نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۴، پاییز ۹۳

تغییرپذیری زمانی- مکانی و روند تبخیروتعرق گیاه مرجع در ایران

دریافت مقاله:۹۲/۱۰/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۳/۶/۱۸

صفحات:۲۵-۷

جعفر معصوم پور سماکوش: استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران [۱]
Email: j.masoompour@razi.ac.ir
سعید رجایی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
Email: Rajaee_saeed@yahoo.com
مریم یگانه فر:کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
Email: m_yeganehfar@ymail.com

چکیده

با توجه به ضرورت برآورد تبخیر و تعرق در مدیریت منابع آب، برنامه ریزی آبیاری و تامین نیاز آبی گیاهان، محاسبه و تغییرات زمانی و مکانی آن بسیار مهم و حیاتی می باشد. در این پژوهش به منظور محاسبه مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل از روش پنمن مانتیث فائو که از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است استفاده شده است. جهت محاسبه مقادیر روزانه تبخیر و تعرق، از آمار هواشناسی ۵۰ ایستگاه سینوپتیکی طی یک دوره آماری ۲۹ ساله (۲۰۰۹ـ۱۹۸۱) استفاده شد. ابتدا مقادیر ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق طی دورهٔ آماری مورد نظر محاسبه شدند و از مقادیر متوسط آنها نیز جهت بررسی تغییرات ماهانه و فصلی استفاده گردید. با استفاده از آزمون ناپارمتریک من ـ کندال و در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، روند ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق مشخص گردید. نتایج نشان داد که روند تبخیر و تعرق در سراسر کشور رو به افزایش است. بیشترین تغییر روند سالیانه و افزایش تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های بیرجند، شاهرود، قزوین، جاسک، سمنان، بابلسر، دوشان تپه و سنندج و کمترین مقدار تغییر نیز در ایستگاه های فسا و کیش مشاهده شده است که در این دو ایستگاه، مقدار تبخیر و تعرق تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. بیشترین تغییر روند ماهانه در ماه جولای و در ایستگاه‌های خشک کشور و همچنین کمترین تغییر روند ماهانه نیز در ماه‌های دسامبر و ژانویه رخ داده است.

کلیدواژگان: تبخیر و تعرق، پنمن ـ مانتیث فائو، روند، آزمون من ـ کندال، ایران

---

۱. **نویسندهٔ مسئول:** کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا، کد پستی: ۶۷۱۴۹۶۷۳۴۶

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مقدمه

رشته کوه های البرز و زاگرس نقش بسیار مهمی در ناهمگونی زمانی و مکانی بارندگی در کل کشور ایفا می‌کنند. این رشته کوه‌ها مانع از رسیدن توده های مرطوب به قسمت های داخلی کشور می‌شوند (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۴: ۷۴). از این رو ضروری است تا با مدیریت کارآمد منابع آب و همچنین اولویت‌بندی مناطق مختلف از نظر خشکی، از بروز مشکلات جدی ناشی از کم آبی جلوگیری شود. تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی است که نقش مهمی در طرح‌های مدیریت منابع آب، مطالعات کشاورزی، طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سازه های آبی ایفا می کند(گوندکار[1] و همکاران؛ ۲۰۰۸: ۱۷۰). یکی از راههای کاهش تلفات آب درمزارع، برنامه ریزی صحیح آبیاری می باشد که اساس آن، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان و در نتیجه تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد. مطالعه و بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ارائه الگوی کشت مناسب و بهینه سازی استفاده از منابع آب موجود در دوره های آتی ضروری است (گل کار حمزیی یزد و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۱۷).

تبخیر و تعرق یکی از پارامترهای مهم در چرخه هیدرولوژی است که بر میزان آب در دسترس و کشاورزی تاثیر مستقیم می‌گذارد. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می تواند بر میزان تبخیر و تعرق اثر بگذارد، به نحوی که می توان با مشخص نمودن روند آن، میزان اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق را تعیین کرد(دوویل[2] و همکاران، ۲۰۰۲: ۴۷). چنین شرایطی موجب تبخیر بیشتر و درنهایت گسترش محیط‌های خشک در سرتاسر جهان می‌شود. سازوکاری که در تبخیر و تعرق موجب تغییر روند می‌گردد هنوز به روشنی مشخص نیست، اگر چه بر گرمایش جهانی توافقی کلی حاکم است، ولی فاکتورهای فراوانی می‌توانند موجب افزایش و یا کاهش میزان تبخیر و تعرق گردند(IPCC, 2001).

مدل‌های گوناگونی برای برآورد تبخیر و تعرق وجود دارد که از جمله می‌توان به دو مدل پنمن و هارگریوز اشاره نمود. مدل‌های خانواده پنمن، دقیق ترین مدل‌ها برای محاسبه تبخیر و تعرق می‌باشند(کیو[3] و همکاران، ۲۰۰۲: ۷۶). مدل PMF_56 دقیق‌ترین مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق می‌باشد که توسط سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی به عنوان مدل استاندارد معرفی شده است(آلن[4] و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۹). در این مدل، تابش خورشید و سرعت باد نیز به

1. Gundekar, 2008
2. Douville, 2002
3. Qiu, 2002
4. Allen, 1998

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

به ترتیب موثرترین پارامترها در تعیین تبخیرتعرق می باشند (هوپت و وَنکلوستر[1]، ۲۰۰۱: ۱۹۴). بر اساس مطالعاتی که در کشور چین با روش پنمن صورت گرفت، مشخص شد که مقدار تبخیر و تعرق حوضه‌های اصلی و رود های بزرگ به رطوبت نسبی و دمای هوا حساسیت بیشتری دارند(گونگ[2] و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۲۰).

بورن و هش[3] (۲۰۰۷) با آزمون من کندال روند تبخیر را بررسی و روند محاسبه شده را با تشت تبخیر در شهر کانادین پرایریس[4] مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که در ماههای ژوئن، جولای، آگوست و اکتبر، یا به عبارتی فصل گرم سال، تبخیر و تعرق روندی کاهشی داشته و بیشترین میزان افزایش تبخیر و تعرق نیز در ماه آوریل مشاهده شده است. یانگ[5] و یانگ(۲۰۱۲)، در بررسی روند تبخیر با استفاده از تشتک‌های تبخیر(با مطالعه ۵۴ ایستگاه هواشناسی طی یک دوره ۴۰ ساله)در کشور چین، کاهش قابل توجه ای را در میزان تبخیر و تعرق مشاهده کردند که این تغییرات و کاهش روند را نتیجه نوسان میزان پارامترهایی چون سرعت باد، تابش دریافتی، دمای هوا و رطوبت نسبی دانستند.

عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل از طریق رگرسیون چند متغیره در استان اصفهان نشان دادند که در استان اصفهان از غرب به شرق و از شمال به جنوب بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود. طالبی و همکاران (۱۳۸۹) عوامل موثر بر تبخیر تعرق گیاه مرجع را با استفاده از آنالیز حساسیت معادله‌ی فائو پنمن –مانتیث مطالعه کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نحوهٔ اولویت بندی پارامترهای اقلیمی و میزان تاثیرگذاری آنها را در ماههای مختلف سال در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

در مطالعهٔ مقایسه ای روش پنمن مانتیث فائو با داده های لایسیمتری در برآورد تبخیر تعرق گیاه برنج، مشخص شد که نسبت به اندازه گیری لایسیمتری، استفاده از روش پنمن در محاسبهٔ تبخیر تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی تبخیرتعرق برنج در منطقه آمل، حدود ۴-۵ درصد برآورد بیشتری دارد(زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹).

در ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد تبخیر وتعرق فائو ۵۶ و هارگریوز با پارامترهای بیشینه وکمینه‌ی دمای هوا در نواحی مرطوب شمال کشور مشخص شد که به دلیل لحاظ شدن اثر پس‌خورد مؤلفه تابش خالص طول موج بلند و کمبود فشار بخار آب در مدل آیرودینامیکی

1. Hupet &Vanclooster, 2001
2. Gong, 2006
3. Burn & Hesch, 2007
4. Canadian Prairies
5. Yang, 2012

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

پنمن، این مدل، حساسیت منطقی تری را به نوسانات اقلیمی دمای بیشینه و دمای کمینه هوا از خود نشان می دهد. به طور کلی، نتایج حساسیت مدل های PMF-56 و HG نسبت به دماهای بیشینه و کمینه در منطقه مورد مطالعه نشان داد که این مدل‌ها به کاهش و افزایش دمای بیشینه حساس تر از دمای کمینه می باشند(سبزی پرور و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱).

