



## الگوی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق مرجع و رابطه آن با پارامترهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

مریم عمادزاده<sup>۱</sup>، محسن قلیزاده<sup>۱</sup>، مرسده طاهری<sup>۱</sup>، مسعود تجربی<sup>۲</sup> و ساناز مقیم<sup>۳</sup>

۱- کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC)

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و مرکز تحقیقات سنجش از دور، دانشگاه صنعتی شریف (RSRC)

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

mrc.taheri@gmail.com

### خلاصه

تغییر پارامترهای آب و هوایی از فاکتورهای تاثیرگذار بر تغییرات عوامل هیدرولوژیکی در حوضه است. برنامه‌ریزی برای مقابله با تغییر در کارکردهای طبیعی حوضه حاصل نگاه به توسعه پایدار است که لازمه این امر، آگاهی و ارزیابی نتایج تغییرات عوامل اقلیمی است. در مقاله حاضر برای شناخت تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از رابطه Penman-Monteith استفاده شده است. برای این منظور، تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در دو دوره آماری (۲۰۰۱-۱۹۸۹ و ۲۰۱۴-۲۰۰۲) با یکدیگر مقایسه شدند. همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار تبخیر و تعرق مرجع در طول زمان بود. همچنین برای تعیین نقش تغییرات پارامترهای هواشناسی بر تبخیر و تعرق مرجع، حساسیت معادله Penman-Monteith نسبت به تغییرات چهار متغیر دمای میانگین، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی مورد مطالعه قرار گرفته شد.

کلمات کلیدی: پارامترهای هواشناسی، تبخیر و تعرق مرجع، حوضه دریاچه ارومیه، Penman-Monteith و تحلیل حساسیت

### ۱. مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در مصرف آب در بخش کشاورزی و چرخه هیدرولوژیکی است که می‌تواند تحت تاثیر تغییرات اقلیمی قرار گیرد. تبخیر و تعرق از یک سطح مرجع (یک نوع چمن با مشخصات خاص) که در شرایط کم آبی نباشد، تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>r</sub>) نام دارد. تبخیر و تعرق مرجع، نیاز تبخیری<sup>۴</sup> جو را مستقل از نوع گیاه، مرحله رشد و سیاست‌های مدیریت مزرعه بررسی می‌کند. مقادیر تبخیر و تعرق مرجع اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده به دلیل اشاره به یک سطح مرجع خاص، امکان مقایسه را در مکان‌ها و فصول مختلف فراهم می‌کند [1]. تحلیل این روندها به شناخت تغییرات آب و هوایی زمان حال و تاثیر آن روی منابع و زراعت کمک شایانی می‌کند.

روند تغییرات تبخیر و تعرق در نقاط مختلف دنیا متفاوت است. نتایج برخی مطالعات نشانگر روند منفی در تغییرات ET<sub>r</sub> در کشورهایمانند چین [2] و استرالیا [3] و روند مثبت در هند [4]، ایران [5] و منطقه مدیترانه [6] است. اسپادافر و همکاران در طول ۴۵ سال (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ میلادی) یک روند افزایشی را در تغییرات ET<sub>r</sub> در اسپانیا مشاهده کردند [6].

بسیاری از مطالعات روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع را در طول سالیان، ناشی از تغییرات آب و هوا دانسته و بر مبنای این ارتباط، تغییرات سالیانه را تحلیل کرده‌اند [7]. تقاضای تبخیر جوی به طور عمده توسط تابش‌های دریافتی خورشیدی، کمبود فشار بخار، سرعت باد و دمای هوا کنترل می‌شود. این متغیرها در دو بخش تابشی (انرژی خورشیدی در دسترس) و آئرودینامیکی (سرعت باد و رطوبت اتمسفر) دسته‌بندی می‌شوند [8]. در زمینه اهمیت اجزای تابشی و آئرودینامیکی، مطالعات مختلف نتایج متضادی نشان داده‌اند. تجزیه و تحلیل وانگ و همکاران بر اهمیت جزء آئرودینامیکی تأکید کرده

<sup>۱</sup> کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۲</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران و مرکز تحقیقات سنجش از دور، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۴</sup> Evaporative demand

