایستگاه‌های فوق مقایسه صورت گرفت که نتیجه آن مثبت ارزیابی گردید. این دقت در مقایسه با فرمول بلانی-کریدل اصلاح شده نیز تأیید گردید. طی آزمون تحلیل حساسیت، پارامترهای حساس در تبخیر و تعرق مشخص گردید. به طوری- که پارامترهای دما و رطوبت نسبی بسیار حساس و پارامترهای سرعت باد و مدت تابش آفتاب حساس تلقی شدند. سپس با استفاده از چهار آزمون سمت شامل من-کندال، انحراف تجمعی، تحلیل رگرسیون و ضریب خودهمبستگی روند یا سمت پارامترهای حساس و هم‌چنین پارامتر بارندگی مورد بررسی قرار گرفت. ضمن اینکه تحلیل همگنی، نرمال بودن و تصادفی بودن پارامترها به ترتیب بر اساس روش‌های من-ویتنی، کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون توالی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که پارامتر رطوبت نسبی در اصفهان، شیراز، تبریز و مشهد و همین‌طور پارامتر سرعت باد در تهران، اصفهان و شیراز دارای روند معنی‌دار کاهشی است. در مشهد روند دما افزایشی و در تبریز روند عمق بارش کاهشی می‌باشد. بقیه پارامترهای مورد بررسی روند محسوسی از خود نشان ندادند. تغییرات معنی‌دار و محسوس پارامترهای هواشناسی مذکور تأثیر زیادی در تبخیر و تعرق خواهد گذاشت به طوری که افزایش دما، افزایش سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی سبب خواهد شد تبخیر و تعرق و در نتیجه نیاز آبی گیاه فزونی یابد. نتایج می‌تواند هشدارهای تلقی شود در مورد تحول آب و هوا در ایران که تحت عنوان پدیده تغییر اقلیم شناخته شده است.

## فصل اول

### مقدمه و بررسی منابع

#### ۱-۱- کلیات

در سال ۱۹۷۵ انجمن جهانی پژوهش ریسک<sup>۱</sup> (GARP) وابسته به سازمان جهانی هواشناسی<sup>۲</sup> (WMO) در یک گزارش اقلیم را چنین تعریف کرده است: اقلیم عبارت است از مجموعه‌ای مشتمل بر هواسپهر، آب-سپهر، یخ‌سپهر، زیست‌سپهر و سطح خشکی‌ها. در سال ۱۹۹۲ نیز مجمع اصلی سازمان ملل متحد در زمینه تغییر اقلیم<sup>۳</sup> (UNFCCC) دستگاه اقلیم را چنین تعریف کرد: کلیت هواسپهر، آب‌سپهر، زیست‌سپهر و سنگ-سپهر و روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر. این دو تعریف در واقع یکی هستند اما در دوره ۲۰ ساله‌ای که از ۱۹۷۵ آغاز شده در تعاریف و نیز در نوشته‌های علمی روی روابط متقابل تأکید شده است [۲۸]. بحث تغییر اقلیم تداعی‌کننده آثار مخرب و زیان‌باری است که نقش انسان و فعالیت‌هایی که موجب این تغییرات می‌شود، بیش از سایر عوامل مد نظر است. تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدیدی برای سیاره زمین به شمار می‌آید. افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات وسیع در اقلیم‌های مختلف آن گردیده و باعث بروز تغییرات در دما و زمان و مکان بارش و می‌شود که خسارات بسیاری را بر انسان،

---

۱- Global Association of Risk Professionals

۲- World Meteorological Organization

۳- United Nations Framework Convention on Climate Change

خصوصاً در دهه اخیر وارد کرده است. امروزه اکثر طرح‌های زیست محیطی سعی بر شناخت تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات آن دارند. اجرای طرح‌های عمرانی، اقتصادی، اجتماعی و دیگر طرح‌ها نیاز به شناخت تغییرات اقلیمی جهت برنامه ریزی صحیح داشته و از این رو ضرورت و اهمیت مطالعات اقلیمی در کالبد برنامه ریزی خرد و کلان کشور و در مقیاس کوچکتر استان و شهر قابل لمس است. امروزه وقتی صحبت از تغییر اقلیم می‌شود بیشتر نظرها معطوف به تغییر خود به خودی اقلیم نیست بلکه نقش انسان و انجام فعالیت‌هایی که موجب این تغییرات می‌شود جلوه می‌یابد. آنچه اکثر محققان به آن نظر دارند آغازی بر تغییر اقلیم و گرم شدن آن می‌باشد. واقعیت تغییر اقلیم طی چند دهه اخیر از موضوعات جالب توجه محافل علمی و حتی عموم مردم بوده و تحقیقات گسترده‌ای را در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی به خود اختصاص داده است. این تغییرات بخصوص طی سه دهه اخیر به نقش و عملکرد انسانی (شهرسازی، تخریب جنگل‌ها، توسعه و رشد صنعتی و افزایش گازهای گلخانه‌ای و...) مربوط می‌شوند [۱۸].

تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی چرخه اتمسفری می‌باشد که بر اثر آن ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند پارامترهای هواشناسی حاصل می‌شود. این ناهنجاری در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌گردد. خشکسالی‌ها نشانه روشنی از این تغییرات اقلیمی می‌باشد. تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده اتمسفری - اقیانوسی در مقیاس جهانی و درازمدت است. این پدیده متأثر از عواملی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشان‌ها، اتمسفر، اقیانوس‌ها و گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد که دارای اثرات متقابل هستند. این تغییرات منجر به دگرگونی در وضع آب و هوا، تغییر توزیع مکانی و زمانی بارش و نوع آن، جریانات سطحی، تبخیر، تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی و کیفیت آب شده و به‌طور کلی روند جدیدی را در اقلیم جهانی موجب می‌شود. بین تغییر اقلیم<sup>۱</sup> و تغییرات اقلیمی<sup>۲</sup> از نظر علمی تفاوت وجود دارد. واژه تغییرات اقلیمی یا نوسانات اقلیمی به تغییرات آب و هوایی حول مقدار متوسط اطلاق می‌شود. این تغییرات که نسبتاً کوتاه مدت و موضعی می‌باشند نمایانگر روند گرمایش و سرمایش نبوده و ازسالی به سال دیگر متفاوتند. تغییر اقلیم یک پدیده جوی - اقیانوسی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده که باعث گرم شدن زمین و تغییر رفتارهای هیدرولوژی برخی مناطق جهان می‌گردد [۲۹].

گرچه تمامی علل تغییر اقلیم یا عدم تغییر آب و هوای دنیا کاملاً شناخته نشده است، بحث درباره تغییر آب و هوا مطمئناً مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده و خواهد بود. اقلیم به عنوان متوسط شرایط آب

۱- Climate Change

۲- Climatic Variations

و هوایی در منطقه خاص و معین توصیف می‌شود و تغییر اقلیم عبارت است از تغییر معنی‌دار در متوسط داده‌های هواشناسی طی یک دوره معین زمانی که این دوره زمانی ۱۰ ساله و یا بیشتر می‌باشد [۴۶]. اقلیم نیز مانند هوا در طی زمان تغییر می‌کند. با این وجود به نظر می‌رسد که بتوان بعضی از تغییرات را پیش‌بینی کرد. احتمالاً بعضی دیگر از این تغییرات برای بشر امروزی ناشناخته خواهد بود. به نظر می‌رسد که ۵ عامل غلظت گازهای گلخانه‌ای، میزان اُزن در استراتوسفر، افشانه‌ها (ذرات معلق در هوا) در تروپوسفر، استراتوسفر و فعالیت‌های خورشیدی (لکه‌های خورشیدی) عمده‌ترین عوامل برای توجیه تغییرات دما در قرن بیستم باشند [۵۴]. سه عامل اول با شدت زیاد به فعالیت‌های بشر مربوط است و بقیه از جمله عوامل طبیعی محسوب می‌شوند. آزمون‌های آماری مشخص کرده است که با اطمینان ۹۹ درصد گرم شدن هوا ناشی از فعالیت‌های بشر می‌باشد. مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی نموده‌اند که چهره سیاره ما به‌طور بی‌سابقه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع خواهد شد [۵۷].

در سال‌های اخیر توجه بسیاری از دانشمندان محیط زیست به مسئله گرم شدن تدریجی هوا و اثراتی که این پدیده بر محیط زیست دارد جلب شده است. بخصوص اینکه گرم شدن هوا بیشتر در مناطقی محسوس است که با خشکسالی نیز مواجه می‌باشند. هر چند هنوز تعدادی از متخصصان هوا و اقلیم‌شناسی اتفاقاتی را که در یکی دو دهه گذشته در رابطه با افزایش دمای هوا و یا به عبارتی تغییر اقلیم در گوشه و کنار دنیا رخ داده است موضوعی گذرا و غیر پایدار می‌دانند، اما تعداد زیادی از دانشمندان نیز بر این عقیده‌اند که بشر به لحاظ محیط‌شناسی وارد دوران جدیدی از گرم شدن هوا شده است و باید خود را برای رویارویی با آن آماده کند. مهم‌ترین عاملی که برای گرم شدن تدریجی هوا ذکر می‌شود حبس شدن انرژی تابشی خورشید در اتمسفر بوسیله گازهایی است که غلظت و تراکم آنها در اتمسفر طی دهه‌های گذشته و بخصوص ۵۰ سال اخیر به تدریج افزایش یافته است. مهم‌ترین گازهایی که در اتمسفر باعث حبس شدن انرژی خورشید شده و به نام گازهای گلخانه‌ای معروف می‌باشند عبارتند از: دی‌اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ )، بخار آب ( $\text{H}_2\text{O}$ )، متان ( $\text{CH}_4$ )، اکسید نیتروژن ( $\text{N}_2\text{O}$ ) و گازهای کربنه موسوم به کلروفلور (CFC) [۱۰].

