

## بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی موثر بر اقلیم ارومیه

جواد بهمنش<sup>۱</sup>

نسرین آزاد طلائی<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از خواص چرخه اتمسفری تغییرات اقلیمی است، به طوری که نوساناتی را در پارامترهای هواشناسی ایجاد می‌کند. این نوسانات در بسیاری از نقاط دنیا شدید بوده و منابع آب و خاک توسط آن‌ها متأثر می‌شود. لذا جهت آمادگی در برابر اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم و اتخاذ برنامه‌های مناسب توسعه و مدیریت منابع آب، بررسی تغییرات متغیرهای هواشناسی در هر منطقه اقدامی ضروری است. هدف از این مطالعه، بررسی تغییر اقلیم در منطقه ارومیه بود. در این تحقیق روند تغییرات پارامترهای درجه حرارت، بارندگی، درصد رطوبت، ساعات آفتابی و تبخیر-تعرق پتانسیل مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه با دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) استفاده شد. آزمون آماری من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد جهت بررسی وجود روند معنی‌دار در این پارامترها به کار گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که روند تغییرات درجه حرارت بیشینه، کمینه و متوسط درجه حرارت افزایشی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. میزان بارندگی ارومیه با شیب ۲/۲۶- کاهش یافته که این کاهش معنی‌دار بود. ساعات آفتابی شیب مثبت و معنی‌دار داشت. اما شیب منفی درصد رطوبت و شیب مثبت تبخیر-تعرق پتانسیل (۰/۰۰۶۸) معنی‌دار نبود. بررسی‌های ماهانه نشان داد متوسط درجه حرارت در همه ماه‌های سال شیب مثبت داشت اما این شیب مثبت در همه ماه‌های سال معنی‌دار نبود. سایر پارامترها در برخی ماه‌ها دارای شیب افزایشی و در برخی ماه‌ها شیب کاهشی داشت.

**واژگان کلیدی:** ارومیه، تغییر اقلیم، درجه حرارت، بارندگی، تبخیر - تعرق پتانسیل، من کندال.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه.  
Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه.

## مقدمه

امروزه، گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثر آن بر تغییر اقلیم، واقعیتی علمی است که مورد توافق محققان بسیاری قرار گرفته است. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴: ۵۰). این تغییرات می‌تواند در متوسط دما، بارندگی، الگوهای آب و هوایی، باد، تابش و پارامترهای مشابه آن باشد. وقوع پدیده‌هایی مثل افزایش امواج گرمائی، گرم شدن اتمسفر تحتانی، عقب‌نشینی یخچال‌های طبیعی، بالا آمدن سطح آب دریاها و وقوع باران‌های سنگین در بسیاری از مناطق دنیا (وینیکو و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۰۴) نشان می‌دهد که جهان در حال گرم شدن و اقلیم در حال تغییر است. با شروع انقلاب صنعتی نقش بشر در تغییرات اقلیمی افزایش پیدا کرده است. این امر به‌طور عمده به‌علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد (کات فرت و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۴۴).

به‌منظور آمادگی در برابر اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم و کاهش خسارت‌های ناشی از آن، بررسی روندها و تغییرات معمول در متغیرهای هواشناسی در هر منطقه اقدامی ضروری است تا این‌که سیاست‌ها و برنامه‌های مناسبی برای توسعه و مدیریت منابع آب اتخاذ گردد. در رابطه با بررسی روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در کشور مطالعات زیادی انجام شده است. مسعودیان (۱۳۸۳: ۱۰۱) به‌منظور بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته از داده‌های دمای کمینه، بیشینه و متوسط ایستگاه‌های سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۰ استفاده نمود. تحلیل روند دما نشان داد که در نیم سده گذشته دمای کمینه، بیشینه و متوسط ایران به ترتیب با نرخ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش دارد. بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی بارش در جنوب و جنوب‌غرب کشور طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ توسط ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۸۴: ۹۷) نشان داد بارش سالانه بعد از سال ۱۹۷۵ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش داشته است. قهرمان و تقوایان (۱۳۸۷: ۹۳) به‌منظور بررسی روند بارندگی سالانه در ایران از آمار سالانه ۳۰

