تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۲ | اردیبهشت ۱۴۰۱ (ص ۳۰۳-۲۸۷)

DOI: https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.338161.669199

(مقاله علمی - پژوهشی)

Sensitivity Analysis of Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters (Case Study: Synoptic Stations of Yazd Province)

BITA MORAVEJALAHKAMI[1*], NIAZALI EBRAHIMIPAKI[2], ARASH TAFTEH[2], SEYED NARGES HOSSEINI[2]

1. Soil and Water Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
2. Department of Irrigation and Soil Physic, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: Jan. 29, 2022- Revised: Feb. 18, 2022- Accepted: March. 5, 2022)

ABSTRACT

Due to quantity and quality water crises in Yazd province and the necessity of precise determination of crop water need, sensitivity analysis of reference evapotranspiration to meteorological parameters is essential. For this purpose in this study, the effects of variations of each meteorological parameter on reference evapotranspiration (estimated by FAO Penman-Mantith 56) were analyzed in different weather stations of Yazd province. Meteorological parameters during 2001 to 2020 including temperature, humidity, wind speed, and sunshine hours were changed in the range of ±20%. Based on the results of this study wind speed, maximum temperature and sunshine hours were the most important parameters that affect reference evapotranspiration in three yearly, seasonal, and monthly scales. 20 percent changing of each parameter including wind speed, maximum temperature, and sunshine hours caused sensitivity coefficients of yearly evapotranspiration to be (0.32-0.46), (0.27-0.34), and (0.12-0.2) respectively. In general, on a seasonal scale, the most impact of wind speed parameter on reference evapotranspiration was in summer and the most important impact of maximum temperature parameter on reference evapotranspiration was in spring and autumn. From November until April the most sensitivity of reference evapotranspiration was observed for maximum temperature, wind speed, and sunshine hours. From April until October the most sensitivity of reference evapotranspiration was observed for wind speed, maximum temperature, and sunshine hours. According to the results of this study, for monthly scale the sensitivity of reference evapotranspiration to the wind speed is higher for the station with lower altitude. Also, the altitude variation of meteorological stations has been effective in the sensitivity of reference evapotranspiration to the wind speed for annual and seasonal scales.

Keywords: Water Requirement, Climate change, Evapotranspiration.

[*]Corresponding Author's Email: b.moravej@areeo.ac.ir

تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد)

بیتا مروج الاحکامی[1*]، نیاز علی ابراهیمی پاک[2]، آرش تافته[2]، سید نرگس حسینی [2]

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

۲. بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۹- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴)

چکیده

به دلیل بحران کمی و کیفی آب در استان یزد و لزوم تخمین دقیق نیاز آبی گیاهان، تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی امری ضروری است. به این منظور در این مطالعه تأثیر تغییرات پارامترهای هواشناسی بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع (تخمینی با استفاده از معادله فائو پنمن مانتیث) در ایستگاه‌های هواشناسی متفاوت استان یزد مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹، شامل دما، رطوبت، سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی در محدوده ۲۰± درصد تغییر داده شدند. بر اساس نتایج این مطالعه در هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه پارامترهای سرعت باد، دمای بیشینه و ساعات آفتابی به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع هستند. ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه نسبت به تغییر ۲۰ درصدی هر یک از پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی به ترتیب در محدوده (۰/۳۲-۰/۴۶)، (۰/۲۷-۰/۳۴)و (۰/۱۲-۰/۲) به دست آمد. به‌طورکلی در مقیاس فصلی بیشترین تأثیرگذاری پارامتر سرعت باد بر تبخیر-تعرق مرجع در فصل تابستان و بیشترین تأثیرگذاری پارامتر بیشینه دما بر تبخیر-تعرق مرجع در فصل بهار و پاییز بود. در ماه‌های آبان تا فروردین بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب به پارامترهای بیشینه دما، سرعت باد و ساعات آفتابی و در ماه‌های اردیبهشت تا مهر به ترتیب به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی بود. بر اساس نتایج این مطالعه در مقیاس ماهانه ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر سرعت باد در ایستگاه‌های با ارتفاع کمتر، بیشتر است. همچنین تغییر ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد در مقیاس سالانه و فصلی مؤثر بوده است.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی، تغییر اقلیم، تبخیر-تعرق.