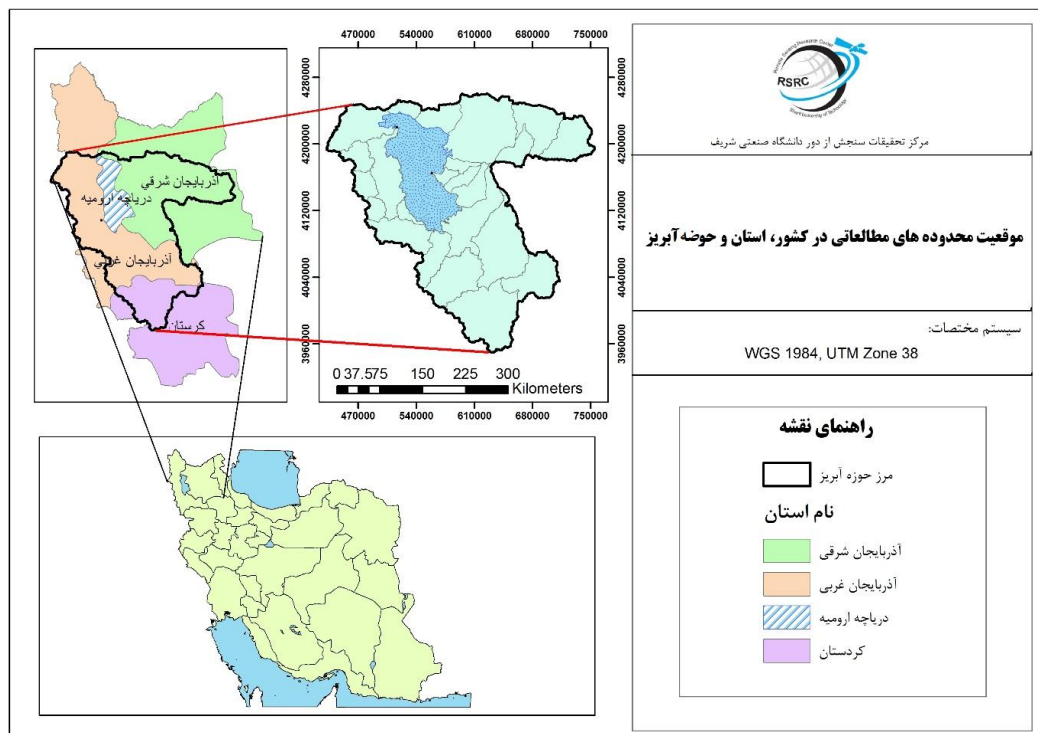
[9] در حالی که متسوکاس و همکاران با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های ورودی هواشناسی، نشان دادند که روند تبخیر و تعرق مرجع از انرژی در دسترس پیروی می‌کند [10].

به جهت اهمیت شناخت اجزای هیدرولوژیکی در حوضه دریاچه ارومیه، در این مطالعه ابتدا تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق مرجع بر روی حوضه با استفاده از آزمون آماری تحلیل واریانس در بازه زمانی بلندمدت ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی بررسی می‌گردد. سپس به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات این پارامتر اقلیمی به تحلیل حساسیت مقدار تبخیر و تعرق مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی و علل تغییرات احتمالی تبخیر و تعرق در منطقه پرداخته می‌شود.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران بین مختصات  $13^{\circ} 44'$  تا  $53^{\circ} 47'$  طول شرقی و  $30^{\circ} 38'$  تا  $35^{\circ} 41'$  عرض شمالی واقع شده است. این حوضه با مساحت ۵۱۷۵۸ کیلومترمربع یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور می‌باشد که حدود نیمی از استان آذربایجان غربی، بخش وسیعی از استان آذربایجان شرقی و قسمتی از استان کردستان را شامل می‌شود (شکل ۱). حدود ۶۶/۳ درصد از مساحت حوضه را مناطق کوهستانی، ۲۵/۲ درصد را دشت‌ها و ۸/۵ درصد آن را دریاچه تشکیل می‌دهد. اراضی کشاورزی حوضه آبریز ارومیه در ۲۵ دشت واقع گردیده است. به لحاظ شرایط اقلیمی، این حوضه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل می‌باشد. متوسط میزان بارش در منطقه، حدوداً ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه بر حسب ارتفاع بین ۶/۵ تا ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. متوسط سالانه تبخیر سطحی حوضه، حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر تخمین زده شده و بین ۱۰۰۰ تا ۲۱۰۰ میلی‌متر در مکان‌های مختلف حوضه نوسان دارد [11].