تابش خورشید با طول موج کوتاه به زمین برخورد کرده و سپس به صورت طول موج بلند از سطح زمین به اتمسفر ساطع می‌شود. مقدار تابش ورودی به سطح زمین باید برابر و در تعادل با تابش‌های خروجی باشد. در غیر این صورت افزایش هر یک نسبت به دیگری باعث گرم شدن و یا سرد شدن زمین می‌گردد. تا به حال هیچ‌گونه مانعی برای برگشت این انرژی به خارج از اتمسفر وجود نداشته است. ولی

با شروع انقلاب صنعتی و تغییراتی که در الگوی زندگی انسان‌ها از نظر تولید و مصرف انرژی به وجود آمد غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به تدریج رو به فزونی گذاشته است. به طوری که در سال‌های اخیر افزایش سرعت آن بسیار چشمگیر بوده است. به عنوان مثال غلظت گاز دی اکسید کربن در اتمسفر از ۳۱۵ قسمت در میلیون در سال ۱۹۸۵ به ۳۵۰ قسمت در میلیون در وضعیت کنونی رسیده است. یعنی هر سال تقریباً ۱/۲ قسمت در میلیون به غلظت این گاز افزوده شده است. گازهای گلخانه‌ای که در بالا به آنها اشاره شد این خاصیت را دارند که در مقابل تابش‌های با طول موج کوتاه شفاف عمل نموده و لذا بخش اعظم تابش خورشید وارد سطح زمین می‌شود. ولی همین گازها در مقابل تابش‌هایی که قرار است با طول موج بلند از اتمسفر خارج شوند همانند یک جسم کاملاً سیاه (از لحاظ عکس العمل نسبت به تابش خورشید) رفتار نموده و آن‌ها را به خود جذب می‌کنند. این عمل باعث می‌شود که دمای این گازها و در نهایت دمای اتمسفر افزایش یافته که گرم شدن تدریجی هوا را در پی دارد. پیش‌بینی می‌شود که اگر وضعیت به همین روال ادامه داشته باشد طی ۳۰ الی ۴۰ سال آینده غلظت گاز دی اکسید کربن در اتمسفر دو برابر خواهد شد، که در نتیجه آن متوسط دمای اتمسفر ۲ الی ۵/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد [۲۱].

دی اکسید کربن مهم‌ترین گاز موجود در بین گازهای گلخانه‌ای می‌باشد و بیش از ۸۰ درصد گازهای گلخانه‌ای موجود در کشورهای توسعه یافته را به خود اختصاص داده است. منبع اصلی تولید این گاز، محفظه‌های سوخت می‌باشد و خوشبختانه محاسبه میزان گاز منتشر شده از محفظه‌های سوخت نسبتاً ساده می‌باشد. تخریب جنگل‌ها دومین منبع اصلی انتشار گاز دی اکسید کربن است [۲۷].

منبع اصلی تولید گاز متان، کشتزارهای برنج و محل‌های نگهداری حیوانات اهلی می‌باشد. منبع دیگر این گاز فرایندهای جمع‌آوری و تصفیه ضایعات و فاضلاب‌های خانگی است. امروزه گاز متان در کشورهای توسعه یافته با کاهش مواجه شده و به میزان ثابتی رسیده است.

اکسید نیتروژن بیشتر در کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. البته مانند گاز متان، میزان انتشار این گاز در کشورهای توسعه یافته کنترل شده و به مقدار ثابتی رسیده است. اندازه‌گیری میزان انتشار گاز اکسید نیتروژن مانند گاز متان پیچیده و مشکل می‌باشد [۲۷].