مقدمه

تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع، نقش مؤثری در شناخت عوامل تأثیرگذار در نیاز آبی گیاهان، برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری و در نگاه کلی سیاست‌گذاری‌های کلان کشور خواهد داشت (Dong *et al.*, 2019; Mubialiwo *et al.*, 2020). در تحلیل حساسیت، پارامترهای ورودی مدل تغییریافته و نتایج این تغییر در خروجی مدل موردمطالعه قرار می‌گیرد. Sharifi & Dinpashoh (2012) با بررسی حساسیت روش فائو پنمن مانتیث در شهرستان‌های سبزوار و سنندج با اقلیم خشک و نیمه‌خشک به این نتیجه رسیدند که بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه نسبت به میانگین دما بود. بر اساس نتایج مطالعه Dinpashoh *et al.*, (2019) در ۳۶ ایستگاه هواشناسی شمال غرب و غرب ایران (شامل اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، زنجان، کردستان، کرمانشاه و همدان)، در اکثر ایستگاه‌ها بیشترین تأثیر در نوسانات تبخیر-تعرق مرجع در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه مربوط به بیشینه و کمینه دما بود. بر اساس نتایج مطالعه Ghiami-Shomami *et al.*, (2019) در منطقه کوهستانی ژاپن در فصول گرم سال، در مقیاس ماهانه و فصلی درجه حرارت و در فصول سرد سال رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را در محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث نشان دادند. بر اساس نتایج Jerszuki *et al.*, (2019) با بررسی حساسیت روش فائو پنمن-مانتیث در سه اقلیم گرمسیری، نیمه‌خشک و نیمه-گرمسیری مرطوب در کشور برزیل، ضرایب حساسیت به‌دست‌آمده در هر اقلیم متفاوت بود. در این مطالعه حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه به ترتیب به پارامترهای کمبود فشار بخار اشباع، سرعت باد و تشعشع گزارش شد. Xie & Wang (2020) با آنالیز حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در ده حوزه چین با اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌خشک و خشک بیان داشتند

* نویسنده مسول: b.moravej@areeo.ac.ir

که سرعت باد و تابش خورشیدی مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در اقلیم خشک هستند. Rahimikhoob et al., (2021) به بررسی حساسیت روش‌های پنمن مانتیث، آیرماک، کپیس و والیانتزس در شرایط گلخانه پرداختند که در تمامی روش‌ها، متغیر تشعشع اثرگذارترین پارامتر در تعین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در این شرایط بود. بر اساس مطالعه Shirmohammadi et al., (2021) در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی با پنج اقلیم نسبتاً خشک، معتدل و خشک، معتدل و نیمه‌خشک، سرد کوهستانی و معتدل، در مقیاس روزانه تبخیر-تعرق مرجع تخمینی با روش فائو پنمن مانتیث بیشترین حساسیت را به کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد نشان داد. Tran (2021) در مجارستان با اقلیم خشک بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع را در مقیاس روزانه به پارامتر درجه حرارت نسبت داد. مطالعه Cheng et al., (2021) در شمال غربی چین با اقلیم خشک و نیمه‌خشک نشان داد که در مقیاس سالانه رطوبت نسبی، بیشینه دما، ساعات آفتابی و میانگین دما مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع هستند. Ndiaye et al., (2021) با بررسی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در حوزه رودخانه سنگال با اقلیم متغیر، رطوبت نسبی، بیشینه دما و تابش خورشیدی را به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه و فصلی ارائه کردند. Fang et al.,(2021) با بررسی داده‌های هواشناسی (۲۰۱۰-۲۰۱۹) در شمال غرب چین با اقلیم خشک بیشترین تغییرات تبخیر-تعرق مرجع را در مقیاس سالانه و فصلی وابسته به تغییرات افزایشی بیشینه دما و ساعات آفتابی و تغییرات کاهشی رطوبت نسبی دانستند. Majozi et al., (2021) با بررسی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع پنمن مانتیث تخمینی با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور در جنوب آفریقا با اقلیم نیمه‌خشک، تفاوت دمای هوا و دمای سطح زمین را مؤثرترین عامل تغییر در تبخیر-تعرق ارائه کردند.