حوضه دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشور ایران و درگیر در طیفی وسیع از مسائل مدیریت منابع آب است. افزایش فشار بر منابع آب حوضه ناشی از توسعه تأسیسات آبی، تغییرات در متغیرهای هواشناسی و افزایش مصرف بخش‌های شرب، صنعت و بخصوص کشاورزی علاوه بر کاهش تراز آبخوان‌ها و دبی رودخانه‌ها منجر به افت سطح دریاچه ارومیه در طی دهه‌های اخیر شده است [12]. با توجه به بسته بودن حوضه، ارزیابی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع به عنوان یک عامل صرفاً اقلیمی در شناخت روند تغییرات آب و هوایی اهمیت بسزایی دارد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه، محدوده استان‌ها و زیرحوضه‌های قرار گرفته در آن

### ۳. روش‌ها

#### ۳.۱. تبخیر و تعرق مرجع

در این مطالعه، تبخیر و تعرق مرجع بر اساس پیشنهاد FAO<sup>1</sup> از رابطه Penman-Monteith برای هر ایستگاه در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی، به صورت زیر محاسبه گردید [13].

$$ET_r = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left( \frac{900}{T + 273} \right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \quad (1)$$

در این رابطه،  $ET_r$  تبخیر و تعرق مرجع روزانه ( $\text{mm.day}^{-1}$ )،  $R_n$  تشعشع خالص ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )،  $G$  شار حرارتی خاک ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )،  $T$  دمای میانگین هوا در ارتفاع ۲ متری ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $U_2$  میانگین سرعت باد ( $\text{m.s}^{-1}$ )،  $e_s$  فشار بخار اشباع ( $\text{kPa}$ )،  $e_a$  فشار بخار واقعی ( $\text{kPa}$ )،  $\Delta$  گرادیان فشار بخار اشباع در برابر دمای هوا ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) و  $\gamma$  ثابت سایکرومتریکی ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) می‌باشد. تشعشع خالص ( $R_n$ ) بر حسب ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )، مطابق رابطه زیر قابل محاسبه است [13].

$$R_n = \{R_{ns}\} - \{R_{nl}\} = \{(1 - \alpha) \times ((a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a)\} - \{\sigma [\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2}] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) (1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35)\} \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $\alpha$  آلبدو (بدون بعد)،  $a_s$  و  $b_s$  ثابت رگرسیون،  $\frac{n}{N}$  مدت زمان نسبی تابش خورشید (بدون بعد)،  $R_a$  تشعشع خارج از محیط زمین ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )،  $T_{min}$  و  $T_{max}$  دمای مطلق بیشینه و کمینه در طول زمان ۲۴ ساعت ( $^{\circ}\text{K}$ )،  $\sigma$  ثابت استفان بولتزمن ( $4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )،  $e_a$  فشار بخار واقعی ( $\text{kPa}$ )،  $R_s$  تشعشع خورشید (طول موج کوتاه) ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )، و  $R_{so}$  تابش خورشید در آسمان صاف ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) است. شار حرارتی خاک ( $G$ ) برای دوره های روزانه تا ۱۰ روز معادل صفر و برای دوره های ساعتی یا کوتاهتر در طول روز برابر با ۱۰ درصد  $R_n$  و در طول شب برابر با ۵۰ درصد  $R_n$  در نظر گرفته می‌شود.

فشار بخار اشباع ( $e_s$ )، فشار بخار واقعی ( $e_a$ ) و گرادیان فشار بخار اشباع به ترتیب مطابق روابط (۳)، (۴) و (۵) قابل محاسبه است [13]:

$$e_s = 0.5 \times [e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})] ; \quad e^o(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right] \quad (3)$$

$$e_a = \left(\frac{RH}{100}\right) \times e^o(T) \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{2503 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)}{(T + 237.3)^2} \quad (5)$$

در روابط بالا،  $e^o(T)$ ، فشار بخار اشباع در دمای  $T$  ( $\text{kPa}$ )،  $T$  دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $RH$  رطوبت نسبی بر حسب درصد است.

در مقاله حاضر جهت تخمین تبخیر و تعرق مرجع به‌طور کلی از داده‌های هواشناسی مانند دمای هوای میانگین، بیشینه و کمینه (درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، سرعت باد (متر بر ثانیه) و تعداد ساعات آفتابی (ساعت) مربوط به ۱۵ ایستگاه سینوپتیک شامل تبریز، اهر، جلفا، سراب، مراغه، میانه، ارومیه، خوی، مهاباد، ماکو، تکاب، سنندج، بیجار، گروه و سقز در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی استفاده شده است.