یکی از عوامل بسیار مهم در افزایش گازهای گلخانه‌ای و تسریع در روند تغییرات اقلیم پس از انقلاب صنعتی، مداخله انسان در اکوسیستم‌های طبیعی است. با شروع انقلاب صنعتی، مصرف سوخت‌های فسیلی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت؛ به طوری که سالانه بالغ بر ۵ تا ۶/۲ میلیارد تن دی اکسید کربن

وارد اتمسفر شد. بر اساس پیشگویی‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم<sup>۱</sup> (IPCC) با توجه به رشد جمعیت و افزایش نیاز بشر به انرژی، دی اکسید کربن به میزان ۳/۱ میلیارد تن در سال ۱۹۸۵ و به میزان ۴/۷ میلیارد تن در سال ۲۰۲۵ افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر تخریب جنگل‌ها در سال‌های اخیر توسط بشر، که مهم‌ترین منبع جذب کننده CO<sub>2</sub> می‌باشند یکی از عوامل دیگر افزایش CO<sub>2</sub> می‌باشد [۲۴].

نتایج اخیر به دست آمده از تحقیقات نشان می‌دهد که در سال‌های پایانی قرن حاضر، از هر دو فصل تابستان یکی به شدت گرم و خشک خواهد بود. این گرمای بی‌سابقه در اروپا موجب شده کشورهای مهم اروپایی به دنبال راهکارهایی برای حل این معضل باشند. بر اساس توافق صورت گرفته، کشاورزان نباید ۱۰ درصد از زمین‌هایشان را زیر کشت ببرند. این کشورها در نظر دارند تا هر چه سریع‌تر تصمیمات راهبردی در این زمینه اتخاذ کنند. گرمای شدید سبب رسیدن زود هنگام محصولات کشاورزی و آسیب جدی به این صنعت در اروپا شده است. هم‌چنین گرمای شدید در آمریکا سبب قطع انرژی برق در بسیاری از ایالت‌ها شده است. در همین حال کارشناسان در خصوص بروز بی‌سابقه گرما در سواحل مدیترانه به گردشگران هشدار داده‌اند. به گفته این محققان در سال ۲۰۸۰ مردم انگلیس و آلمان می‌توانند تابستان بهتری را نسبت به سواحل مدیترانه داشته باشند، چرا که در این سال گرما در سواحل مدیترانه به شدت افزایش پیدا خواهد کرد [۵].

مبحث سری‌های زمانی یکی از شاخه‌های علم آمار است که دامنه گسترده و توسعه روزافزون آن به دلیل کاربردهای فراوان آن است. امروزه تحلیل سری‌های زمانی بطور وسیعی در بسیاری از شاخه‌های مهندسی، اقتصاد و جغرافیا، علوم فیزیکی و دیگر علوم کاربرد دارد و دامنه کاربرد آن روز به روز گسترده‌تر می‌شود. اصولاً تحلیل سری زمانی به منظور بررسی انواع تغییرات، روند، مدل‌سازی و پیش‌بینی به کار می‌رود. سری‌های زمانی در مسائل اقلیمی از اوایل قرن بیستم و به منظور پیش‌بینی لکه‌های خورشیدی مطرح شد. این کاربرد در میانه قرن به منظور بازسازی دمای کره زمین طی قرن گذشته و از آن پس در راستای شبیه‌سازی دمای انگلستان دنبال شد. در سال ۱۹۶۰ سازمان جهانی هواشناسی تکنیک مطالعه سری‌های زمانی را یکی از مطالعات خود معرفی نمود. تحلیل سری‌های زمانی بطور عملی و نظری از زمان آغاز کار اصلی باکس و جنکینز<sup>۲</sup> [۳۲] تحت عنوان تحلیل سری‌های زمانی (پیش‌بینی و کنترل) شکل تازه‌ای به خود گرفت. از این زمان استفاده از خودهمبستگی، طرح مدل‌های میانگین متحرک و ARIMA در تحلیل سری‌های زمانی بطور نوین و مشخص به کار گرفته شد.