از جمله پژوهش‌هایی که در ایران بر روی تبخیر و تعرق صورت گرفته است می‌توان به مطالعه شرقی و همکاران (۱۳۸۹) اشاره نمود که به بررسی تبخیرتعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مانتیث در استان یزد پرداختند و اظهار داشتند که مناطق مرکزی، جنوبی و برخی از نواحی غربی استان از شدت تبخیرتعرق بیشتری نسبت به مناطق شمال و شرق استان برخوردارند.

در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در رود شور استان مرکزی مشخص شد که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ۶/۱۶ برابر میانگین تبخیر و تعرق واقعی است(احسانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴). بررسی تغییرات درازمدت تبخیرتعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور نشان داد که در یک دوره‌ی ۵۰ ساله و در مقیاس سالانه، ۵۳ درصد ایستگاه‌ها در فصل‌های مختلف روند معنی‌داری دارند و ۴۷ درصد ایستگاه‌ها در کل عدم معنی داری را نشان می دهند(سبزی پرور، ۱۳۹۰: ۷۲).

فلات ایران با قرارگیری در کمربند بیابانی با کمبود شدید منابع آبی مواجه می‌باشد. از این رو ضروری است تا با مدیریت کارآمد منابع آب و همچنین اولویت‌بندی مناطق مختلف از نظر خشکی، تا حد ممکن از بروز مشکلات جدی ناشی از کم آبی جلوگیری شود. تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی است که نقش مهمی را در طرح‌های مدیریت منابع آب، مطالعات کشاورزی، طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سازه های آبی بازی می کند.

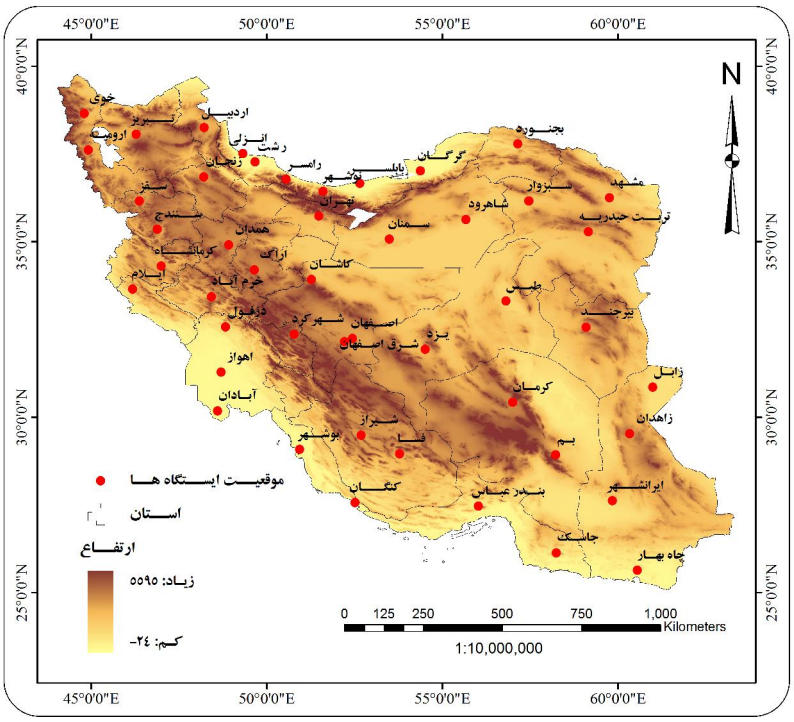
موارد ذکر شده موجب اهمیت مطالعه بر روی تبخیر و تعرق و پیش‌بینی روند تغییرات برای مدیریت منابع آبی کشور گردیده است. هدف از این پژوهش بررسی پهنه‌های مختلف تبخیر و تعرق در سراسر کشور و شناسایی روند بلند مدت تبخیر و تعرق در سطح کشور می‌باشد.

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور ارزیابی پهنه‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح کشور از آمار سینوپتیک ۵۰ ایستگاه در یک دوره زمانی ۲۹ ساله (۱۹۸۱ تا ۲۰۰۹) استفاده شده است. سعی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

بر آن بود که ایستگاه‌ها در سطح کشور توزیع نسبتاً همگنی داشته باشند(شکل ۱). همچنین از ایستگاه‌هایی استفاده شده است که نقص داده نداشته و دارای دوره آماری ۲۹ ساله باشند.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگراف – اسمیرنوف و به منظور اطمینان از تصادفی بودن داده ها، از آزمون همگنی استفاده شده است. پس از اطمینان از نرمال و همگن بودن داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی، با استفاده از معادله پنمن ـ مانتیث فائو (رابطه ۱) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه شد(Allen and et al, 1998: 24)، که عبارت است از:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\, u_2)} \qquad (۱)$$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع(mm/d) که به عنوان تبخیر- تعرق از گیاه مرجع با ارتفاع فرضی ۱۲/ ۰ متر و یک مقاومت سطحی ثابت(s/m) ۷۰ و آلبیدو ۰/۲۳ تعریف شده است. R_n، تابش خالص خورشیدی در سطح محصول(Mj/m^2 day)؛ G: شار حرارتی خاک(Mj/m^2 day)؛ T: متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری به سانتیگراد؛ e_s: فشار بخار اشباع(kPa)؛ e_a : فشار بخار واقعی(kPa)؛ ($e_s - e_a$): کمبود فشار بخار اشباع(kPa)؛ Δ: شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت(kPa/oC-1)؛ γ :ثابت سایکرومتریک (kPa/oC-1)؛ u_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری(m/s).

مقادیر به صورت روزانه محاسبه شدند و برای تبخیر و تعرق ماهانه، مقادیر محاسبه شده در هر روز با توجه به تعداد روز هر ماه جمع بسته شده و به عنوان مجموع ماهانه در نظر گرفته شد.

آزمون ناپارامتری من- کندال جهت آزمون معناداری روند و آشکارسازی جهش در سری‌های زمانی تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفت و مقدار روند افزایشی یا کاهشی تبخیر و تعرق در پهنه مطالعاتی مشخص گردید.

آزمون رتبه‌ای من-کندال در چند مرحله صورت می‌گیرد. به این ترتیب که ابتدا داده‌ها رتبه بندی می شوند و آماره t_i که نسبت رتبه i به رتبه های ماقبل خود است (رابطه ۲)، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در مرحله بعدی، فراوانی تجمعی آماره t_i، و در گام‌های بعد به ترتیب آماره های E_i که معرف امید ریاضی(رابطه ۳)، V_i یا واریانس(رابطه ۴) و U_i که شاخص مقایسه‌ای آزمون من- کندال است(رابطه ۵)، مورد محاسبه قرار می گیرد. معادله آماره‌های فوق الذکر به شرح ذیل می‌باشند:

$$t_i = \sum_{i=1}^{n} t_i \qquad (۲)$$

$$E_i = \frac{n_i(n_i-1)}{4} \qquad (۳)$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5)}{72} \qquad (۴)$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \qquad (۵)$$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

در معادلات فوق، n_i ترتیب زمانی داده ها است. برای ترسیم نمودار من-کندال و آشکار سازی معنی داری یا غیر معنی دار بودن روند سری زمانی، باید آماره های قرینه ای تحت عناوین t'_i، E'_i، V'_i و U'_i (به ترتیب، روابط ۶، ۷، ۸ و ۹) مورد محاسبه قرار گیرند. معادله آماره های فوق الذکر به شرح زیر می باشند:

$$t'_i = \sum_{i=1}^{n} t_i \quad (۶)$$

$$E'_i = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4} \quad (۷)$$

$$V'_i = \frac{[[N-(n_i-1)](N-n_i)][2(N-n_i)]+5}{72} \quad (۸)$$

$$U'_i = \frac{(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \quad (۹)$$

در معادلات فوق N طول دوره آماری یا حجم نمونه است. محل تلاقی U_i و U'_i در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، بیانگر تغییرات معنی دار سری زمانی اقلیمی بوده و رفتار U_i بعد از محل تلاقی، وضعیت نزولی یا صعودی سری اقلیمی را مشخص می‌کند (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۸).