#### ۳.۲. روش درون‌یابی

با توجه به تغییرات مکانی زیاد تبخیر و تعرق، برآورد نقشه آن در مقیاس منطقه‌ای اهمیت فراوانی دارد. انواع روش‌های درون‌یابی فضایی برای تولید نقشه الگوهای فضایی  $ET_r$  وجود دارد. برای تجسم تغییرات مکانی  $ET_r$ ، اطلاعات سایت‌های هواشناسی با یک روش درون‌یابی منطقی به نقشه تبدیل می‌شود. در این مطالعه نقشه توزیع مکانی ماهانه تبخیر و تعرق با استفاده از روش IDW<sup>2</sup> با اندازه سلول ۱۰۰۰ متر و توان فاصله یک درون‌یابی شد. در نهایت با جمع زدن نقشه‌های ماهیانه مربوط به هر سال، نقشه‌های تبخیر و تعرق سالیانه در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی تولید گردید.

<sup>1</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations

<sup>2</sup> Inverse Distance Weighted

### ۳.۳. آنالیز آماری

هدف از بررسی الگوی زمانی تبخیر و تعرق مرجع، یافتن پاسخ به این سؤال است که آیا در طول ۲۶ سال مذکور تغییر در میزان تبخیر و تعرق مرجع گیاه رخ داده است؟ تحلیل آماری علاوه بر پاسخ به این سؤال، مناطقی را که میانگین و واریانس تبخیر و تعرق مرجع آن‌ها به لحاظ آماری متفاوت هستند مشخص خواهد کرد. برای بررسی معنی دار بودن تغییرات  $ET_r$  در طول زمان، دوره آماری به دو دوره ۱۳ ساله ۱۹۸۹ - ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ - ۲۰۱۴ تقسیم و تجزیه و تحلیل آماری بر پایه آزمون تحلیل واریانس (آزمون پارامتریک F)، در طول دوره آماری و در سطح معنی داری ۵ درصد انجام شده است [14]. از طرفی به جهت یافتن مناطق با تفاوت آماری معنی دار در  $ET_r$  (سالانه)، آزمون تحلیل واریانس با سطح معنی داری ۵ درصد به تفکیک ایستگاه انجام و برای هر ایستگاه در دو دوره یک مقدار احتمال به دست آمد و نهایتاً با روش درون‌یابی IDW با توان فاصله ۲ و اندازه پیکسل ۱۰۰۰ متر، نقشه (معنی دار بودن تغییرات p-value) در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ تولید گردید.

### ۴.۳. تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق مرجع

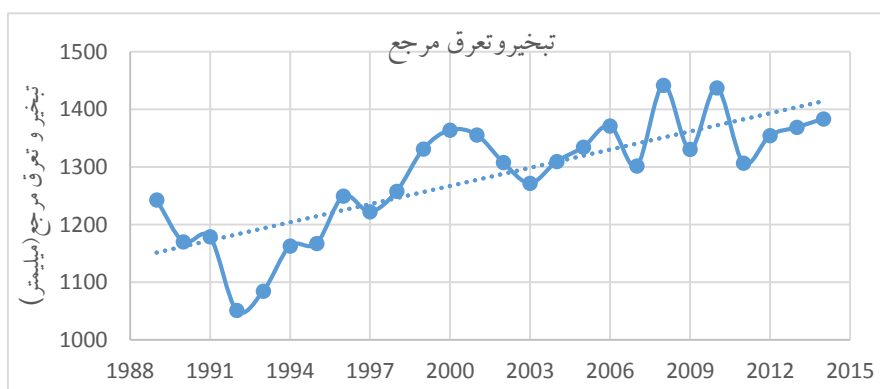
جهت تخمین میزان تأثیر پارامترهای اقلیمی بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع، تحلیل حساسیت بر روی رابطه Penman-Monteith نسبت به پارامترهای اقلیمی ورودی (دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) انجام گرفت. روند انجام کار به این صورت است که طی گام‌هایی با افزایش و کاهش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصدی پارامترهای ورودی، تغییرات تبخیر و تعرق مرجع با تغییر تنها یک پارامتر ورودی و ثابت ماندن مابقی پارامترها محاسبه گردد.