ایستگاه سینوپتیک منتهی به سال ۲۰۰۰ استفاده نمودند. نتایج این بررسی نشان داد هفت ایستگاه روند منفی و شش ایستگاه روند مثبت داشته و در سایر ایستگاه‌ها روندی مشاهده نگردید. بنایان و همکاران (۱۳۸۹: ۱۱۸) روند تغییرات سری زمانی سالانه و فصلی پارامترهای هواشناسی را با استفاده از آزمون من-کندال و حداقل مربعات خطا بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌عنوان مثال در ایستگاه مشهد به‌رغم وجود روند افزایشی در دما و روند کاهشی در رطوبت، هیچ‌گونه روندی در مجموع بارش سالانه مشاهده نمی‌گردد. سبزی‌پرور و شادمانی (۱۳۹۰: ۸۳۱) روند تغییرات زمانی پارامتر تبخیر و تعرق مرجع در مناطق خشک ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق مرجع، برای برخی شهرها افزایشی و برای برخی نیز کاهشی بوده و در برخی شهرها در مقیاس ماهیانه روند معنی‌داری مشاهده نگردید. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰: ۸۱) روند تغییرات همزمان بارندگی و تبخیر - تعرق را در قالب شاخص خشکی برای نیمه‌جنوبی کشور بررسی کردند. نتایج اولیه مربوط به سری زمانی داده‌های ۱۰ ایستگاه سینوپتیک مشخص کرد که تبخیر و تعرق تغییرات کم‌تری نسبت به دو عامل بارش و شاخص خشکی داشت. در مرحله بعد با اعمال آزمون ناپارامتری من-کندال روند تغییرات هر یک از عامل‌های فوق مشخص گردید. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها در طول ۴۰ سال روند بارش افزایشی و روند تبخیر - تعرق کاهشی بود. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۰: ۱۲) تغییرات دراز مدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور با استفاده از دو آزمون من-کندال و گرسن بررسی کردند. نتایج نشان داد که در ۶۵ درصد موارد شیب روند معنی‌دار  $ET_0$  در مناطق مورد بررسی، چه در مقیاس فصلی و چه در مقیاس سالانه منفی به‌دست آمد. در سایر مناطق دنیا نیز بررسی‌هایی در مورد روند تغییرات پارامترهای هواشناسی انجام شده است. بررسی‌ها در مناطق کم ارتفاع مرکز اروپا توسط زانینوی و گاجی کاپکا (۲۰۰۰: ۱۱۵) حاکی از روند افزایشی تبخیر و تعرق پتانسیل به مقدار ۹۸ میلی‌متر و از طرفی روند کاهشی رطوبت نسبی به مقدار ۵/۹ درصد در دوره ۱۹۹۵-۱۹۰۰ بوده است. ارزیابی روند دمای سالانه ژاپن طی یک‌صد سال منتهی به سال ۱۹۹۶ میلادی با آزمون من-کندال توسط یو و هاشینو (۲۰۰۳: ۲۳) نشان داد که

دما در مدت فوق بین ۰/۵۱ تا ۲/۷۷ درجه سلسیوس افزایش داشته است. بندی‌پدهایی و همکاران (۲۰۰۹: ۵۰۸) در بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در کشور هند، با استفاده از آزمون من- کندال و آمار ۱۳۳ ایستگاه در دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۲ وجود روند کاهشی در منطقه مورد مطالعه را تأیید کردند. پال و آل‌تابا (۲۰۰۹: ۶۲) روند تغییرات بارندگی فصلی را در هند بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که این روند معنی‌دار نیست. هم‌چنین هارمسن و همکاران (۲۰۰۹: ۱۰۸۹) تأثیر تغییر اقلیم را بر روی تبخیر-تعرق پتانسیل، کمبود بارندگی و عملکرد محصول در پرتوریکو بررسی کرده و درجه حرارت، بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند. چاوچی و همکاران (۲۰۱۰: ۲۳۴) وجود روند در سری زمانی سالانه و ماهیانه درجه حرارت، بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که درجه حرارت و تبخیر-تعرق پتانسیل سالیانه دارای روند افزایشی می‌باشد ولی در بارندگی سالیانه روندی مشاهده نشد.

با توجه به اهمیت بالای تغییر اقلیم، هدف از این تحقیق، بررسی روند تغییرات زمانی متغیرهای درجه حرارت، بارندگی، درصد رطوبت هوا و تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک ارومیه با به‌کارگیری آزمون من-کندال می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت بررسی تغییر اقلیم، از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه با دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) استفاده شده است. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ دقیقه شرقی واقع شده و در ارتفاع ۱۳۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد. پارامترهای مورد استفاده شامل مقادیر حداقل و حداکثر درجه حرارت، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، فشار هوا، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارندگی می‌باشد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از آزمون ران-تست از همگنی داده‌ها اطمینان به‌عمل آمد. عملیات فوق بیانگر صحت فرض تصادفی و همگنی داده‌ها می‌باشد. در مواردی که در سری داده‌ها، نقایص آماری وجود داشت (داده‌های ساعات آفتابی از سال ۱۳۵۶ تا سال ۱۳۵۹ ناقص بودند) با استفاده از مدل توماس و فایرینگ اقدام به تولید داده شد.