در این تحقیق به منظور بررسی تغییرپذیری زمانی – مکانی و روند تبخیروتعرق، پس از مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله[1] (IDW)، مشخص شد که روش IDW مناسب تر می باشد و تغییرات ایستگاه‌ها را بهتر نمایش می‌دهد.

روش وزن‌دهی عکس فاصله (رابطه ۱۰)، یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی کاربرد نسبتاً زیادی دارد. فرض اساسی این روش بر آن است که چیزهایی که در نزدیکی یکدیگر قرار دارند، نسبت به چیزهایی که از هم فاصله دارند، به هم شبیه تر هستند و با افزایش فاصله، میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. با این فرض، نقاط نزدیک‌تر در پیش‌بینی، وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر خواهند داشت(ترابی‌آزاد و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۳). بیان آماری چنین رویکرد وزن‌دهی، عبارت است از (لو و وُنگ، ۲۰۰۸):

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{N} z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^{N} d_i^{-n}} \quad (۱۰)$$

که در آن: di: عبارت از فاصله بین نقطه تخمین تا هر کدام از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، ZO: مقدار تخمین متغیر z در نقطه i، Zi: مقدار نمونه در نقطه i، di: فاصله نمونه تا نقطه

[1]. Inverse distance weights

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مورد تخمین و n: ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعین می‌کند. این روش تحت تاثیر ایستگاه‌های همجوار قرار نگرفته و به صورت مستقل تغییرات را نشان داده و با فاصله از مرکز شدت تغییرات کاهش می‌یابد.

نتایج

در این پژوهش، تبخیر و تعرق پتانسیل به وسیله روش پنمن مانتیث برای هر یک از ایستگاه‌ها در یک دورهٔ آماری ۲۹ ساله (۲۰۰۹-۱۹۸۱) محاسبه گردید. جهت بررسی روند نیز از آزمون من کندال استفاده شده است. بر اساس نتایج، ایستگاه‌های سواحل شمالی کشور کمترین میزان تبخیر و تعرق را با مقدار کمتر از ۷۰۰ میلیمتر به خود اختصاص داده‌اند. در این میان ایستگاه‌های رامسر، نوشهر، اردبیل، رشت و انزلی کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا می‌باشند. در این ایستگاه‌ها، به دلیل رطوبت نسبی بالا و همچنین متوسط دمای پایین، مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل کمتر از سایر ایستگاه‌ها است. در هوای خشک، فشار بخار آب هوا خیلی کمتر از فشار بخار آب سطح تبخیر شونده است. این اختلاف فشار بخار آب سبب حرکت و انتقال ملکول‌های بخار آب به داخل هوا می‌شود و در صورت مرطوب بودن هوا، چون اختلاف فشار بین هوا و سطح تبخیر شونده کمتر است، بالا رفتن دما افزایش چشمگیری در میزان تبخیر ایجاد نمی‌کند (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۰، ۲۰۹).

مناطق مرکزی، جنوب غربی و جنوب شرقی ایران بیشترین مقدار تبخیر وتعرق را به خود اختصاص داده‌اند. در این نواحی به دلیل وجود رطوبت کم و متوسط دمای بالا، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق صورت می‌گیرد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه‌های ایرانشهر، بم، اهواز و آبادان می باشد. یعنی اینکه ایستگاه‌های جنوب شرقی و مرکزی ایران به دلیل رطوبت پایین و همچنین متوسط دما و شدت تابش بالا، مقدار حداکثری تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده اند. بر این اساس، سواحل جنوبی کشور با وجود دمای بالا و قرار گیری در عرض‌های جنوبی‌تر نسبت به مناطق مرکزی، تبخیر و تعرق پتانسیل کمتری دارند. مقدار تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های سواحل جنوبی ایران حدود ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ میلیمتر می‌باشد(شکل ۲ـ الف).

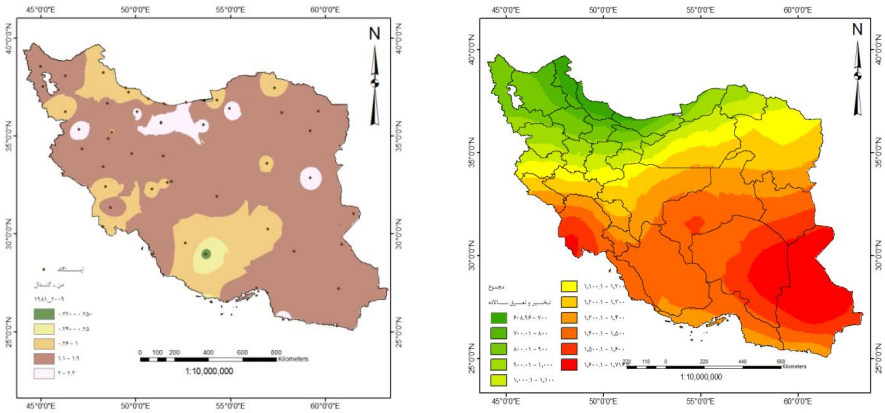
بر اساس نتایج U_i؛ که شاخص مقایسه‌ای آزمون من-کندال است و مقدار انحراف از میانگین را نمایش می‌دهد(تورگای و ارکان[1]، ۲۰۰۶)، روند تبخیر و تعرق در سراسر ایران نیز رو به افزایش می باشد(شکل ۲ـ ب)، تنها ایستگاه فسا و در مرتبه بعد کیش روند تبخیر و تعرق کاهشی

1. Turgay & Ercan; 2006

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

داشته اند. بیشترین میزان تغییر در روند تبخیر و تعرق، در ایستگاه‌های بیرجند، شاهرود، قزوین، جاسک، سمنان، بابلسر، دوشان تپه و سنندج مشاهده می شود که مقدار U_i در سطح اطمینان α[1] از محدود ۱/۹۶+ خارج شده است. مناطق خشک و نیمه خشک بیشترین تغییر روند و افزایش تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده اند(شکل شماره ۲ـ ب).

ب الف



شکل (۲) الف) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح کشور ۲۰۰۹ـ۱۹۸۱، ب) روند تبخیر و تعرق در سال‌های ۲۰۰۹ـ۱۹۸۱

مقدار تبخیر و تعرق به صورت میان دوره‌ایی نیز تغییرات فاحشی را نشان می دهد. در میان سال‌های ۱۹۸۹ـ۱۹۸۱، روند تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های بندر لنگه، اهواز و مشهد، کاهشی می باشد. در دیگر ایستگاه‌ها مقدار انحراف از میانگین افزایش کمتری داشته ولی این افزایش، بسیار کم و در محدوده نرمال می‌باشد. به عبارتی دیگر، ۱۲ درصد از ایستگاه‌ها، کاهش روند و ۸۸ درصد بقیه نیز افزایش روند را نشان می‌دهند(شکل شماره ۳ـ الف). در دهه دوم یعنی سال‌های ۱۹۹۹ـ۱۹۹۰، مقدار U_i در ایستگاه‌هایی چون مشهد و قزوین به حدود ۱- رسیده که بیشترین میزان کاهش محاسبه شده است. در این سال‌ها، مقدار U_i در ایستگاه‌های رامسر، شیراز و سبزوار از محدوده اطمینان ۱/۹۶+ خارج شده و تغییر در روند صورت گرفته است. مقدار Ui در بیشتر مساحت کشور حدود ۱+ تا ۲+ می باشد. در کل در میان سال‌های ۱۹۹۹ـ۱۹۹۰، در ۸ درصد از ایستگاه‌ها مقدار تبخیر و تعرق کاهشی و در ۹۴ درصد بقیه