### ۴. نتایج و بحث

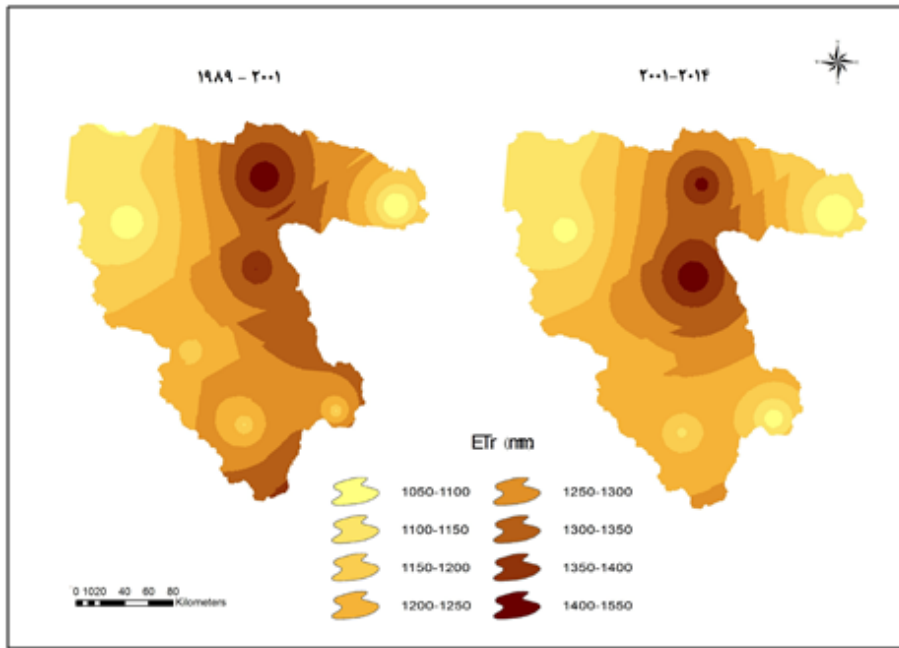
در این بخش ابتدا تغییرات زمانی و مکانی  $ET_r$  به همراه نتایج آزمون آماری در یک دوره ۲۶ ساله (۱۹۸۹ - ۲۰۱۴) بررسی شده و در ادامه تغییرات متغیرهای هواشناسی و میزان تأثیر آن‌ها در تغییرات  $ET_r$  مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

#### ۴.۱. تغییرات زمانی-مکانی $ET_r$

شکل ۲ تغییرات زمانی میانگین تبخیر و تعرق مرجع سالانه طی ۲۶ سال اخیر را نشان می‌دهد. همچنین نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۱ میلادی (دوره آماری اول) و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ میلادی (دوره آماری دوم) در شکل ۳ نمایش داده شده است. میانگین تبخیر و تعرق مرجع در دوره دوم نسبت به دوره اول حدود ۱۵۰ میلی‌متر (۱۳٪) افزایش داشته که بیشترین اختلاف در قسمت شرقی دریاچه مشاهده می‌شود.

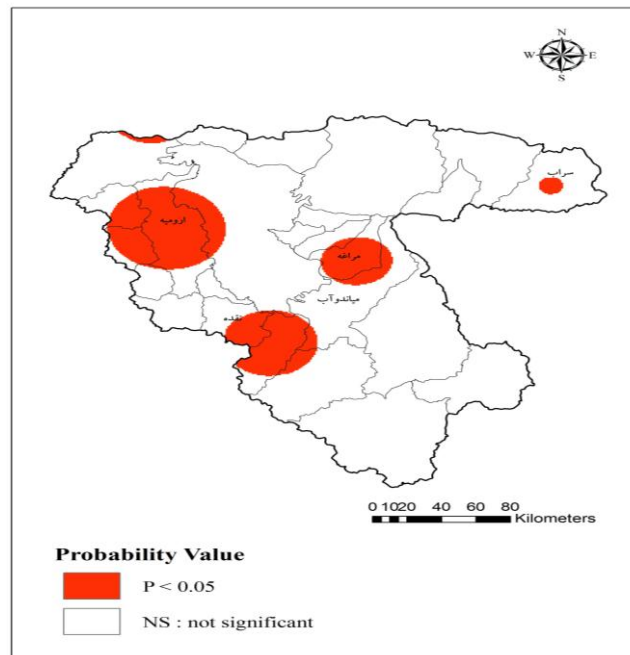


شکل ۲- تغییرات زمانی میانگین تبخیر و تعرق مرجع سالانه در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع سالانه در دو دوره آماری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