توماس و فابرینگ در سال ۱۹۶۲ میلادی با استفاده از زنجیره مارکوف فرمولی برای تولید داده‌های ماهیانه ارائه کردند. این مدل مشخصه‌های آماری داده‌های ماهیانه از جمله میانگین و انحراف معیار را حفظ کرده و همچنین همبستگی جریان‌های دو ماه متوالی مانند مهر با شهریور، آبان با مهر و ... دوباره تولید یا حفظ می‌کند. این مدل ۳۶ پارامتر دارد که به‌عنوان یکی از مزایای این روش به‌شمار می‌رود (حیدری کهلی، ۱۳۸۹: ۸۵). فرمول این مدل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$X_{p,j+1} = X_{avj} + b_j(X_{p,j} - X_{avj}) + e_i S_j + 1\sqrt{1-r_j^2} \quad (1)$$

$$\begin{cases} p = 1toL \\ j = 1tom \end{cases} \quad (2)$$

که در آن: L: سال‌های آماری و m: تعداد ماه‌ها

$X_{p,j}, X_{p,j+1}$ : عبارت است از جریان‌های ماهیانه تولید شده در طی  $i, i+1$

$X_{avj}, X_{avj+1}$ : متوسط جریان ماهیانه در ماه‌های  $j, j+1$

$b_j$ : ضریب همبستگی حداقل مربعات برای محاسبه جریان ماه  $(j+1)$  از جریان در ماه  $(j)$  که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$b_j = r_j \frac{S_{j+1}}{S_j} \quad (3)$$

$r_j$ : عبارت است از ضریب همبستگی ما بین جریان‌های ماه‌های  $j, j+1$

$S_j, S_{j+1}$ : انحراف معیار برای ماه‌های  $j, j+1$

$e_i$ : متغیر تصادفی از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک (بین

در این تحقیق به منظور برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع از روش پنمن - مانتیث فائو (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۲۲) استفاده شده است:

$$Et_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[ \frac{890}{T + 273} \right] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (۴)$$

که در این رابطه  $Et_0$  تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)،  $T$  متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)،  $R_n$  مقدار تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)،  $G$  شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)،  $\gamma$  ضریب رطوبتی (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر در ثانیه) و  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (کیلو پاسکال) می‌باشد.

به‌منظور تعیین روند تغییرات در هر سری زمانی از آزمون من-کندال استفاده گردید. آزمون من-کندال ابتدا توسط مان در سال ۱۹۴۵ میلادی ارائه گردید و سپس کندال در سال ۱۹۷۵ آن را بسط و توسعه داد (حجام و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۵۹). این روش به‌طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیک و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره کرد. تأثیرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. (حجام و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۵۹) فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و فقدان روند در سری داده‌ها، و فرض یک (رد فرض صفر) بر وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. مراحل محاسبه آماره این آزمون بدین شرح است که ابتدا پارامتر  $S$  با استفاده از رابطه (۵) استخراج می‌گردد:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۵)$$

که در این رابطه  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $j$  ام و  $k$  ام سری هستند. تابع علامت نیز توسط رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

سپس واریانس به وسیله یکی از روابط (۷) یا (۸) به دست می‌آید:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(-1)^t(t+5)}{18} \quad (۷) \quad \text{اگر } n > 10$$

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۸) \quad \text{اگر } n \leq 10$$

که  $m$  نشانگر تعداد سری‌هایی که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد، و  $t$  بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. سپس آماره  $Z$  از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۹)$$

در آزمون دو دامنه برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد.  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود. در