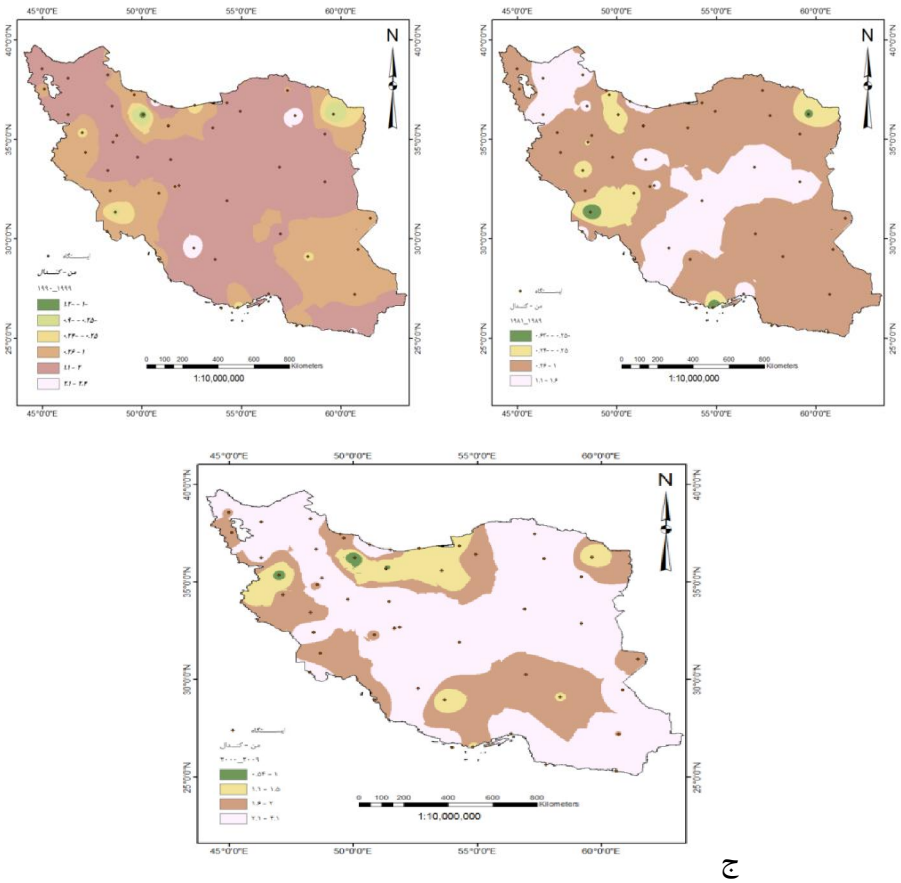
1. level of significance(99% z=2.58 and 95% z=1.96)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

افزایشی بوده است. از این ۹۴ درصد، در۱۴درصد ایستگاه‌ها، مقدار تبخیر و تعرق تغییر بیشتری داشته و از محدوده ۱/۹۶+ خارج شده اند (شکل شماره ۳ـ ب).

در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میزان تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاهها افزایش داشته است. روند تبخیر و تعرق نیز در بیشتر ایستگاه‌ها به شدت افزایشی بوده است. کمترین مقدار تغییر U_i در ایستگاه‌های سنندج و قزوین مشاهده شده است(شکل شماره ۳ـ ج). ۵۲ درصد از ایستگاه‌ها از محدوده اطمینان ۱/۹۶+ خارج شده‌اند که جز رامسر، خوی و تبریز، تماماً در مناطق خشک واقع شده‌اند که از نظر آب در دسترس دچار مشکل می‌باشند.

الف ب

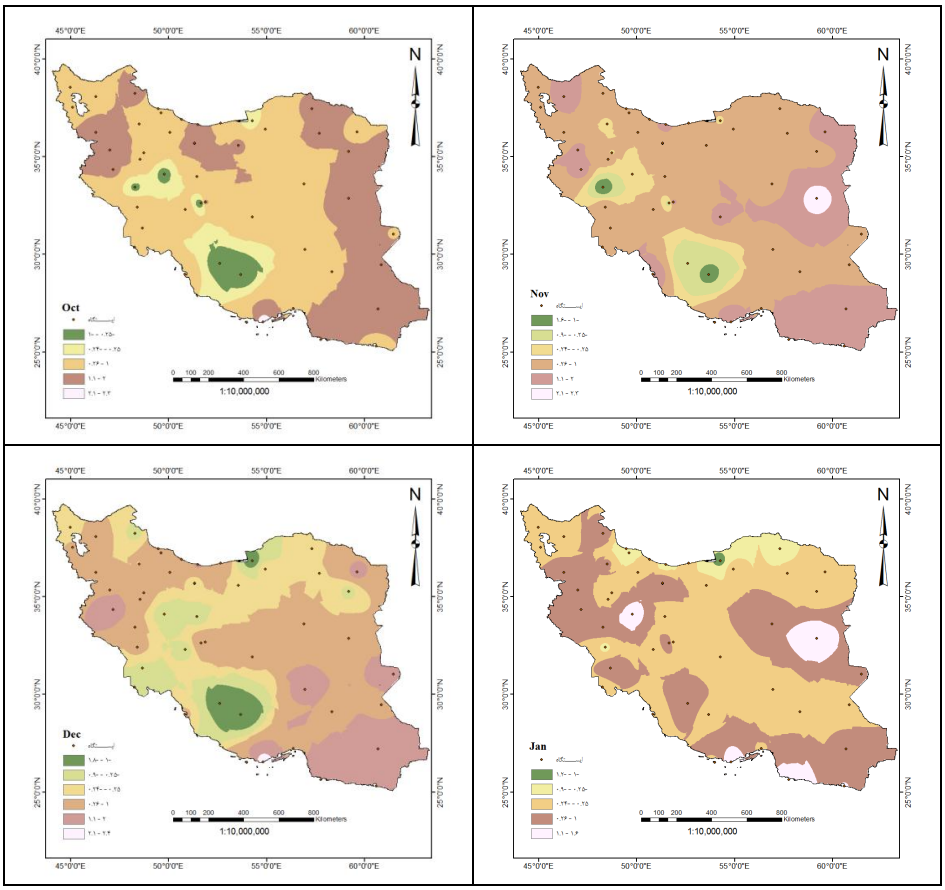


ج

شکل (۳) الف) روند تبخیر و تعرق در سال‌های ۱۹۸۹ـ۱۹۸۱، ب) در سال‌های ۱۹۹۹ـ۱۹۹۰ و ج) در سال‌های ۲۰۰۹ـ۲۰۰۰

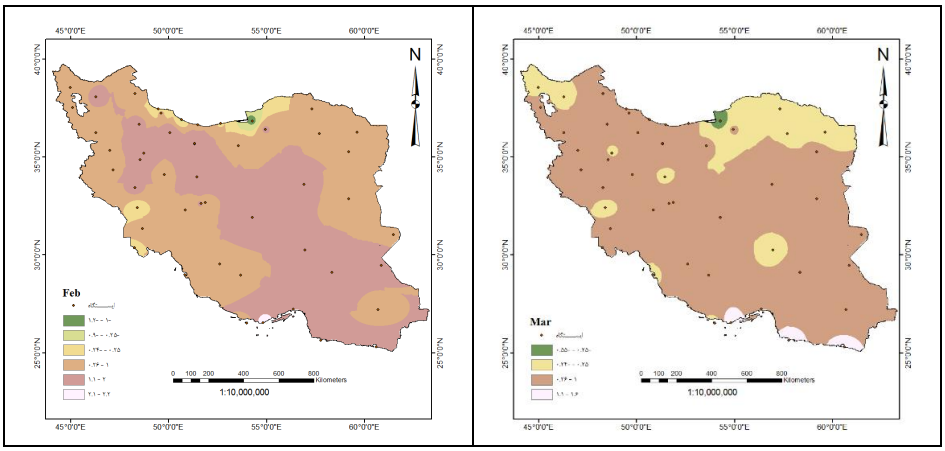
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

روند ماهانه تبخیر و تعرق نیز شرایط متفاوتی را نشان می‌دهد. کمترین تغییرات در روند تبخیر و تعرق ماهانه در اواخر فصل پاییز و اوایل زمستان مشاهده شده است. در ماه ژانویه ۳۲ درصد از ایستگاه‌ها مقدار منفی تبخیر و تعرق را نشان داده‌اند که بیشترین کاهش، در ایستگاه گرگان با مقدار U_i؛ ۱/۲۱- حاصل شده است. پس از ژانویه، بیشترین روند کاهشی تبخیر و تعرق مربوط ماه دسامبر می باشد، که این روند کاهشی، در۱۲ درصد ایستگاه‌ها به وضوح مشخص است. همانند ماه ژانویه، بیشترین مقدار کاهش تبخیر و تعرق، مربوط به ایستگاه گرگان (با مقدار Ui۱/۵۲-) می باشد(شکل ۴). دلیل کاهش مقدار تبخیر و تعرق گرگان تا حدودی مرتبط با افزایش رطوبت و ثابت بودن دمای ایستگاه می‌باشد.