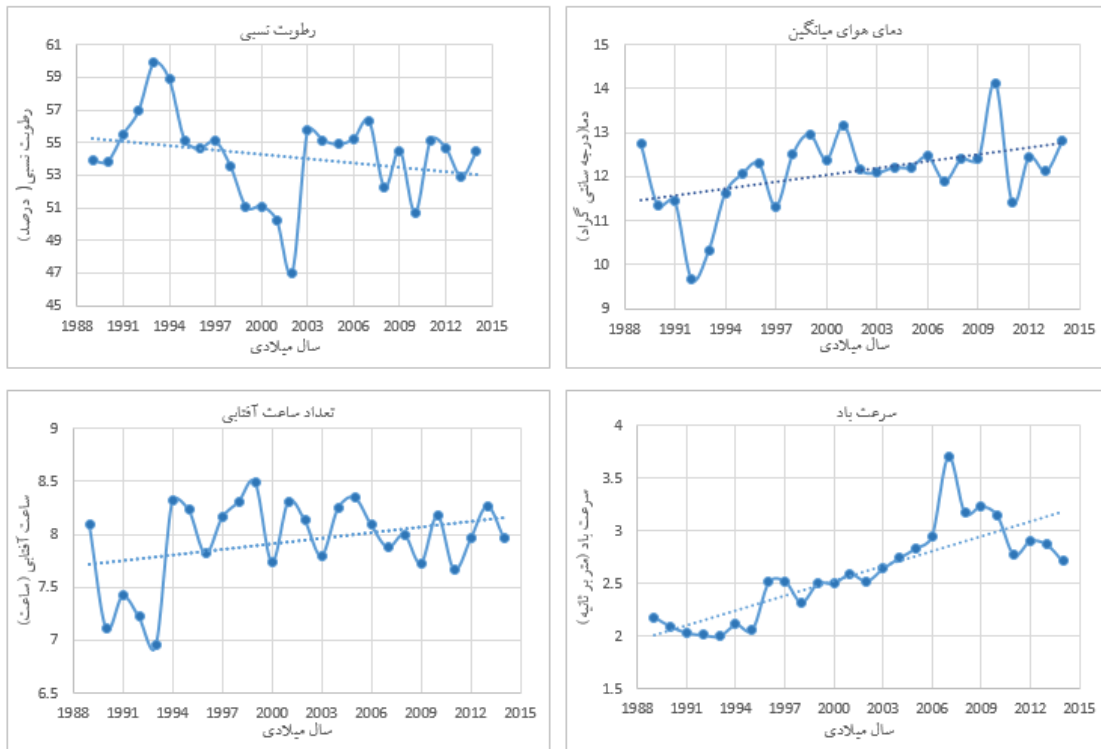
شکل های فوق نشان می دهد که در طول دوره آماری، مقدار  $ETr$  تغییر کرده است. برای بررسی معنی دار بودن این تغییرات، آزمون تحلیل واریانس با سطح معنی داری ۵ درصد انجام گردید. مطابق با جدول آزمون  $F$ ، میان مقادیر تبخیر و تعرق مرجع سالانه دو دوره به لحاظ آماری تفاوت معنی دار و در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. با توجه به نقشه  $p$ -value، مناطقی که دارای مقدار احتمال کمتر از ۰/۰۵ هستند، اختلاف تبخیر و تعرق مرجع در آنها میان دو دوره آماری مذکور به لحاظ آماری معنادار بوده و لذا دارای اهمیت هستند (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ نواحی (قرمز رنگ) ارومیه، مراغه، سراب و قسمتی از میاندوآب و نقده که جزء نواحی عمده کشاورزی در حوضه به شمار می آیند دچار تغییرات تبخیر و تعرق شده اند. به بیان دیگر در این مناطق تغییر در پارامترهای اقلیمی منجر به تغییر قابل ملاحظه ای در  $ETr$  شده است. تغییرات اقلیمی پیش بینی شده در آینده، به عنوان فشار اضافی همراه با توسعه کشاورزی در این نواحی می تواند باعث کاهش بیشتر تراز آب دریاچه و منابع آب در دسترس گردد.