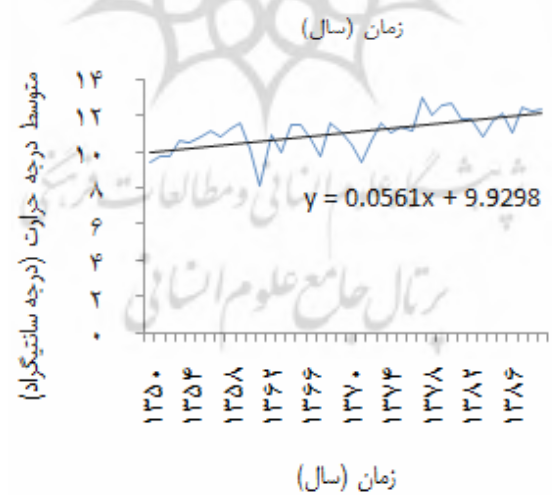
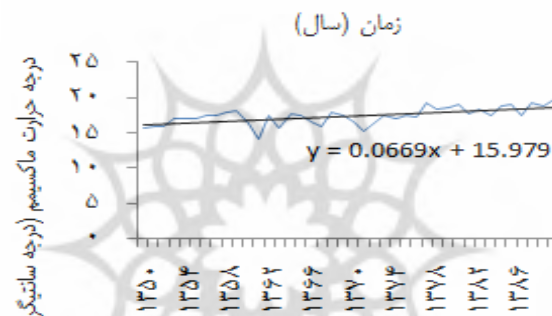
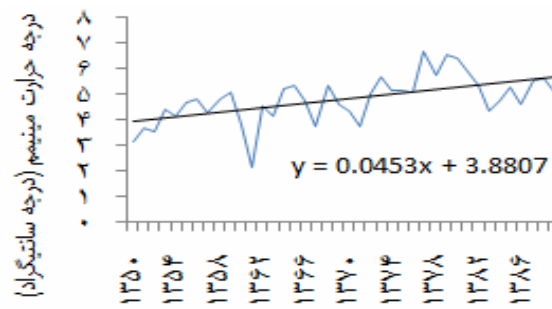
بررسی حاضر این آزمون برای سطح احتمال ۹۵ درصد به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی، و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی خواهد بود (حجام و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۶۱).  $Z_{0/2}$  برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۹۶ در نظر گرفته می‌شود.

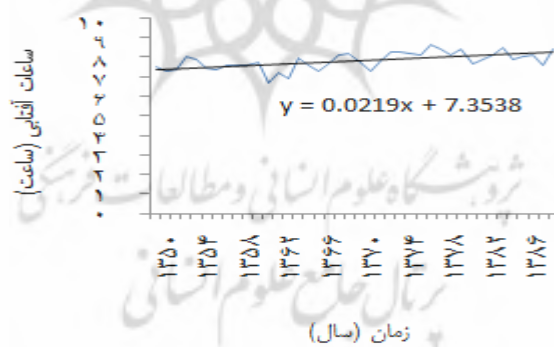
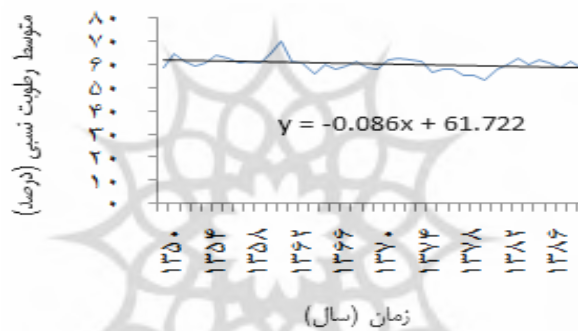
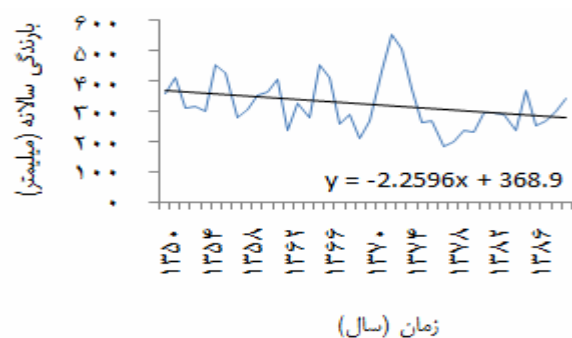
### یافته‌ها و بحث