در استان یزد به دلیل بحران کمی و کیفی آب، تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی با هدف تخمین هر چه دقیق‌تر نیاز آبی گیاهان ضروری است. بر اساس مطالعات متفاوت انجام شده حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی بسته به مکان و زمان متغیر است (Fang et al.,2021 ،Hu et al., 2021; Kang et al., 2021). باتوجه‌به اینکه در رابطه با تأثیر تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای هواشناسی بر تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های متفاوت هواشناسی استان یزد تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است، در این مطالعه از آمار هواشناسی ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع در شهرستان‌های متفاوت استان یزد (در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۹) به‌منظور تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در سه مقیاس سالانه، ماهانه و فصلی استفاده شد. هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر زمانی و مکانی تغییرات پارامترهای هواشناسی یا به بیان دیگر خطای حاصل از اندازه‌گیری هر یک از پارامترهای هواشناسی بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در استان یزد بود.

مواد و روش‌ها

استان یزد با وسعتی معادل ۷۴۶۵۰ کیلومترمربع در قسمت مرکزی فلات ایران قرار دارد. این استان در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است. آب‌وهوای استان یزد به طور عمده تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی فلات مرکزی ایران قرار دارد. در بخش وسیعی از استان (حدود ۸۵ درصد) شرایط آب‌وهوایی بیابانی و گرم و خشک حکم‌فرماست. تاکنون تقسیم‌بندی‌های اقلیمی متعددی در تفکیک آب‌وهوای استان یزد انجام‌گرفته و هر یک از آن‌ها یک یا چند عامل از عناصر آب‌وهوایی را در تقسیم‌بندی خود دخالت داده‌اند. به‌عنوان‌مثال بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن که متوسط بارش و دمای سالانه را مدنظر قرار می‌دهد، برای سطح وسیعی از استان یزد، اقلیم منطقه عمدتاً از نوع خشک بوده و در بخش‌های کوچکی از منطقه شیرکوه واقع در شهرستان تفت، از نوع نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای بوده است (Rahimian et al., 2018). در این مطالعه از بانک اطلاعاتی سامانه نیاز آب مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور که به‌منظور به‌روزرسانی سند ملی آب و تعیین نیاز آبی استاندارد و واقعی گیاهان باغی و زراعی طراحی شده است، استفاده شد (http://niwr.ir). باتوجه‌به اینکه داده‌های این سامانه در تعیین نیاز آبی گیاهان مورد استناد قرار خواهند گرفت، اطلاعات پایه مورداستفاده شامل آمار ۲۰ ساله هواشناسی (۱۳۸۰-۱۳۹۹) ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد (شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت بیشینه، رطوبت کمینه، سرعت باد و ساعات آفتابی) بود. داده‌های هواشناسی مورداستفاده در این مطالعه از لحاظ نرمال بودن مورد آزمون قرار گرفتند که با بررسی آماره‌هایی شامل چولگی و کشیدگی همه داده‌های مورداستفاده از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. بر اساس داده‌های هواشناسی پایه سامانه نیاز آب، ارقام پایه تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس روزانه تعیین شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۱) و شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و برخی پارامترهای هواشناسی بلندمدت روزانه (متوسط ۲۰ساله)