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی  $p$ -value برای تبخیر و تعرق مرجع سالانه در دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی

## ۲.۴. تحلیل حساسیت و تاثیر داده‌های هواشناسی بر $ET_r$

نمودارهای ارائه شده در شکل ۵، تغییرات پارامترهای دمای هوای میانگین (درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، سرعت باد (متر بر ثانیه) و تعداد ساعات آفتابی (ساعت) را طی سال‌های ۱۹۸۹ میلادی تا ۲۰۱۴ میلادی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی طی بازه زمانی مذکور رو به افزایش است و رطوبت نسبی روندی کاهشی دارد. روند تغییرات کلیه پارامترهای نام برده شده کاملاً در جهت افزایش تبخیر و تعرق بوده و تأثیر مثبت در افزایش میزان تبخیر و تعرق مرجع دارند. گفتنی است مقدار همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق پارامترهای هواشناسی دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی (ضریب همبستگی) تعیین به ترتیب برابر با  $0/7$ ،  $0/5$ ،  $0/4$  و  $0/4$  می‌باشد.



شکل ۵- روند تغییرات بلندمدت (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی) پارامترهای دمای هوای میانگین (درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، سرعت باد (متر بر ثانیه) و ساعات آفتابی (ساعت) در حوضه ارومیه

جدول ۱، خلاصه‌ای از میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع بین دو دوره آماری موردنظر را نشان می‌دهد. میانگین سرعت باد در دوره آماری دوم نسبت به دوره آماری اول، ۳۰ درصد افزایش یافته که براساس تحلیل حساسیت، افزایش ۵/۶ درصد در میزان تبخیر و تعرق مرجع را در پی داشته است. پارامتر اقلیمی دمای هوا در دوره آماری دوم نسبت به اول، ۴/۵ درصد افزایش داشته که منجر به افزایش ۵ درصد در میزان تبخیر و تعرق مرجع شده است. تعداد ساعات آفتابی در دوره دوم نسبت به اول، ۲ درصد افزایش داشته که موجب ۱/۷ درصد افزایش در میزان تبخیر و تعرق مرجع شده است. میزان رطوبت نسبی نیز در دوره دوم نسبت به اول، ۱/۵ درصد کاهش یافته که تنها منجر به افزایش ۰/۲ درصد تبخیر و تعرق مرجع شده است. از آنجایی که تغییرات پارامترهای ساعات آفتابی و رطوبت نسبی و میزان تأثیر آن بر تبخیر و تعرق مرجع، در مقابل دو پارامتر دما و سرعت باد ناچیز است، می‌توان دمای هوا و سرعت باد را به عنوان دو عامل موثر در تغییرات  $ET_r$  در نظر گرفت.

جدول ۱- خلاصه تغییر پارامترهای هواشناسی و تأثیر آنها بر تغییر تبخیر و تعرق مرجع

سال (میلادی)		پارامتر مورد بررسی	
میانگین دوره آماری دوم	میانگین دوره آماری اول		
۱۳۵۵	۱۲۰۰	میانگین سالانه (میلی متر)	تبخیر و تعرق مرجع
۱۳		درصد تغییر (دوره دوم نسبت به دوره اول)	
۳۰		درصد تغییر (دوره دوم نسبت به دوره اول)	سرعت باد
۵/۶		درصد تغییر تبخیر و تعرق مرجع	
۴/۵		درصد تغییر (دوره دوم نسبت به دوره اول)	دمای هوا
۵		درصد تغییر تبخیر و تعرق مرجع	
۲		درصد تغییر (دوره دوم نسبت به دوره اول)	ساعات آفتابی
۱/۷		درصد تغییر تبخیر و تعرق مرجع	
-۱/۵		درصد تغییر (دوره دوم نسبت به دوره اول)	رطوبت نسبی
۰/۲		درصد تغییر تبخیر و تعرق مرجع	