شکل (۴) روند تبخیر و تعرق در فصل‌های پاییز و زمستان

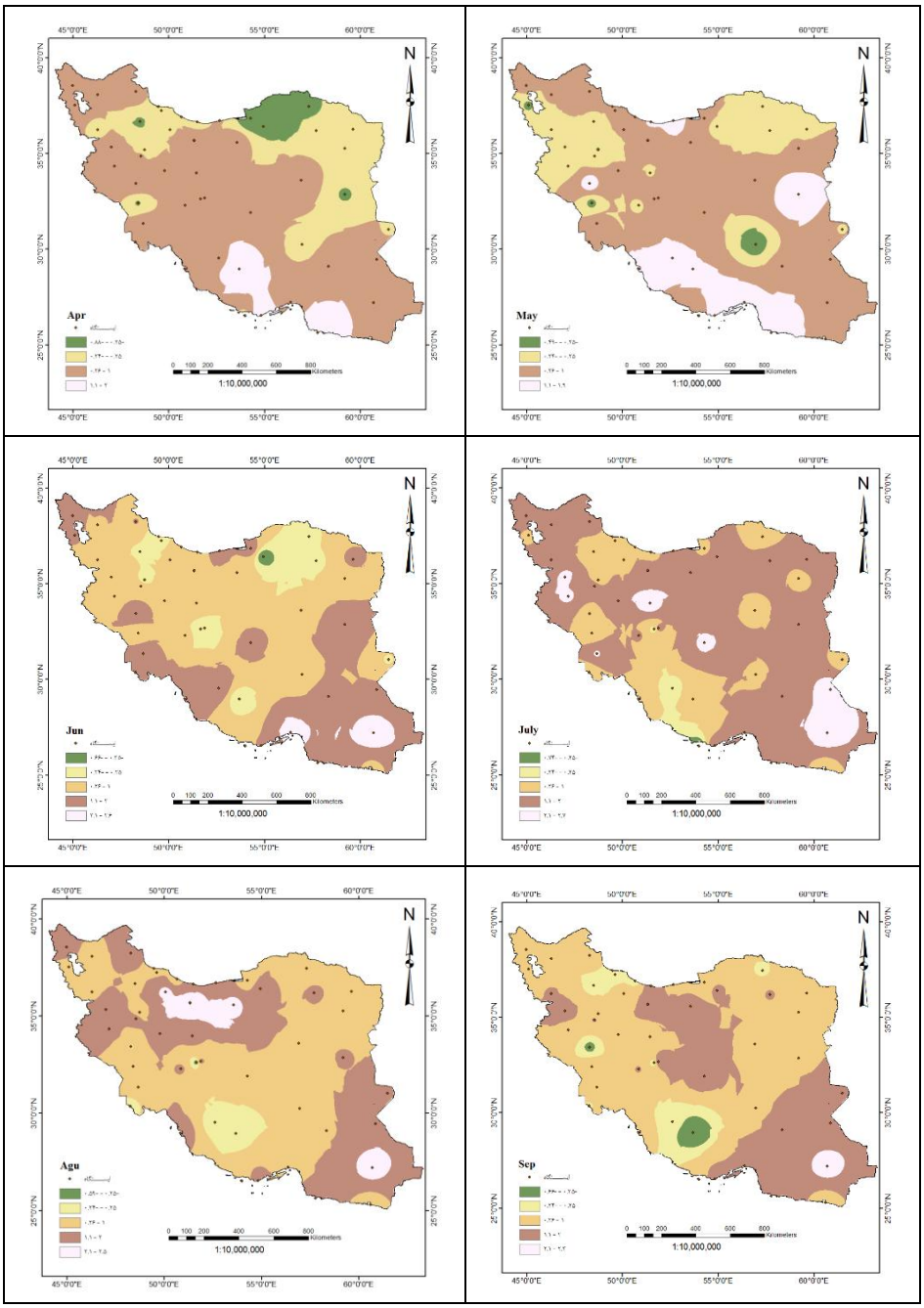
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



ادامه شکل (۴)

در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست، تبخیر و تعرق در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه روندی افزایشی داشته است. در ماه جولای در ۴۷ ایستگاه مورد مطالعه، روند تبخیر و تعرق رو به افزایش بوده است، که تنها در ایستگاه‌های اصفهان و کیش (به ترتیب با مقدار U_i ؛ ۰/۲- و ۰/۵-) کاهش روند مشاهده شده است. در ماه آگوست نیز در ۴۶ ایستگاه افزایش مقدار تبخیر و تعرق مشاهده شد. در این ماه نیز تنها در ایستگاه‌های فسا، شیراز و اصفهان میزان تبخیر و تعرق کاهشی بوده است. بیشترین تغییرات Ui نیز در ماه‌های گرم سال مشاهده شده است. در ماه جولای ۸ ایستگاه اصفهان، سنندج، دوشان تپه، زاهدان، یزد، اهواز، کرمانشاه و کاشان از محدود اطمینان ۱/۹۶+ خارج و تغییر روند بلند مدت ماهانه را نشان می‌دهند. تبخیر و تعرق، در ایستگاه فسا و گرگان طی بیشتر ماه‌ها به دلیل افزایش مقدار رطوبت نسبی و ثابت بودن دما روندی کاهشی دارد. در مقابل، ایستگاه ایرانشهر در تمامی ماه‌های سال افزایش روند تبخیر و تعرق را نشان می دهد. در این ایستگاه، از ماه‌های ژوئن تا سپتامبر، مقدار تبخیر و تعرق از محدوده اطمینان ۹۵ درصد خارج شده و تغییر در مقادیر تبخیر و تعرق صورت گرفته است (شکل ۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۵) روند تبخیر و تعرق در فصل‌های بهار و تابستان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

بر اساس مطالب فوق، و با توجه به جدول (۱)، جز ایستگاه گرگان که مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل کاهش یافته است، در تمامی ایستگاه‌های کشور نرخ تبخیر و تعرق روندی افزایش داشته است. روند افزایشی ماهانه در تمامی ایستگاه‌ها یکسان نبوده و تنها در پانزده ایستگاه در تمامی ماه‌ها روند مثبت تبخیر و تعرق مشاهده شده است. این ایستگاه‌ها شامل ایرانشهر، جاسک، بندر لنگه، زابل، چابهار، زاهدان، بم و بندر عباس در جنوب و جنوب شرقی ایران و ایستگاه‌های سقز، ارومیه، تبریز، قزوین و بابلسر در شمال و شمال غربی کشور می‌باشند. علاوه بر ایستگاه‌های فوق الذکر، ایستگاه‌های طبس و مشهد نیز در تمامی ماه‌ها افزایش تبخیر و تعرق را نشان می‌دهند. روند افزایشی ماهانه ایستگاه‌های شمال غربی بسیار اندک و در محدوده اطمینان ۱/۹۶+ بوده است، در صورتی که در ایستگاه‌های جنوب شرقی، حداقل در یک ماه که عمدتاً ماه‌های گرم سال می باشد، از محدوده اطمینان ۱/۹۶+ خارج شده است. برای نمونه می‌توان به ایستگاه‌های ایرانشهر و زاهدان اشاره نمود(جدول ۱).

نتیجه گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ایستگاه‌های جنوب شرقی و مرکزی ایران به دلیل رطوبت پایین و همچنین متوسط دما و شدت تابش بالا، مقدار حداکثری تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده اند. بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه‌های ایرانشهر، بم، اهواز و آبادان می باشد. در سواحل شمالی کشور میزان تبخیر و تعرق کمتر از ۷۰۰ میلیمتر می‌باشد. در این میان ایستگاه‌های رامسر، نوشهر، اردبیل، رشت و انزلی کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا می‌باشند.

آزمون من-کندال نشان می‌دهد که به استثنای فسا و در مرتبه بعد کیش، روند تبخیر و تعرق در سراسر ایران رو به افزایش است. ایستگاه‌های بیرجند، شاهرود، قزوین، جاسک، سمنان، بابلسر، دوشان تپه و سنندج بیشترین میزان تغییر روند تبخیر و تعرق را دارامی‌باشند و مقدار U_i از محدوده ۱/۹۶+ بیشتر و تغییر در روند صورت گرفته است. نسبت به دیگر مناطق، تغییر روند و افزایش تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه خشک شدیدتر بوده است.