۱- Intergovernmental Panel on Climate Change

۲- Box and Jenkins

## ۱-۲- اهمیت مطالعه

گرمایش جهانی و تغییرات معنی‌دار در سری‌های زمانی دما در نقاط مختلف دنیا به عنوان مهمترین نمودهای تغییر اقلیم در قرون بیستم و بیست و یکم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. توجه افکار عمومی و مجامع علمی به این مسئله و تمرکز گازهای گلخانه‌ای در دهه اخیر باعث شده که نوعی همگرایی جهانی در بررسی این معضل بوجود آید. مطالعات متعددی افزایش دما متوسط سطح زمین را تأیید نموده است [۱]. بر اساس محاسبات مؤسسه بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) متوسط دمای خشکی‌ها و اقیانوس‌ها بین ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سلسیوس بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۵ و حدود ۰/۲ تا ۰/۳ درجه سلسیوس طی ۴۰ سال گذشته افزایش یافته است [۴۰]. همچنین در مقیاس‌های منطقه‌ای تا حداکثر ۶/۱۸ درجه سلسیوس در برخی نقاط دنیا افزایش دما طی قرن اخیر گزارش شده است. میزان افزایش دما در اروپای غربی ۰/۵ درجه، آمریکا ۰/۴۱ درجه، روسیه ۱/۲۳ درجه و در شرق سیبری تا ۱/۳ درجه سلسیوس نیز در برخی گزارش‌ها ذکر شده است. نقشه‌های تهیه شده توسط کارل<sup>۱</sup> نیز واقیعت اخیر را تأیید می‌کند. وی افزایش ۱/۲۳ درجه سلسیوس دما را در منطقه سیبری روسیه مورد تأکید قرار می‌دهد [۴۵]. بررسی آمار ثبت شده دمای جهانی از سال ۱۸۶۰ تاکنون نشان دهنده تغییرات مشهودی در مقاطع مختلف زمانی است. بین ۱۸۶۰ تا ۱۹۱۰ با وجود مشخص نبودن یک روند کاملاً مشهود [۳۷] اما یک کاهش آرام در حدود ۰/۱۵ درجه را می‌توان در سری‌های زمانی نشان داد [۳۸]. از سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۰ حدود ۰/۵ درجه افزایش در سری‌های زمانی مشاهده می‌شود. از ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۵ افتی در حدود ۰/۱۵ درجه سلسیوس در روند دما بوجود آمد. توجیحات متعددی در رابطه با این تغییرات مطرح شده است که می‌توان به توسعه شهری، استفاده روز افزون از انرژی، توسعه جزایر گرمایی<sup>۲</sup> و تغییرات کاربری زمین اشاره نمود.

مؤسسه بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در گزارش‌های منتشره در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۱ میلادی بر تغییرات جهانی اقلیمی حاکی از افزایش حدود ۰/۷ درجه سانتیگراد دمای کره زمین از نیمه دوم قرن نوزدهم اشاره نموده است [۴۱]. به نظر می‌رسد این گرمایش جهانی سبب افزایش مقادیر حدی و شرایط بد آب و هوایی در دوره‌های نه چندان دور می‌شود. کلی‌ترین نتایج بدست آمده از این گرمایش عبارتند از الف) تغییرات موسمی کم، ب) نوسانات زیاد در دمای روزانه و بارش و ج) افزایش آنتروپی (بی‌نظمی) سیستم که باعث فراوانی و مقادیر رویدادهای حدی می‌شود. تغییر در مقادیر حدی که در اینجا سومین نتیجه از گرمایش جهانی به شمار آمده است، باعث بروز تغییرات اساسی اجتماعی و زیست محیطی

۱- Karl

۲- Heat Islands

می‌گردد. طبق گزارش اخیر برنامه محیطی سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر شرایط حدی اقلیمی هر ساله دو برابر می‌شود و خسارات ناشی از آن در سطح جهان سالانه ۱۵۰ میلیون دلار افزایش می‌یابد. آب و کشاورزی از مهمترین قسمت‌هایی هستند که متأثر از حوادث حدی بوده و تغییرات آنها بر تعداد بسیار زیادی از نیازهای بشر از جمله کمیت و کیفیت محصولات تولید شده تأثیر به سزایی دارد. مطالعات تأثیرات حدی از جمله برف، تگرگ، طوفان، شبنم شبانه، سیل، بارش سنگین، خشکسالی، گرما و سرمای حدی در برنامه ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد [۴۱].

تغییرات آب و هوایی به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر گیاهان و جانوران مؤثر است، به طوری که باعث تغییرات ژنتیکی و بروز بسیاری از بیماری‌ها در آنها شده است. مهاجرت زود هنگام پرندگان مهاجر، تغییر زمان تخم‌گذاری در دوزیستان، ظهور زود هنگام پروانه‌ها و گل‌دهی زودرس گیاهان و تغییر رفتار جانوران از آثار مشهود تغییرات اقلیمی است. این گرمایش، بسیاری از گونه‌های موجودات زنده را تا معرض انقراض پیش برده و برخی را به آفت‌هایی خارج از کنترل بدل کرده است [۵].

اثر افزایش دی‌اکسید کربن بر بسته شدن روزنه‌های برگ گیاهان اهمیت ویژه‌ای دارد. این وضعیت باعث کاهش نیاز آبی گیاه از طریق کاهش تعرق و بهبود آنچه اصطلاحاً کارایی مصرف آب (WUE)<sup>۱</sup> گفته می‌شود، خواهد شد. با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن اندازه منفذ روزنه گیاهان C<sub>3</sub> و C<sub>4</sub> حدود ۴۰ درصد کاهش یافته و تعرق ۲۳-۴۶ درصد کمتر می‌شود [۲۶].

انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت کنترل و نیز کاهش هزینه‌های خسارت بار ناشی از این تغییر بسیار ضروری است.

حال به اثرات تغییر اقلیم در ایران به طور خلاصه پرداخته می‌شود [۲۹]:

- پایین آمدن سطح دریا: بررسی درازمدت سطح آب دریای خزر نشان می‌دهد که طی مدت مطالعه، سطح آب از ۲۵/۲- متر به ۲۹/۱- نسبت به سطح آب‌های آزاد تغییر کرده و حدود ۴ متر کاهش یافته است. عامل اصلی مؤثر بر سطح آب دریای خزر در درازمدت و در دهه اخیر، همان‌طور که اکثر محققین معتقدند، تغییر آب و هوا در این حوضه آبریز می‌باشد. این مطلب با ارتباط نزدیک بین اجزای بیلان آب با موقعیت سطح دریا نشان داده می‌شود.



- افزایش دما: با افزایش دما نیاز آبی بیشتری انتظار می‌رود. بعلاوه با افزایش دما مقدار قابل توجهی از بارش برف به باران تبدیل می‌شود و به موازات آن زمان ذوب برف زودتر می‌شود و در نتیجه الگوی جریان در زمستان تغییر می‌کند. این پدیده به طور موقت موجب بهم خوردن تعادل بین ارتباط نیاز آبی با منابع آب در برخی نواحی می‌شود. تبخیر و تعرق می‌تواند موجب کاهش متوسط جریان شود، که خود بر میزان آب مصرفی مؤثر است [۲۳]. فهمی با بررسی ۶۰۰ ایستگاه تبخیر سنجی در ایران نشان داد که ۶۸ ایستگاه تغییر آب و هوا را در دهه اخیر داشته‌اند [۲۲].

- تغییر در شدت و الگوی بارش: آمار دو ایستگاه باران سنجی با سابقه آماری بیش از ۱۰۰ سال نشان می‌دهد که شیب کلی منحنی بارش به سمت پایین میل می‌کند و میانگین متحرک ۵ ساله هم اشاره به روند کاهشی بارش دارد [۲۹].

- رواناب: افزایش دما سبب تبدیل بارش برف به باران و تسریع زمان ذوب برف می‌شود. میزان رواناب در طول زمستان افزایش و در بهار کاهش می‌یابد. در حوزه‌های آبریزی که ذوب برف منبع اصلی آب آنها است، مانند قسمت‌های شمال غربی کشور، حساسیت رواناب به دما با تغییر الگوی رواناب فصلی که در نتیجه گرم‌تر شدن آب و هوا به وجود می‌آید بیشتر می‌شود. در نتیجه، وقوع رواناب از بهار به زمستان منتقل می‌شود.

- آبرسانی: افزایش دما و رشد سالانه جمعیت بر میزان مصرف آب آشامیدنی مؤثر است. افزایش دما تا ۲ درجه میزان مصرف آب شهری را در ایران تا سال ۲۰۲۰ به میزان ۱/۷۱۸ میلیارد مترمکعب افزایش می‌دهد.

- آبیاری: افزایش دما تا ۲ درجه، نیاز به آبیاری را تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد [۲۹].

- کیفیت آب: گرم شدن جهانی علاوه بر مقادیر منابع آب در دسترس، بر کیفیت آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیز مؤثر است. تنزل کیفیت آب، بهای تصفیه و سالم‌سازی آن را افزایش می‌دهد. با افزایش تعداد فیتوپلانکتون‌ها در اثر بالا رفتن دمای آب، افزایش کلروفیل، افزایش قارچ‌های انگلی و علف‌های هرز، کاهش حلالیت اکسیژن و موارد مشابه را به دنبال دارد.

- تغییر اقلیم سبب می‌شود که داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده در گذشته که مبنای طراحی سازه‌های آبی و یا سایر سازه‌ها می‌باشد، دیگر شاخص مطمئنی برای رفتار سنجی منابع آب نباشند. حدود ۴۵ درصد آب مورد نیاز کشور از منابع سطحی و مابقی از آبخوان‌های زیرزمینی استحصال می‌شود. منابع آب سطحی در کشور شامل سدهای مخزنی با ظرفیت حداکثر ۲۵/۴ میلیارد مترمکعب می‌باشد، که

در حال حاضر ۱۶/۴ میلیارد مترمکعب برداشت می‌شود. حدود ۲۰/۵ میلیارد مترمکعب از طریق بهره برداری از رودخانه‌ها به روش‌های سنتی و ۲ میلیارد مترمکعب از طرح‌های آبرسانی کوچک استحصال می‌گردد [۱۱]. بیشترین میزان آب در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد که ۹۳/۵ درصد کل مصارف کشور می‌باشد. پس از آن مصارف شرب و خانگی، صنایع و معادن و شیلات به ترتیب حدود ۱،۵ و ۰/۵ درصد کل مصارف را به خود اختصاص می‌دهند. بخش عمده مصرف شرب از منابع آب زیرزمینی و مابقی از منابع سطح تأمین می‌شود [۲۹].