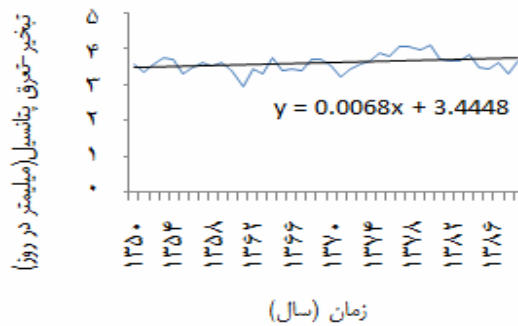
این تحقیق با هدف بررسی تغییر اقلیم در منطقه ارومیه انجام شد. تغییر اقلیم می‌تواند بر منابع آب این منطقه اثر بگذارد این در حالی است که برنامه‌ریزی‌های حال و آینده وابستگی زیادی به اطلاع از وضعیت منابع آب و تغییرات آن دارد. در این تحقیق پارامترهای درجه حرارت، بارندگی، درصد رطوبت، ساعات آفتابی و تبخیر-تعرق پتانسیل مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱ تغییرات پارامترهای مذکور را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۱ نتایج به دست آمده از به کارگیری آزمون من-کندال برای تعیین روند این پارامترها ارائه شده است. بررسی مقیاس زمانی سالانه نشان می‌دهد که روند تغییرات درجه حرارت بیشینه، کمینه و متوسط درجه حرارت افزایشی می‌باشد و درجه حرارت بیشینه نسبت به درجه حرارت کمینه و متوسط درجه حرارت شیب تندتری دارد. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد در هر سه شاخص دمایی، افزایش حدود ۲ درجه سانتی‌گراد از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۸۹ مشاهده می‌گردد. طبق بررسی‌های مسعودیان (۱۳۸۳: ۱۰۱) در نیم سده گذشته دمای کمینه، بیشینه و متوسط ایران به ترتیب با نرخ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش دارد. همچنین ارزیابی روند دمای سالانه ژاپن طی یکصد سال منتهی به سال ۱۹۹۶ میلادی با آزمون من-کندال توسط یو و هاشینو (۲۰۰۳: ۲۳) نشان داد که دما در مدت فوق بین ۰/۵۱ تا ۲/۷۷ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. نتایج آزمون من-کندال نشان می‌دهد که روند افزایش درجه حرارت بیشینه، کمینه و متوسط درجه حرارت در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. این نتیجه مشابه نتایج چاچی و همکاران (۲۰۱۰: ۲۳۴) در فرانسه و بنایان و همکاران (۱۳۸۹: ۱۱۸) در مشهد می‌باشد. در مورد بارندگی نتایج نشان داد که بارندگی سالانه با شیب تند ۲/۲۶- کاهش یافته است و این کاهش معنی‌دار می‌باشد. این نتیجه مشابه نتایج موحدی و همکاران (۱۳۸۴: ۱۳) در مارون و مخالف نتایج ناظم‌السادات



و همکاران (۱۳۸۴: ۹۷) در مناطق جنوبی و مرکز کشور می‌باشد. از طرفی طبق بررسی‌های چاوچی و همکاران (۲۰۱۰: ۲۳۴) در فرانسه، پال و آل تابا (۲۰۰۹: ۶۲) در هند و بنابان و همکاران (۱۳۸۹: ۱۱۸) در مشهد، سبزواری و تربت حیدریه روند تغییرات بارندگی معنی‌دار نمی‌باشد. مطالعات زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰: ۸۱) و قهرمان و تقواییان (۱۳۸۷: ۹۳) نشان داد که روند بارندگی در برخی شهرها افزایشی و در برخی شهرها کاهش می‌باشد. همچنین همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است، میزان بارندگی سالانه در طول دوره آماری مورد مطالعه حدود ۹۰ میلی‌متر کاهش یافته است. متوسط رطوبت نسبی دارای شیب منفی می‌باشد، اما این شیب معنی‌دار نیست و طی سال‌های دوره آماری متوسط رطوبت نسبی در حدود ۴ درصد کاهش یافته است. تعداد ساعات آفتابی در طول دوره آماری دارای شیب مثبت می‌باشد که این شیب در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. در طول دوره آماری تعداد ساعات آفتابی در حدود ۱ ساعت افزایش یافته است (شکل ۱). در دوره آماری ۴۰ ساله، تبخیر - تعرق پتانسیل با شیب  $0/068$  افزایش یافته است ولی این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد و در کل دوره آماری مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل در حدود  $0/25$  میلی‌متر افزایش یافته است. چاوچی و همکاران (۲۰۱۰: ۲۳۴) افزایش تبخیر - تعرق را در فرانسه و بندوبدهایی و همکاران (۲۰۰۹: ۵۰۸) کاهش تبخیر-تعرق را در هند گزارش کردند. طبق بررسی‌های سبزی‌پرور و شادمانی (۱۳۹۰: ۸۳۱)، زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰: ۸۱) و سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۰: ۱۲) روند تغییرات تبخیر - تعرق پتانسیل در برخی شهرها افزایشی و در برخی شهرها کاهش می‌باشد. بررسی‌ها در مناطق کم‌ارتفاع مرکز اروپا توسط زانینوی و گاجی کاپکا (۲۰۰۰: ۱۱۵) حاکی از روند افزایشی تبخیر - تعرق پتانسیل به مقدار ۹۸ میلی‌متر و از طرفی روند کاهش رطوبت نسبی به مقدار  $5/9$  درصد در دوره ۱۹۹۵-۱۹۰۰ بوده است. بررسی‌های کلی این نتایج نشان می‌دهد که اقلیم ارومیه به سمت خشک شدن گرایش دارد.