شماره	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	کمینه دما (°C)	بیشینه دما (°C)	کمینه رطوبت (%)	بیشینه رطوبت (%)	سرعت باد (m/s)	ساعات آفتابی
۱	ابرکوه	۵۳/۲۳	۳۱/۱۲	۱۵۲۴	۱۱/۵۵	۲۶/۴۵	۱۷	۴۱/۴۷	۱/۵	۸/۷
۲	بافق	۵۵/۴۲	۳۱/۶۳	۹۹۱/۳	۱۳/۶۶	۳۰/۶	۱۴/۸	۳۸/۹	۱/۵۲	۹/۴
۳	بهاباد	۵۶/۰۵	۳۱/۸۴	۱۴۳۶	۱۱/۴۷	۲۶/۶	۱۶/۶	۴۲/۷	۱/۶	۹/۴
۴	رباط پشت بادام	۵۵/۵۶	۳۳/۰۱	۱۱۸۸	۱۳/۵	۲۵/۸	۲۰/۴	۴۰/۹	۱/۴	۸/۸
۵	تفت	۵۴/۱	۳۱/۷۵	۱۶۵۴	۷/۳	۲۲/۵	۲۱/۵۶	۴۹/۹	۱/۴	۸/۸
۶	عقدا	۵۳/۶۴	۳۲/۴۵	۱۱۵۰	۱۵/۱۷	۲۷/۷	۱۷/۱۳	۳۶/۹	۱/۶	۸/۵
۷	مروست	۵۴/۲	۳۰/۴	۱۵۴۷	۹/۸	۲۶/۹	۱۶/۳	۴۵/۲۲	۱/۴	۸
۸	میبد	۵۳/۹۸	۳۲/۲۲	۱۱۰۸	۱۱/۸۶	۲۷/۹۵	۱۸/۸۳	۴۲/۲۹	۱/۵	۸/۸۴
۹	مهریز	۵۴/۴۴	۳۱/۵۹	۱۵۲۰	۱۳/۵۳	۲۶/۰۹	۱۸/۹۵	۳۹/۳۴	۱/۵۱	۹/۰۲
۱۰	یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹	۱۲۳۰	۱۴/۰۲	۲۷/۹	۱۵/۸	۳۹/۵	۱/۵۵	۹/۴

به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق مرجع مدل‌های متفاوتی ارائه شده است که از بین آنها مدل فائو پنمن مانتیث به دلیل لحاظ بیلان انرژی و تئوری آئرودینامیکی، توسط فائو به‌منظور تخمین تبخیر-تعرق مرجع پیشنهاد شده است (Allen et al., 1998). به‌منظور تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع از داده‌های هواشناسی شامل بیشینه دما، کمینه دما، بیشینه رطوبت، کمینه رطوبت، سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی استفاده شد. شکل کلی معادله پنمن- مانتیث به‌صورت زیر است (Allen et al., 1998):

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \left(\frac{e_s - e_a}{r_a}\right)}{\Delta + \gamma\left[1 + \frac{r_s}{r_a}\right]} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در اینجا R_n: تشعشع خالص خورشیدی، G: جریان گرمایی خاک، e_s-e_a: کمبود فشار بخار، ρ_a: متوسط دانسیته هوا در فشار ثابت، c_p: گرمای ویژه هوا، Δ: شیب فشار بخار اشباع، γ: ثابت سایکرومتریک، r_s مقاومت سطح و r_a: مقاومت آیرودینامیک است.

در سامانه نیاز آب از روش فائو ۵۶ به‌عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر-تعرق مرجع به شرح زیر استفاده شده است (Allen et al., 1998):

(رابطه ۲)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\left[1 + 0.34u_2\right]}$$

که در اینجا u_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه) و T: متوسط درجه حرارت روزانه (درجه سانتیگراد) است.

به‌منظور تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع (ETo) به پارامترهای هواشناسی از روش ساده ارائه شده به‌صورت زیر استفاده شد (Zhang et al., 2010):