بررسی تغییرات و روند پارامترهای هواشناسی می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی تبخیر و تعرق در تقابل با پدیده تغییر اقلیم داشته باشد. در این راستا بررسی سری زمانی پارامترهای حساس در تبخیر و تعرق مثل دمای هوا، رطوبت نسبی، مدت تابش خورشید و سرعت باد در تخمین اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق ضروری به نظر می‌رسد.

### ۱-۳- بررسی منابع

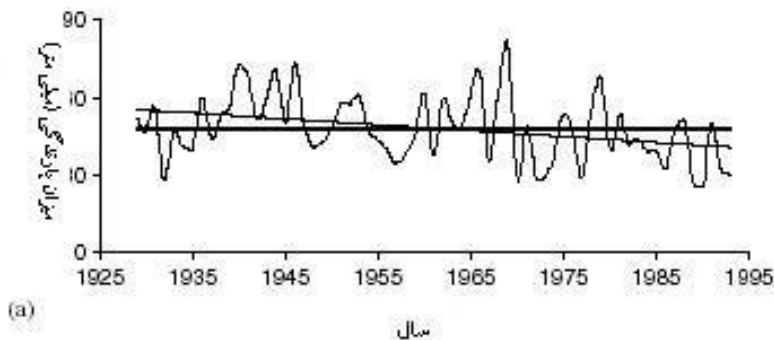
بررسی تغییرات دما و نقش انسان در گرمایش جهانی به سبب آزادسازی گازهای گلخانه‌ای در جو زمینه غالب مطالعات اقلیمی در دهه‌های اخیر بوده است. این مطالعات در مقیاسهای منطقه‌ای و جهانی تقریباً همگی افزایش دما در سده گذشته را تأیید می‌کنند. هرچند آهنگ افزایش در همه نقاط یکسان نبوده و در برخی مناطق روندهای منفی نیز گزارش شده است. در بیشتر تحقیقات افزایش دمای شبانه قویتر از دمای روزانه گزارش شده و همین امر برخی از محققان را بسوی شناسایی نقش انسان در گرمایش جهانی کشانده است [۴۱].

پارتال<sup>۱</sup> و کاهیا<sup>۲</sup> [۴۴ و ۵۲] روند بارش در ترکیه را مورد تحلیل قرار دادند. این تحقیق به روش من-کندال روی سری‌های ماهانه و سالانه ۹۶ ایستگاه در ترکیه انجام شد. کاهش قابل توجهی در میانگین بارش سالانه در قسمتهای غربی و جنوبی ترکیه مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در ایستگاه اسپارتا که در شکل‌های (۱-۱) و (۲-۱) آمده، این کاهش دارای روند خطی بوده است. به علاوه مقادیر آماره دنباله U و U' که تحلیلی از ضریب همبستگی رتبه‌ای من-کندال است روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد. باید توجه شود که دو تابع U و U' در اوایل سال ۱۹۵۰ شروع به دور شدن از یکدیگر می‌کنند که نشان دهنده نقطه شروع روند است. بطور اجمال روند معنی‌دار در یکی از سال‌های بین ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ در ۸

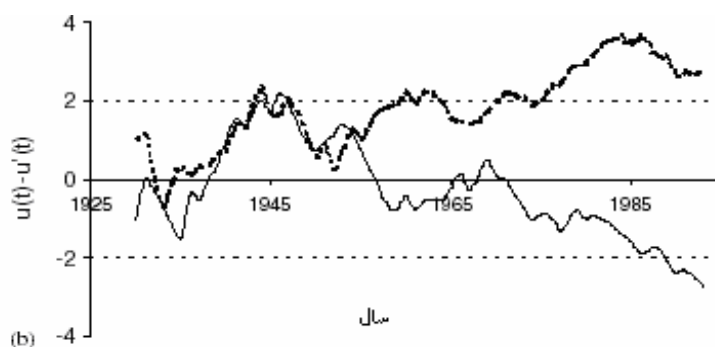
۱- Partal

۲- Kahya

ایستگاه (غالباً جنوبی و غربی) و بین ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در ۱۰ ایستگاه (تقریباً در تمام نقاط) و بعد از ۱۹۶۰ در ۴ ایستگاه (بیشتر در مرکز ترکیه) شروع شده‌اند.