در بررسی دهه ای، روند افزایشی تبخیر و تعرق در تمامی دوره‌ها یکسان نبوده و در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ شدت بیشتری یافته است. در این سال‌ها، روند تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاه‌ها به شدت افزایش یافته است. کمترین مقدار تغییر U_i در ایستگاه‌های سنندج و قزوین مشاهده شد. در این سال‌ها، میزان تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاهها روندی افزایش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

داشته است. ۵۲ درصد از ایستگاه‌ها از محدوده اطمینان ۱/۹۶+ خارج شده‌اند که جز رامسر، خوی و تبریز تماماً در مناطق خشک واقع شده‌اند.

روند ماهانه تبخیر و تعرق نیز متفاوت بوده است. کمترین تغییرات در روند تبخیر و تعرق ماهانه در اواخر فصل پاییز و اوایل زمستان مشاهده شده است. در ماه ژانویه، ۳۲ درصد از ایستگاه‌ها مقدار منفی تبخیر و تعرق را داشته اند. در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست روند تبخیر و تعرق در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی بوده است. در ماه جولای در ۴۷ ایستگاه مورد مطالعه روند تبخیر و تعرق رو به افزایش بوده است و در ماه آگوست نیز در ۴۶ ایستگاه افزایش مقدار تبخیر و تعرق مشاهده شد، بنابراین، بیشترین تغییرات U_i نیز در ماه‌های گرم سال صورت گرفته است. در ماه جولای ۸ ایستگاه اصفهان، سنندج، دوشان تپه، زاهدان، یزد، اهواز، کرمانشاه و کاشان از محدود اطمینان ۱/۹۶+ خارج و تغییر روند بلند مدت ماهانه را نشان می‌دهند.

نکته قابل توجه در روند تبخیر و تعرق، کاهشی بودن مقدار تبخیر و تعرق در بیشتر ماه‌های سال در ایستگاه فسا و گرگان می باشد که به دلیل افزایش مقدار رطوبت نسبی و ثابت بودن دما می‌باشد. در نقطه مقابل ایستگاه ایرانشهر قرار دارد که در تمامی ماه‌های سال، افزایش روند تبخیر و تعرق را داراست. در این ایستگاه، در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر، مقدار تبخیر و تعرق از محدوده اطمینان ۹۵ درصد خارج شده و تغییر در مقادیر تبخیر و تعرق صورت گرفته است.

مطالعات مختلفی در ایران صورت گرفته است که مقدار تبخیر و تعرق را در مناطق مختلف کشور بررسی نموده اند ولی تنها پژوهش جامعی که مقدار تبخیر و تعرق را در تمامی ایستگاه-های کشور برآورد نموده می‌توان به مطالعه زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) اشاره نمود. محققان دراین پژوهش، روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع را بررسی و ایران را از نظر مقدار تبخیر و تعرق پهنه بندی نمودند. در پژوهش حاضر سعی بر آن شد که علاوه بر محاسبه و پهنه بندی تبخیر در سراسر ایران، روند ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق در سراسر کشور طی یک دوره ۲۹ ساله بررسی شود که جنبه نوآوری این مطالعه در مقایسه با مطالعات مشابه بوده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

جدول (۱) مقادیر حاصل شده از آزمون من ـ کندال برای روند تبخیر و تعرق ماهانه و سالانه