$$SC = \Delta ETo / \Delta V \quad \text{(رابطه ۳)}$$

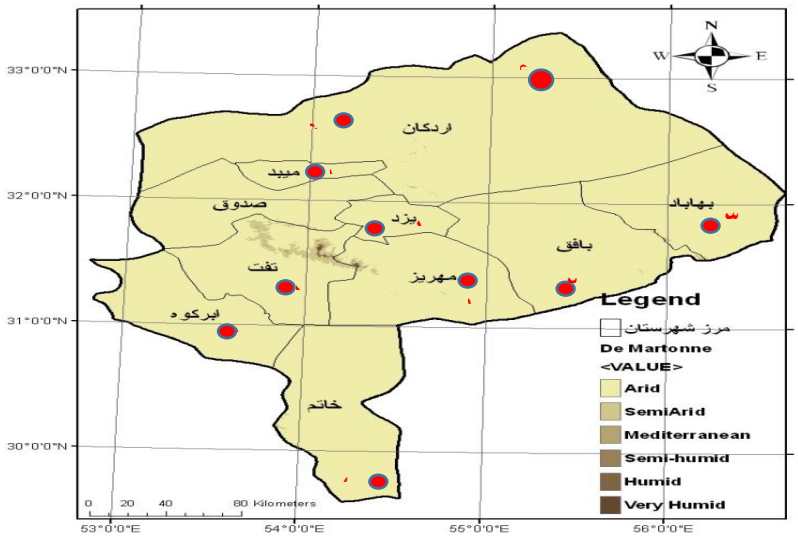
که در اینجا SC: ضریب حساسیت، ΔV: میزان تغییر در یک متغیر هواشناسی مشخص و ΔETo: میزان تغییر در تبخیر-تعرق مرجع ناشی از تغییر پارامتر هواشناسی است.

به دلیل یکسان نبودن مقیاس پارامترهای هواشناسی از شاخص بدون بعد ضریب حساسیت به‌صورت زیر استفاده شد (Zhang et al., 2010):

$$SC' = \frac{\Delta ETo / ETo}{\Delta V / V} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در اینجا SC': ضریب حساسیت بی‌بعد و ETo و V به ترتیب مقادیر پایه تبخیر-تعرق مرجع و پارامتر موردنظر برای تحلیل حساسیت قبل از اعمال تغییر می‌باشند. در این مطالعه مقادیر پایه در هرسال به‌صورت جداگانه در مقیاس روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه لحاظ شده است.

متغیرهای هواشناسی موردمطالعه (V) شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، رطوبت کمینه، رطوبت بیشینه، سرعت باد و ساعات آفتابی در محدوده ۲۰± درصد تغییر داده شده و مقدار تغییر تبخیر-تعرق مرجع و سپس ضریب حساسیت مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل حساسیت مذکور در کلیه ایستگاه‌های هواشناسی به تفکیک سال و همچنین به‌صورت میانگین درازمدت در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه یک برنامه کامپیوتری در محیط مطلب نوشته شد. در این برنامه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو پنمن مانتیث در کلیه سال‌های مربوطه محاسبه گردید و سپس اثر تغییرات ۲۰± درصدی هر یک از پارامترهای هواشناسی (با ثابت نگه‌داشتن بقیه پارامترها) بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع موردمطالعه قرار گرفت.



شکل ۱- نمایی از موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در این مطالعه

نتایج و بحث

وضعیت اقلیمی ایستگاه‌های متفاوت در استان یزد با استفاده از شاخص دومارتن در رابطه زیر مورد بررسی قرار گرفت (Attari & Taheri, 2016):

$$I = \frac{P}{T+10} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در اینجا I: شاخص دومارتن، P: متوسط بارش سالانه (میلی‌متر) و T: متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتیگراد) است.