شکل (۱-۱) میانگین سری بارش سالانه در ایستگاه اسپارتا [۵۲]



شکل (۲-۱) مقادیر دنباله‌ای آماره‌های  $u$  — و  $u'$  ..... آزمون من-کنندال برای ایستگاه اسپارتا [۵۲]

استافورد<sup>۱</sup> و همکاران [۵۵] دمای شبانه و روزانه و دامنه نوسان دمای ۲۵ ایستگاه هواسنجی آلاسکا را

به روش رگرسیون حداقل مربعات در فاصله سالهای ۱۹۴۹ تا ۱۹۹۸ بررسی کرده‌اند. این بررسی نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها دما روند افزایشی داشته و بیشترین افزایش در زمستان و در میانه آلاسکا به میزان ۲/۲ درجه سلسیوس در ۵۰ سال فوق، مشاهده شده است. در نتیجه دامنه نوسان دما در همین دوره حدود ۰/۳ درجه سلسیوس کاهش یافته است.

چونگ<sup>۱</sup> و همکاران [۳۴] دمای سالانه شبه جزیره کره را در فاصله سالهای ۱۹۷۴ تا ۱۹۹۷ بررسی کرده‌اند. آنها نشان دادند که دمای منطقه در طی این دوره ۰/۹۶ درجه سلسیوس افزایش یافته است. این افزایش در مناطق شهری ۱/۵ و در مناطق روستایی ۰/۵۸ درجه سلسیوس بوده است. مقدار افزایش در زمستان بیش از دیگر فصول گزارش شده است.

یو و هاشینو<sup>۲</sup> [۶۱ و ۶۲] روند دمای ماهانه، فصلی و سالانه ژاپن در صد سال گذشته را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که دمای سالانه ۴۶ ایستگاه که روند آنها با آزمون من-کندال ارزیابی شده در فاصله سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۶ بین ۰/۵۱ تا ۲/۷۷ درجه سلسیوس افزایش یافته و در همین دوره دمای فصلی بین ۰/۴۷ تا ۳/۶۹ درجه سلسیوس افزایش داشته است، که بیشترین افزایش در فصل زمستان و بهار دیده شده است. همین ویژگی در دمای ماهانه هم دیده می‌شود اما مقدار افزایش دمای ماهانه در طی دوره مورد بررسی بین ۰/۱۷ تا ۴/۱۲ درجه سلسیوس بوده است.

پژوهش‌های انجام شده در سطح جهان به طور عمده بیانگر افزایش تدریجی در دمای متوسط است. با این وجود گزارش‌هایی مبنی بر کاهش درجه حرارت نیز وجود دارد. در این رابطه شیرغلامی و قهرمان [۱۷] روند درازمدت دمای متوسط سالانه در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک ایران (۲ ایستگاه در اقلیم سرد و مرطوب، ۱۴ ایستگاه در اقلیم معتدل و مرطوب، ۱۱ ایستگاه در اقلیم استپی و ۷ ایستگاه در اقلیم بیابانی، براساس اقلیم‌بندی کوپن) با دوره آماری حداقل ۳۰ ساله، به روش کمترین مربعات خطا و روش من-کندال را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در ۵۹ درصد ایستگاه‌ها تغییرات دما دارای روند مثبت و در ۴۱ درصد ایستگاه‌ها دارای روند منفی می‌باشد. با در نظر گرفتن سطح معنی داری، سه ناحیه روند مثبت، منفی و بدون روند در ایران تشخیص داده شد. به نظر نمی‌رسد که توزیع جغرافیایی این ایستگاه‌ها از یک الگوی مشخص تبعیت کند. نتایج بررسی دوره مشترک آماری (۱۹۶۸-۱۹۹۸) نشان داد که در ۶۸ درصد ایستگاه‌ها روند مثبت و در ۳۲ درصد روند منفی حاکم است. توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها در این حالت با حالت قبل در بعضی حالات تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد و در این حالت نیز نمی‌توان الگوی جغرافیایی خاصی را بر آنها مترتب نمود. در این حالت و در سطح معنی داری ۵ درصد، ۴۴، ۱۵ و ۴۱ درصد از ایستگاه‌ها به ترتیب روند مثبت، منفی و بدون روند را از خود نشان دادند. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که بیشتر مناطق در سالهای آتی با افزایش دما روبه‌رو خواهند بود. هرچند شیب خط روند

۱ - Chung

۲- Yue and Hashino