شکل (۱) تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی

جدول (۱) مقادیر آماره من-کندال (Z) پارامترهای هواشناسی درمقیاس سالانه

پارامتر	مقدار آماره من-کندال
تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)	۱/۷۸
متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	<sup>a</sup> ۴/۴۹
درجه حرارت بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	<sup>a</sup> ۴/۳۸
درجه حرارت کمینه (درجه سانتی‌گراد)	<sup>a</sup> ۳/۹۶
بارندگی سالانه (میلی‌متر)	<sup>a</sup> ۲/۱۰-
درصد رطوبت نسبی	۱/۸۳-
ساعات آفتابی	<sup>a</sup> ۳/۹۰
a معنی‌داری روند با سطح اطمینان ۹۵٪	

نتایج به‌دست آمده از بررسی ماهیانه پارامترهای تبخیر-تعرق پتانسیل، متوسط درجه حرارت، متوسط رطوبت نسبی و بارندگی در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. جدول ۲ میزان شیب روند پارامترهای ذکر شده را در ماه‌های مختلف سال، و جدول ۳ مقادیر آماره من-کندال (Z) و معنی‌دار بودن یا عدم معنی‌داری روند آن‌ها را نشان می‌دهد. بررسی این جداول نشان می‌دهد که متوسط درجه حرارت در همه ماه‌های سال دارای شیب مثبت می‌باشد. افزایش درجه حرارت در ماه‌های فصل زمستان شیب تندتری نسبت به سایر ماه‌ها دارد، در حالی که این شیب در ماه‌های فصل تابستان کم‌تر از سایر ماه‌ها است. روند افزایش متوسط درجه حرارت در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، بهمن و اسفند معنی‌دار بوده و در سایر ماه‌ها

معنی دار نمی‌باشد (جدول ۳). بارندگی سالانه در اکثر ماه‌های سال دارای شیب منفی است که این شیب در ماه‌های فصل بهار تندتر از سایر ماه‌ها می‌باشد. البته در فصل پاییز نیز شاهد شیب‌های تند هستیم ولی در ماه آبان این شیب مثبت است. اما همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، این شیب مثبت در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نیست و تنها بارندگی ماه‌های خرداد و آذر دارای روند منفی معنی دار است. درصد رطوبت نسبی در اغلب ماه‌های سال دارای شیب منفی می‌باشد که این شیب در ماه‌های آذر، بهمن، اسفند، فروردین و خرداد تندتر بوده و در تیر ماه کم‌ترین شیب را دارد. مقادیر آزمون من-کندال نیز نشان می‌دهد روند کاهش درصد رطوبت نسبی در ماه‌های بهمن، فروردین و خرداد معنی دار است. تبخیر-تعرق پتانسیل در ماه‌های تیر، مرداد و مهر کاهش یافته و در سایر ماه‌های سال افزایش یافته است، اما مقادیر منفی شیب در سه ماه ذکر شده معنی دار نیست. این روند فقط در ماه‌های فروردین، بهمن و اسفند معنی دار می‌باشد. پیش‌بینی‌های هارمسن و همکاران (۲۰۰۹: ۱۰۸۹) در پورتوریکو نشان داد که در سال‌های آینده، فصل‌های مرطوب، مرطوب‌تر و فصل‌های خشک، خشک‌تر خواهند شد. آن‌ها اظهار داشتند که متوسط کمبود بارندگی (بارندگی منهای تبخیر-تعرق پتانسیل) در ماه سپتامبر طی ماه‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۹۰ از ۱۲۱ میلی‌متر به ۳۲۱ میلی‌متر خواهد رسید در حالی که در ماه فوریه از ۲۷- میلی‌متر به ۷۷- میلی‌متر کاهش خواهد یافت.

جدول (۲) میزان شیب روند پارامترهای هواشناسی در ماه‌های سال

ماه	تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	درصد رطوبت نسبی
فروردین	۰/۰۱۱	۰/۰۴۲	۰/۴۲۶-	۰/۱۴۹-
اردیبهشت	۰/۰۱	۰/۰۴۴	۰/۷۱۴-	۰/۰۹۶-
خرداد	۰/۰۱۵	۰/۰۶۹	۰/۶۵۴-	۰/۱۹۸-
تیر	۰/۰۰۷-	۰/۰۳۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹
مرداد	۰/۰۰۶-	۰/۰۲۹	۰/۰۶۱-	۰/۰۲۵-
شهریور	۰/۰۰۰۷-	۰/۰۲۳	۰/۱۷۲	۰/۰۳۴-
مهر	۰/۰۰۲-	۰/۰۳۳	۰/۲۹۳-	۰/۰۱۶
آبان	۰/۰۰۴	۰/۰۵۶	۰/۷۱۴	۰/۰۱-