ایستگاه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	روند سالانه	روند ۱۹۸۹-۱۹۸۱	روند ۱۹۹۹-۱۹۹۰	روند ۲۰۰۹-۲۰۰۰
اراک	۱.۴۰	۰.۷۶	۰.۶۲	۰.۵۹	۰.۳۸	۰.۵۶	۱.۸۲	۱.۵۰	۰.۶۶	-۰.۴۱	-۰.۰۷	-۰.۷۴	۱.۴۳	۰.۶۸	۱.۳۲	۲.۲۹
اردبیل	۰.۴۷	۰.۷۵	۰.۹۳	۰.۹۳	۰.۹۵	۱.۰۳	۱.۶۸	۱.۶۰	۰.۹۱	۱.۱۶	۰.۶۷	-۰.۴۲	۰.۷۳	۱.۲۸	۱.۰۲	۲.۱۷
ارومیه	۰.۲۲	۰.۷۰	۰.۴۱	۰.۹۳	-۰.۳۱	۱.۰۸	۰.۸۴	۰.۷۷	۰.۲۹	۰.۷۴	۰.۶۲	۰.۲۷	۱.۱۲	۰.۶۱	۰.۸۸	۱.۷۷
اصفهان	۰.۶۲	۱.۰۵	۰.۸۲	۱.۰۰	۰.۹۵	۰.۲۳	-۰.۲۰	-۰.۵۹	-۰.۳۸	-۱.۰۴	-۰.۷۱	۰.۸۰	۰.۷۹	۰.۶۱	۰.۸۱	۱.۷۷
انزلی	-۰.۶۲	-۰.۲۸	۰.۲۴	-۰.۳۴	۰.۲۴	-۰.۲۷	۰.۸۰	۰.۶۴	۰.۱۹	۰.۷۸	۰.۸۶	۰.۶۳	۰.۲۲	۰.۴۸	۰.۳۰	۱.۴۹
اهواز	۰.۲۲	۰.۵۹	۰.۷۰	۰.۵۹	۰.۵۶	۱.۶۹	۲.۰۴	۰.۷۷	۰.۸۳	۰.۹۸	۰.۷۱	-۰.۳۲	۱.۲۲	۱.۵۴	-۰.۶۳	۱.۵۳
ایرانشهر	۰.۳۳	۰.۷۵	۰.۴۷	۰.۷۶	۰.۹۵	۳.۵۷	۳.۵۶	۲.۲۹	۲.۲۹	۱.۸۸	۱.۵۰	۱.۶۷	۱.۵۴	۰.۶۶	۰.۸۲	۱.۹۹
آبادان	۰.۰۱	۰.۱۶	۰.۲۹	۰.۳۶	۰.۳۶	۱.۰۸	۰.۴۰	۰.۰۱	۰.۲۲	۰.۵۶	۰.۴۰	-۰.۹۳	۰.۵۳	۱.۱۷	۰.۹۵	۲.۳۱
بابلسر	-۰.۱۶	۰.۲۲	۰.۴۴	۰.۲۷	۱.۴۹	۱.۲۹	۱.۶۰	۱.۳۶	۰.۷۵	۰.۵۲	۰.۶۴	۰.۸۵	۱.۹۷	۰.۴۰	-۰.۰۶	۱.۱۸
بجنورد	-۰.۴۰	۰.۲۸	۰.۰۷	-۰.۳۵	۰.۱۳	۰.۱۶	۰.۳۴	۰.۴۶	۰.۱۵	۱.۰۸	۰.۳۸	۰.۱۸	۰.۷۶	۰.۷۲	۰.۹۹	۳.۸۹
بم	۰.۰۴	۱.۶۸	۰.۵۶	۰.۶۵	۰.۴۸	۱.۳۸	۱.۱۰	۰.۹۱	۱.۱۳	۰.۹۳	۰.۹۰	۰.۸۲	۱.۲۰	۰.۶۵	۰.۲۲	۱.۴۸
بندرعباس	۰.۱۹	۱.۴۶	۰.۳۲	۰.۳۷	۱.۴۴	۲.۳۱	۱.۴۶	۰.۵۵	۱.۱۹	۰.۶۱	۰.۸۵	۰.۶۷	۱.۱۳	۱.۱۸	۲.۰۰	۲.۴۳
بندرلنگه	۱.۶۵	۲.۲۳	۱.۶۵	۱.۹۲	۱.۴۷	۱.۲۱	۱.۵۷	۱.۴۳	۱.۵۴	۲.۳۰	۱.۵۴	۲.۴۰	۱.۸۷	-۰.۶۲	-۰.۶	۱.۴۲
بوشهر	-۰.۱۲	۰.۵۷	۰.۱۶	۰.۴۹	۱.۱۹	۱.۵۲	۰.۶۴	۱.۵۹	۰.۹۲	۰.۷۹	۱.۶۴	۰.۳۴	۱.۸۸	۰.۹۳	۰.۸۶	۱.۷۳
بیرجند	۱.۴۳	۰.۴۰	۰.۶۶	-۰.۲۸	۱.۸۷	۱.۹۶	۱.۷۲	۱.۰۳	۰.۸۹	۱.۳۸	۲.۲۷	۰.۶۶	۲.۰۴	۱.۰۶	۱.۸۹	۲.۹۶
تبریز	۰.۱۱	۱.۱۳	۰.۰۵	۰.۳۹	۰.۳۳	۰.۹۸	۱.۲۶	۰.۶۲	۰.۳۶	۰.۷۸	۱.۴۳	۰.۶۸	۱.۳۶	۱.۱۴	۱.۹۹	۳.۰۱
تربت حیدریه	-۰.۱۴	۰.۷۶	۰.۳۷	۰.۰۷	۰.۳۲	۰.۲۴	۰.۷۴	۰.۷۰	۰.۵۷	۱.۰۱	۰.۵۷	-۰.۴۳	۱.۰۵	۰.۸۸	۱.۱۵	۲.۰۶
تهران	۰.۴۸	۱.۴۱	۰.۲۶	-۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۲۴	۰.۴۴	۱.۹۲	۰.۷۴	۱.۰۱	۰.۳۱	۰.۰۸	۱.۵۶	۰.۱۸	۰.۷۶	۱.۴۸
جاسک	۱.۲۸	۱.۱۴	۱.۱۲	۱.۹۷	۱.۸۱	۱.۷۳	۱.۵۲	۱.۳۴	۱.۶۱	۱.۸۰	۱.۸۲	۱.۶۸	۱.۹۶	۰.۵۷	۰.۷۶	۲.۰۳
جابهار	۱.۰۱	۱.۳۹	۱.۱۲	۰.۷۸	۰.۶۵	۰.۸۱	۰.۵۷	۰.۵۸	۰.۵۸	۰.۶۹	۱.۰۲	۱.۳۶	۱.۰۹	۰.۷۵	۲.۰۳	۳.۲۹
خرم آباد	۰.۸۲	۱.۲۹	۰.۸۱	۰.۸۵	۱.۴۴	۱.۹۱	۰.۶۴	۰.۲۳	-۰.۴۰	-۰.۳۵	-۱.۶۲	۰.۴۷	۱.۳۷	۰.۱۳	۱.۴۱	۱.۸۰
خوی	۰.۱۰	۰.۴۸	۰.۱۷	۰.۳۳	۰.۵۰	۱.۰۸	۱.۸۶	۱.۴۶	۰.۶۲	۰.۹۶	۰.۹۰	-۰.۰۴	۱.۳۲	۰.۹۹	۱.۳۴	۱.۹۹
دزفول	-۰.۲۶	-۰.۱۵	-۰.۰۷	-۰.۲۹	-۰.۳۷	۰.۲۲	۰.۴۳	۰.۹۲	۰.۷۸	۰.۹۷	۰.۷۹	۰.۴۵	۰.۷۲	۰.۶۶	۰.۸۶	۲.۳۱
دوشان تپه	۰.۴۸	۱.۱۲	۰.۷۱	۱.۲۷	۰.۵۷	۱.۴۳	۲.۰۲	۲.۷۱	۱.۵۸	۱.۴۰	۱.۴۲	۰.۱۸	۲.۵۷	۰.۷۱	۰.۸۸	۰.۵۴
رامسر	-۰.۰۲	-۰.۳۱	۰.۶۹	۰.۱۱	۰.۴۳	۰.۷۹	۰.۸۷	۰.۵۲	۰.۰۴	۰.۵۲	۰.۷۹	۰.۶۵	۰.۶۱	۱.۲۱	۲.۴۳	۴.۰۷
رشت	-۰.۵۵	۰.۳۸	۰.۵۲	۰.۲۳	۰.۳۶	۰.۲۸	۰.۸۷	۱.۰۲	-۰.۰۷	۰.۶۳	۰.۷۹	۱.۰۵	۰.۹۲	-۰.۱۲	۰.۳۹	۱.۸۴
زابل	۰.۲۶	۰.۸۹	۰.۳۰	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۶۲	۱.۰۴	۱.۲۷	۰.۹۸	۰.۸۹	۱.۳۷	۱.۱۱	۰.۹۲	۰.۹۹	۱.۸۴
زاهدان	۰.۱۸	۱.۲۵	۰.۷۶	۰.۷۷	۰.۷۰	۱.۰۴	۲.۳۵	۱.۹۱	۱.۶۲	۱.۴۹	۰.۶۴	۰.۸۲	۱.۴۷	۰.۷۶	۰.۴۸	۲.۱۷
زنجان	۰.۳۲	۱.۲۴	۰.۳۳	-۰.۲۹	۰.۰۶	۰.۲۲	۰.۴۱	۰.۸۴	-۰.۰۱	۰.۹۶	۰.۱۵	۰.۲۴	۱.۰۸	۱.۰۸	۱.۷۸	۲.۳۷
سبزوار	-۰.۲۰	۰.۸۴	۰.۲۰	-۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۱۴	۱.۸۴	۱.۱۰	۱.۰۴	۱.۰۵	۰.۷۷	۰.۲۴	۱.۲۰	۰.۷۵	۲.۳۱	۳.۴۳
سقز	۰.۳۴	۰.۵۶	۰.۷۵	۰.۰۴	۰.۱۳	۰.۳۰	۱.۳۶	۰.۷۷	۱.۰۵	۱.۳۰	۰.۶۵	۰.۲۶	۰.۵۲	۱.۲۷	۱.۳۴	۲.۰۸
سمنان	۰.۰۴	۰.۸۸	۰.۳۳	۰.۸۳	۰.۵۶	۰.۵۳	۱.۳۵	۲.۲۸	۱.۴۷	۱.۱۱	۰.۸۳	۰.۱۴	۱.۹۷	۰.۴۸	۱.۲۱	۱.۳۹
سنندج	۰.۳۹	۰.۸۴	۰.۹۰	۰.۶۵	-۰.۱۷	۰.۶۷	۲.۰۶	۱.۶۷	۱.۲۰	۱.۲۱	۱.۰۵	۰.۹۷	۲.۲۵	۰.۶۳	۰.۱۶	۰.۸۹
شاهرود	۰.۱۳	۱.۱۰	۰.۳۰	-۰.۳۲	۰.۱۰	-۰.۶۶	۱.۸۰	۱.۳۴	۱.۱۲	۰.۹۲	۰.۷۲	۰.۰۹	۲.۲۷	۰.۵۷	۱.۰۳	۱.۷۳
شرق اصفهان	-۰.۱۱	۰.۸۲	۰.۴۱	۰.۳۳	۰.۱۳	-۰.۱۶	۱.۳۹	۱.۳۶	۲.۰۷	۱.۴۱	۰.۳۸	۰.۶۰	۱.۴۵	۱.۲۰	۲.۱۳	۳.۷۳
شهرکرد	۰.۰۲	۰.۷۸	۰.۵۰	۰.۳۸	۰.۱۳	۰.۲۶	۱.۰۵	۱.۰۹	۱.۰۲	۰.۷۵	۰.۹۰	-۰.۵۹	۰.۹۷	-۰.۰۸	۰.۶۶	۱.۹۱
شیراز	۰.۷۸	۰.۸۰	۰.۹۱	۰.۸۵	۱.۱۰	۱.۷۹	۰.۰۲	-۰.۰۶	-۰.۱۲	-۰.۵۰	-۰.۸۵	-۱.۳۳	۰.۹۸	۱.۵۶	۲.۳۲	۳.۱۰
طبس	۰.۹۸	۱.۳۲	۰.۹۹	۰.۷۷	۰.۵۵	۰.۵۷	۰.۷۵	۰.۷۱	۰.۸۲	۰.۶۶	۰.۸۰	۰.۶۳	۰.۹۵	۱.۲۲	۱.۱۰	۲.۴۹
فسا	-۰.۰۵	۰.۶۱	۰.۸۳	۱.۵۷	۱.۰۷	-۰.۲۶	۰.۵۶	-۰.۰۶	-۰.۶۶	-۰.۵۸	-۱.۲۰	-۱.۸۴	-۰.۳۲	۰.۹۰	۱.۰۱	۱.۰۹
قزوین	۰.۱۹	۱.۸۹	۰.۷۰	۰.۲۰	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۷۸	۲.۲۴	۰.۷۰	۰.۷۴	۰.۳۱	-۰.۵۷	-۰.۲۴	-۱.۱۷	۰.۵۳	
کاشان	-۰.۰۶	۱.۷۳	۰.۱۵	۰.۴۵	۰.۲۲	۰.۹۸	۲.۷۱	۱.۳۹	۰.۷۴	۰.۹۰	۰.۳۹	-۰.۶۴	۱.۱۲	۱.۲۷	۱.۶۲	۳.۲۴
کرمان	-۰.۲۵	۱.۲۹	۰.۰۹	-۰.۰۲	-۰.۴۹	۰.۴۹	۰.۹۴	۰.۵۹	۰.۹۰	۰.۶۳	۰.۷۲	۱.۲۸	۰.۸۵	۰.۷۸	۱.۰۴	۱.۸۴
کرمانشاه	۰.۴۷	۰.۸۶	۰.۹۲	۰.۹۲	-۰.۰۳	۰.۴۷	۲.۰۶	۱.۳۹	۰.۸۷	۱.۱۴	۱.۳۶	۱.۴۹	۱.۷۷	۰.۶۸	۰.۵۶	۱.۵۴
کیش	۰.۰۵	۰.۷۲	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۴۶	۰.۱۶	-۰.۷۵	۰.۴۷	۰.۲۷	۰.۳۲	۰.۹۱	۰.۷۰	-۰.۰۳	۱.۲۵	۱.۵۸	۲.۵۰
گرگان	-۱.۲۱	-۱.۲۰	-۰.۵۵	-۰.۸۸	۰.۴۹	۱.۶۰	۰.۷۴	۰.۴۳	۰.۲۴	-۰.۱۹	۰.۲۰	-۱.۵۲	۰.۲۲	۰.۴۴	۱.۲۱	۱.۴۱
مشهد	۰.۱۱	۰.۴۳	۰.۰۴	۰.۱۹	۰.۱۸	۱.۲۶	۱.۴۳	۰.۹۸	۰.۷۵	۰.۹۷	۱.۴۴	۱.۲۷	۱.۴۷	-۰.۳۱	-۰.۷۶	۱.۰۵
نوشهر	-۰.۵۴	۰.۷۳	۰.۴۷	-۰.۰۶	۱.۲۱	۰.۶۷	۰.۶۱	۱.۷۱	۱.۴۳	۱.۷۹	۱.۱۰	۱.۱۱	۱.۶۶	۱.۲۹	۱.۳۱	۲.۰۳
همدان فرودگاه	۰.۲۱	۱.۲۵	۰.۷۵	۰.۳۴	-۰.۱۰	۰.۵۷	۱.۵۲	۱.۲۶	۱.۰۵	۰.۹۵	۰.۶۶	۰.۶۵	۱.۴۳	۰.۱۹	۱.۴۲	۱.۷۸
همدان نوژه	۰.۰۹	۱.۲۵	۰.۰۷	-۰.۰۸	-۰.۲۶	۰.۰۶	۰.۵۵	۰.۶۳	۰.۵۰	۰.۹۷	۰.۳۳	۰.۳۶	۰.۹۶	۰.۷۸	۱.۷۸	۳.۲۹
یزد	-۰.۱۷	۱.۷۵	۰.۴۳	۰.۷۱	۰.۳۳	۱.۲۲	۲.۱۰	۰.۶۸	۱.۳۲	۰.۸۵	۱.۱۱	۰.۴۹	۱.۳۷	۱.۱۱	۱.۱۶	۲.۴۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