باتوجه‌به شاخص دومارتن، کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی در این مطالعه در گروه اقلیم خشک قرار دارند؛ لذا به‌منظور بیان واضح نتایج با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار SPSS گروه‌بندی ایستگاه‌های متفاوت یزد با استفاده از پارامترهای دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تبخیر-تعرق و بارش انجام گرفت. همچنین به دلیل مؤثر بودن ارتفاع در حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی (Yang et al., 2019; Zhang et al., 2020; Kang et al., 2021) و تأثیر ارتفاعات در شکل‌گیری اقلیم ایران (Msaudian, 2003)، مشابه با مطالعه Cheng et al., (2021) پارامتر ارتفاع نیز در گروه‌بندی ایستگاه‌های متفاوت یزد لحاظ شد. اساس روش تحلیل خوشه‌ای ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع در آنها کمتر از پراکنش بین گروه‌هاست. در این مطالعه به‌منظور تعیین فاصله خوشه‌ها از روش وارد[1] استفاده شد. در روش وارد از بین تمام خوشه‌ها، زوجی با هم ترکیب می‌شوند که مجموع مربعات انحرافات اعضای خوشه ادغامی آنها از میانگین مربوطه کمترین باشد. فرایند خوشه‌بندی، تمام مشاهدات را به‌تناسب اندازه فاصله آنها گروه‌بندی می‌کند. به این صورت که ابتدا مشاهدات نزدیک با هم ادغام و در مرحله بعد خوشه‌های نزدیک‌تر بعدی با هم ادغام می‌شوند (Alijani,2002). دونقطه در صورتی متعلق به یک ناحیه اقلیمی هستند که آب‌وهوای آنها به‌اندازه کافی به یکدیگر نزدیک باشد؛ بنابراین با اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی[2] عناصر اقلیمی همه نقاط مکانی و درجه ناهمانندی مکان‌ها با یکدیگر سنجیده می‌شوند.

بر اساس تحلیل خوشه‌ای انجام شده در این مطالعه سه گروه اقلیمی در استان یزد ایجاد شد که شامل ایستگاه‌های زیر است (شکل ۲):

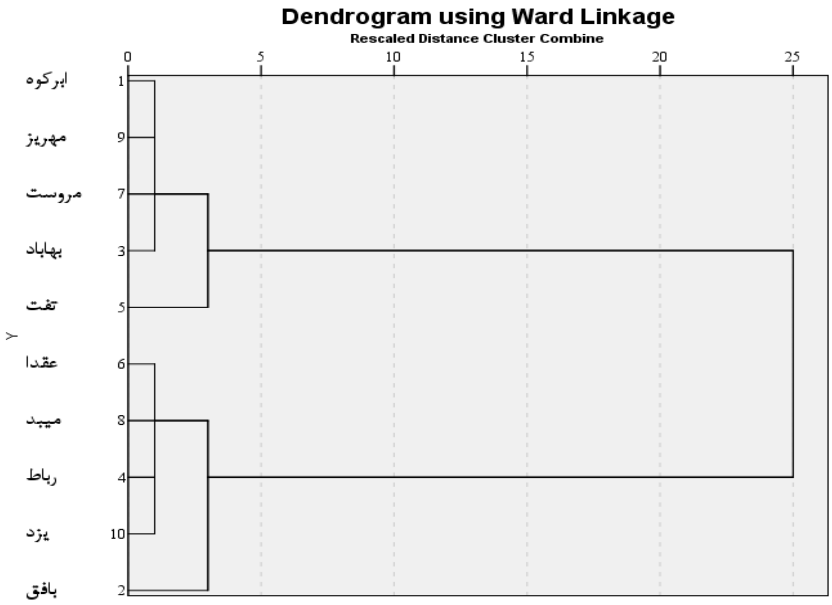
گروه اول: شامل ایستگاه‌های ابرکوه، بهاباد، مروست و مهریز (پارامترهای هواشناسی بلندمدت روزانه (متوسط ۲۰ ساله) شامل دمای کمینه: ۱۱/۶درجه سانتیگراد، دمای بیشینه: ۲۶/۵۱ درجه سانتیگراد، کمینه رطوبت: ۱۷/۲۱درصد، بیشینه رطوبت: ۴۲/۸ درصد، سرعت باد: ۱/۵ متر بر ثانیه و ساعات آفتابی: ۸۸,۸/۸ بود. متوسط ارتفاع: ۱۵۰۷ متر و متوسط بارش سالانه:۶۹ میلی‌متر بود.)

گروه دوم: شامل ایستگاه‌های یزد، میبد، عقدا، رباط و بافق (پارامترهای هواشناسی بلندمدت روزانه (متوسط ۲۰ ساله) شامل دمای کمینه:۱۳/۶ درجه سانتیگراد، دمای بیشینه: ۲۸ درجه سانتیگراد، کمینه رطوبت:۱۷/۴ درصد، بیشینه رطوبت: ۳۹/۷ درصد، سرعت باد: ۱/۵ متر بر ثانیه و ساعات آفتابی: ۹ بود. متوسط ارتفاع: ۱۱۳۳/۵متر و متوسط بارش سالانه: ۶۶/۵ میلی‌متر بود.)