۰/۱۱۲-	۰/۷۰۵-	۰/۰۳۷	۰/۰۱	آذر
۰/۰۴۱-	۰/۳۶۵-	۰/۰۷۳	۰/۰۰۷	دی
۰/۱۹۳-	۰/۰۵۷	۰/۱۱	۰/۰۱۷	بهمن
۰/۱۹۷-	۰/۰۰۹-	۰/۰۱۲۱	۰/۰۲۱	اسفند

جدول (۳) مقادیر آماره من-کندال (Z) پارامترهای هواشناسی در ماه‌های سال

ماه	تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی-متر در روز)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	درصد رطوبت نسبی
فروردین	<sup>a</sup> ۲/۳۴	۱/۷۸	۰/۹۸-	<sup>a</sup> ۲/۰۶-
اردیبهشت	۱/۴۱	<sup>a</sup> ۳/۱۸	۱/۵۷-	۱/۲۹-
خرداد	۱/۶۴	<sup>a</sup> ۴/۰۷	<sup>a</sup> ۳/۵۱-	<sup>a</sup> ۲/۳۷-
تیر	۰/۷۶-	<sup>a</sup> ۲/۲۱	۰/۰۵-	۰/۳۶
مرداد	۱/۲۲-	۱/۷۷	۱/۱۰-	۰/۰۶
شهریور	۰/۰۶	۱/۴۲	۰/۳۸	۰/۷۱-
مهر	۰/۹۲-	۱/۸۶	۱/۲۱-	۰/۴۵
آبان	۰/۹۴	۱/۹۰	۰/۹۹	۰/۰۶-
آذر	۱/۶۷	۰/۸۵	<sup>a</sup> ۲/۴۸-	۱/۱۲-
دی	۱/۷۶	۱/۶۲	۱/۸۱-	۰/۱۳-
بهمن	<sup>a</sup> ۳/۷۴	<sup>a</sup> ۲/۶۷	۰/۰۳-	<sup>a</sup> ۳/۱۵-
اسفند	<sup>a</sup> ۲/۸۱	<sup>a</sup> ۳/۵۸	۰/۲۹	۱/۸۸-

a معنی‌داری روند با سطح اطمینان ۹۵٪

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که معنی‌داری روند افزایش درجه حرارت باعث معنی‌داری روند افزایش تبخیر - تعرق پتانسیل نشده و حتی گاهی تبخیر - تعرق پتانسیل کاهش پیدا کرده است. می‌توان گفت تبخیر - تعرق پتانسیل با استفاده از فرمول پنمن - مانیتث فائو محاسبه شده است که فقط وابسته به دما نیست بلکه به درصد رطوبت، فشار هوا، تابش خورشیدی و سرعت باد نیز وابسته می‌باشد. بررسی مدل‌های مختلف رگرسیون چندگانه می‌تواند نقش هر کدام از پارامترها و وابستگی تبخیر-تعرق پتانسیل به آن‌ها را نشان دهد. شیب روند، درصد معنی‌داری یا عدم معنی‌داری و نوع روندهای استخراج شده به مقیاس

زمانی مورد مطالعه بستگی دارد. مثلاً کاهش بارندگی در مقیاس سالیانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد در حالی که در مقیاس ماهیانه تنها در دو ماه سال دارای روند معنی‌دار است. بنابراین با توجه به حساسیت روندهای به‌دست آمده به مقیاس زمانی مورد بررسی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، تحلیل دقیق روند فرایندهای پیچیده هواشناسی به مطالعات جامع‌تری در آینده نیازمند است.

بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای بررسی شده بر روی منابع آب بخصوص منابع آب زیرزمینی مشکل می‌باشد. افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی و رطوبت نسبی ممکن است تأثیر منفی در منابع آب سطحی داشته باشد. همچنین با افزایش خشک شدن بیش‌تر و سریع‌تر خاک‌ها و استفاده زیاد از منابع آب زیرزمینی (بخصوص در ماههایی از سال که جهت کشاورزی نیاز بیش‌تری به آب وجود دارد)، این منابع نیز تأثیر منفی خواهند گرفت. از طرفی در ماههایی از سال که افزایش روند بارندگی وجود دارد می‌تواند باعث افزایش مقدار آب لایه آبدار شده و خشکی ماههای گرم را جبران کند. اما همان‌طور که مشاهده شد، تنها در چند ماه سال روند بارندگی مثبت می‌باشد و این روند معنی‌دار نیست. بنابراین بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی و تأثیر تغییر اقلیم بر آینده این منابع ضروری به‌نظر می‌رسد. نتایج حاصل شاهد دیگری بر این ادعاست که تحولات اقلیمی، حاصل سلسله رویدادهای گسترده‌ای هستند که در سیستم اقلیم به‌وقوع می‌پیوندند و هیچ عامل منفردی قادر به توضیح و توجیه دقیق رویدادهای مذکور نیست. گرچه علل پدید آورنده دگرگونی‌ها ماهیت جهانی دارند، اما اثرات آن‌ها همه جا به یک شکل ظاهر نمی‌شوند و عملکرد هر پارامتر در بازه زمانی و مکانی مختلف به‌گونه‌ای متفاوت می‌باشد.