منابع و مآخذ

۱. احسانی، علی، ارزانی، حسین، فرحپور، مهدی، احمدی، حسن، جعفری، محمد، اکبرزاده، مرتضی (۱۳۹۱) **برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار Cropwat 8.0 (مطالعه موردی :منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور)**، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۹، شماره ۱ (پیاپی ۴۶)، ۱-۱۶.

۲. رضیئی، طیب، دانش کار آراسته، پیمان، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴) **بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران**، آب و فاضلاب، شماره ۵۴، ۷۳-۸۱ .

۳. زارع ابیانه، حمید، بیات ورکشی، مریم، سبزی پرور، علی اکبر، معروفی، صفر، قاسمی، عادل (۱۳۸۹) **ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران**، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ۹۵-۱۱۰.

۴. زاهدی، مجید، ساری صراف، بهروز، جامعی، جاوید (۱۳۸۶) **تحلیل تغییرات زمانی- مکانی دمای منطقه شمال غرب ایران**، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ۱۸۳-۱۹۸.

۵. سبزی پرور، علی اکبر، میرمسعودی، سیده شقایق، ناظم السادات، محمدجعفر (۱۳۹۰) **بررسی تغییرات دراز مدت تبخیر و تعرق گیاه مرجع در چند نمونه اقلیمی گرم کشور**، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره۷۵، ۶۳-۷۷.

۶. سبزی پرور، علی اکبر، سلیمانی، سامره، میرمسعودی، سیده‌شقایق (۱۳۸۹) **ارزیابی حساسیت مدل های برآورد تبخیر وتعرق فائو ۵۶ و هارگریوز با پرامترهای بیشینه وکمینه ی دمای هوا در نواحی مرطوب شمال کشور**، پژوهشهای حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره ۳، ۱ - ۲۴.

۷. شرقی، طاهره، بری ابرقویی، حسین، اسدی، محمدامین، کوثری، محمدرضا (۱۳۸۹) **برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث و پهنه بندی آن در استان یزد**، خشک بوم ، شماره ۱، ۲۵ - ۳۳.

۸. طالبی، علی، پورمحمدی، سمانه، رحیمیان، محمدحسن (۱۳۸۹) **بررسی عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو ـ پنمن ـ مانتیث**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مطالعه موردی: ایستگاه های یزد، طبس و مروست، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، ۱۱۰-۹۷ .

۹. عزیزی، قاسم، حنفی، علی و سلطانی، محسن (۱۳۸۸) **برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق رگرسیون چندمتغیره در استان اصفهان**، فصلنامه جغرافیا(دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی)، شماره ۱۱، ۷۷-۹۲ .

۱۰.کاویانی، محمدرضا، علیجانی، بهلول (۱۳۸۰) **مبانی آب و هواشناسی**، چاپ هشتم، تهران: انتشارات سمت.

۱۱.گل کار حمزیی یزد، حمید رضا، کاوه، فریدون، قهرمان، بیژن، صدقی، حسین (۱۳۸۶) **بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر - تعرق ماهیانه گیاه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فائو -پنمن- مانتیث**، علوم کشاورزی، شماره ۱۳(ویژه نامه)، ۴۱۷-۴۳۳.

۱۲.ترابی‌آزاد، مسعود، سیه سرایی، امیر و افتخاری، رحیم (۱۳۸۹) **آموزش جامع تحلیل‌گر زمین‌آماری نرم‌افزار ARCGIS**، تهران: انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

Allen, R.G., L.S. Periera, D. Raes and M. Smith, (1998) ***Crop Evapotranspiration: Guideline for Computing Crop Water Requirement***. FAO Irrigation and drainage, Paper No. 56, FAO, Rome. Italy, 300 p.

Burn, D.H. and N.M. Hesch, (2007) ***Trends in evaporation for the Canadian Prairies***. Journal of Hydrology, 336, 61–73.

Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.F Royer, D. Salas-Melia and S. Tyteca, (2002) ***Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols***. Climate Dynamics, 20, 45–68.

Gong, L., C.Y. Xu, D. Chen, S. Halldin and Y.D. Chen, (2006) ***Sensitivity of the Penman–Monteith reference evapotranspira-tion to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin***. Journal of Hydrology, 329, 620–629.

Gundekar, H.G., U.M. Khodke and S. Sarkar, (2008) ***Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region***. Irrigation Science, 26, 169–175

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Hupet, F. and M. Vanclooster, (2001) ***Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration***. Journal of Hydrology, 243, 192–204

IPCC, (2001) ***Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability***. IPCC, UNEP WMO, Arendal, Norway.

Lu, G.Y., and Wong, D.W. (2008) ***An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique***. Computers and Geosciences, 34(9): 1044-1055.

Qiu, G.Y., K. Miyamoto, S. Sase, Y. Gao, P. Shi and T. Yano, (2002) ***Comparison of the Three Temperature model and conventional models for estimating transpiration***. Japanese Agricultural Research Quarterly, 36(2), 73-82.

Turgay, P. and K. Ercan, (2006) ***Trend analysis in Turkish precipitation data***. Journal of Hydrology *Hydrological Processes,* **20**(9): 2011-2026.

Yang, H. and D. Yang, (2012) ***Climatic factors influencing changing pan evaporation across China from 1961 to 2001***. Journal of Hydrology, Vol. 414-415, 184–193.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]