## ۵. نتیجه گیری

افت شدید تراز دریاچه ارومیه نشان دهنده کاهش جریان ورودی به دریاچه خصوصاً در دو دهه اخیر می باشد. شناخت وضعیت تغییرات تبخیر و تعرق ناشی از شرایط اقلیمی و فعالیت های انسانی به عنوان مهم ترین عامل خروجی جریان از حوضه اهمیت فراوان دارد. به همین منظور روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع ناشی از تغییرات اقلیمی بر روی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از معادله Penman-Monteith ارزیابی شد و تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق مرجع در دو دوره آماری ۱۳ ساله (۱۹۸۹-۲۰۰۱ و ۲۰۰۲-۲۰۱۴) بدست آمد. همچنین براساس تحلیل حساسیت معادله Penman-Monteith در دوره مورد مطالعه، سهم تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ناشی از تغییرات پارامترهای هواشناسی بررسی گردید. نتایج نشان داد که تأثیر پارامترهای هواشناسی در افزایش تبخیر و تعرق مرجع در دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۴ در مقایسه با دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۱ در حدود ۱۳ درصد بوده و سهم تغییرات پارامترهای دمای هوای، سرعت باد، تعداد ساعات آفتابی و رطوبت نسبی به ترتیب برابر با ۵/۶، ۵، ۱/۷ و ۰/۲ درصد می باشد. بررسی وضعیت تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه گویای روند معنی دار افزایش  $ET_r$  در نواحی ارومیه، مراغه، سراب و قسمتی از میاندوآب و نقده است. با توجه به روند افزایشی پیش بینی شده دما و تغییر اقلیم در آینده انتظار می رود این نواحی بیشتر از تغییرات اقلیمی متأثر شوند. همچنین با توجه به این که کشاورزی در این مناطق وسعت زیاد دارد، این مطالعه لزوم یک برنامه ریزی و مدیریت صحیح در حوضه به خصوص برای نواحی مذکور را ضروری می داند.

## ۶. مراجع

- Hatch, U., Jagtap, S., Jones, J., Lamb, M., (1999). Potential effects of climate change on agricultural water use in the southeast U.S. *Journal of the American Water Resources Association* 35 (6), 1551-1561.
- Fan, Z.-X., and A. Thomas (2013), Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in Yunnan Province, SW China, 1961-2004, *Climate Change*, 116, 309-325.
- Donohue, R. J., T. R. McVicar, and M. L. Roderick (2010), Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate, *Journal of Hydrology*, 386, 186-197.
- Darshana, A., R. Pandey, and P. Pandey (2013), Analysing trends in reference evapotranspiration and weather variables in the Tons River Basin in Central India, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, 1407-1421, doi:10.1007/s00477-012-0677-7.
- Tabari, H., J. Nikbakht, and P. H. Talaee (2012), Identification of trend in reference evapotranspiration series with serial dependence in Iran, *Water Resources Management* ., 26, 2219-2232.



6. Espadafor, M., I. J. Lorite, P. Gavilán, and J. Berengena (2011), An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain, *Agricultural Water Management*, 98, 1045–1061.
7. de la Casa, A.C., Ovando, G.G., (2014). Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196, 1–11.
8. Vicente-Serrano, S. M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., López-Moreno, J. I., & Espejo, F. (2014). Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961–2011). *Water Resources Research*, 50(11), 8458-8480.
9. Wang, W., Q. Shao, S. Peng, W. Xing, T. Yang, Y. Luo, B. Yong, and J. Xu (2012), Reference evapotranspiration change and the causes across the Yellow River Basin during 1957–2008 and their spatial and seasonal differences, *Water Resources Research*, 48, W05530, doi:10.1029/2011WR010724.
10. Matsoukas, C., N. Benas, N. Hatzianastassiou, K. G. Pavlakis, M. Kanakidou, and I. Vardavas (2011), Potential evaporation trends over land between 1983–2008: Driven by radiative fluxes or vapour-pressure deficit?, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 7601–7616.
۱۱. مهندسین مشاور مهتاب قدس. (۱۳۹۲). به هنگام سازی طرح جامع آب کشور در حوضه‌های ارس (تالش، تالاب انزلی)، سفیدرود بزرگ، بین سفیدرود و هراز (هراز-قره‌سو)، (گرگانرود-قره‌سو)، اترک، ارومیه، جلد یازدهم-بیان منابع و مصارف آب (متوسط ۴۰ ساله) حوضه آبریز دریاچه ارومیه.
12. Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y. (2012). Determining the main factors indeclining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management* 26(1), 129-145.
13. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
14. Sun, S., Wang, G., Huang, J., Mu, M., Yan, G., Liu, C., ... & Zhu, S. (2016). Spatial pattern of reference evapotranspiration change and its temporal evolution over Southwest China. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.