## منابع

- بنایان، م، محمدیان، ا، علیزاده، ا، (۱۳۸۹)، «بررسی نوسان‌پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران»، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۴، شماره ۱، ص ۱۳۱-۱۱۸.
- حیدری کهلی، ج، (۱۳۸۹)، «ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف تولید داده مصنوعی در تحلیل سیستم مخازن ذخیره (مطالعه موردی: سدهای باراندوز، نازلو و شهرچای در استان آذربایجان غربی)»، *دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه*. ۲۹۱ ص.
- زارع ابیانه، ح، بیات ورکشی، م، دین پژوه، ی، (۱۳۹۰)، «بررسی روند تغییرات شاخص خشکی در نیمه‌جنوبی ایران»، *مجله دانش آب و خاک*، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحات ۹۲-۸۱.
- سبزی‌پرور، ع، ا: میرمسعودی، س، ش؛ ناظم‌السادات، م، ج. (۱۳۹۰)، «بررسی تغییرات دراز مدت تبخیر و تعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۵، صفحات ۱۷-۱.
- سبزی‌پرور، ع، ا، شادمانی، م. (۱۳۹۰)، «تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران»، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۵، شماره ۴، صفحات ۸۳۴-۸۲۳.
- علیزاده، ع، (۱۳۸۵)، «طراحی سیستم‌های آبیاری»، جلد اول، چاپ دوم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۴۵۰ ص.
- کارآموز، م. و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۸۴)، «هیدرولوژی پیشرفته»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۴۶۴ ص.
- مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۳)، «بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته»، *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره پیاپی ۳، پاییز و زمستان، صفحات ۱۰۶-۸۹.
- موحدی، س؛ کاویانی، م. ر. و مسعودیان، ا. (۱۳۸۴)، «تغییرات زمانی و مکانی دمای مارون»، *نشریه علوم انسانی دانشگاه اصفهان*، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحات ۲۸-۱۳.



- ناظم‌السادات، س م ج. سامانی، ن. و مولایی نیکو، م. (۱۳۸۴)، «تغییر اقلیم در جنوب و جنوب‌غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، بر هم کنش با پدیده ال‌نینو نوسانات جنوبی»، *نشریه علمی کشاورزی*. جلد ۲۸. شماره ۲. صفحات ۸۱-۹۷.

- Bandyopadhyay A., Bhadra A., Raghuwanshi N.S, and Singh R. (2009), "Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India", *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5):508-515.
- Chaouche,K. Neppel,L. Dieulin,C. Pujol,N. Ladouche, B. Martin,E. Salas,D.and Caballero,Y. (2010), "Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change", *C. R. Geoscience*. 342: 234-243.
- Cut Forth, H.W., Woodwin, B.G., Mc Cokey, R.J., Smith, D.G., Jefferson, P.G., and Akinremy, O.O. (1999), "Climate Change in the semiarid prairie of southwestern Saskatchewan: Late winter-early spring", *Can. J. Plant. Sci.* 79: 343-353.
- Ghahraman B., and Taghvaeian S. (2008), "Investigation of Annual Rainfall Trends in Iran", *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 10, pp. 93-97.
- Hajjam, S., Khoshkhoo, Y., Shams`edin Vandi, R., (2007), "Analysis of Seasonal and Annual Precipitation Trends in some Sites Located in Central Iran, using non- parametric methods", *J. of Geographical Research*, 64, 157-168.
- Harmsen, E. Miller, N. Schlegel, N. and Gonzalez, J.E. (2009), "Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico", *Agricultural Water Management*, 96: 1085-1095.
- Pal, I.I., Al-Tabbaa, A., (2009), "Trends in seasonal precipitation extremes-An indicator of climate change in Kerala", *India. J. Hydrol*, 367, 62-69.
- Vinnikov KY, Grody NC, Robock A, Stouffer RJ, Jones PD and Goldberg MD, (2006), "Temperature trends at the surface and in the troposphere", *J Geophys Res* 111: 103-116.

- Yeue S and Hashino M, (2003), "Temperature trends in Japan: 1900-1996", *Theor Appl Climatol* 75: 15-27.
- Zaninovi K., and Gaji-Capka M. (2000), "Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands", *Theoretical and Applied Climatol.* 65: 111-117.