1 Ward's method

2 Squared Euclidean distance

گروه سوم: شامل ایستگاه تفت (پارامترهای هواشناسی بلندمدت روزانه (متوسط ۲۰ ساله) شامل دمای کمینه: ۷/۳ درجه سانتیگراد، دمای بیشینه: ۲۳/۵ درجه سانتیگراد، کمینه رطوبت: ۲۱/۵۴درصد، بیشینه رطوبت: ۴۹/۹ درصد، سرعت باد: ۱/۴ متر بر ثانیه و ساعات آفتابی: ۸/۸ بود. متوسط ارتفاع:۱۶۵۴ متر و متوسط بارش سالانه: ۱۰۹/۴ میلی‌متر بود.)



شکل ۲- نمودار درخت خوشه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های منطقه

ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به هر یک از پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی مطابق با معادله (۴) و برنامه کامپیوتری تهیه شده در مطلب مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی در قالب تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه برای هر گروه به شرح زیر است:

تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه

در شکل (۳) روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه بر اساس تغییر ۲۰± درصد هر یک از پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی به‌عنوان‌مثال برای گروه اول ارائه شده است. باتوجه‌به نتایج ارائه شده برای گروه اول در مقیاس سالانه، بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی بود که نتایج مشابه برای گروه‌های دوم و سوم نیز مشاهده شد.

در جدول (۲) میانگین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه به تغییرات هر یک از پارامترهای هواشناسی (۲۰± درصد) برای هر گروه ارائه شده است. باتوجه‌به این جدول بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب اولویت به پارامتر سرعت باد، بیشینه دما، ساعات آفتابی، کمینه دما، بیشینه رطوبت و کمینه رطوبت بود. در مقیاس سالانه، بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد در گروه دوم مشاهده شد. باتوجه‌به نتایج تحلیل سالانه و باتوجه‌به اینکه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن ایستگاه‌های مورد بررسی از نظر اقلیمی مشابه و در گروه خشک طبقه‌بندی می‌شوند، تفاوت ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی در گروه‌های متفاوت، نقش مؤثری در حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به سرعت باد داشته است. به این مفهوم که در گروه دوم با ارتفاع کمتر نسبت به گروه‌های اول و سوم، بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه به سرعت باد مشاهده شد.

در مقیاس سالانه، بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما نیز مربوط به گروه دوم بود. ولی بین گروه‌های متفاوت در این مطالعه از نظر حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما تفاوت قابل‌توجهی مشاهده نشد (میانگین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه به بیشینه دما در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۲۹، ۰/۲۹ و ۰/۳ بود). این نکته بیانگر این مطلب است که حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه نسبت به بیشینه دما تأثیرپذیری بیشتری نسبت به شرایط اقلیمی داشته و وابسته به تغییرات ارتفاعی در گروه‌های متفاوت نبوده است؛ بنابراین به دلیل اقلیم مشابه گروه‌های مورد بررسی در این مطالعه، در مقیاس سالانه، تفاوتی بین ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به بیشینه دما وجود نداشت.

در مقیاس سالانه، بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی در گروه سوم و سپس گروه اول مشاهده شد. در مورد حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه به ساعات آفتابی نیز علی‌رغم تشابه اقلیم گروه‌های متفاوت ولی به دلیل ارتفاع متغیر، این ضریب در گروه‌های متفاوت متغیر مشاهده شد. ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه به ساعات آفتابی در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۱۷، ۰۰,۱۵/۱۵ و ۰/۲ بود. لازم به ذکر است که ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی در گروه سوم بیشتر از گروه‌های اول و دوم بوده است.

به‌طورکلی در مقیاس سالانه بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی بود که بروز خطا در اندازه‌گیری این پارامترها یا تغییرات بلندمدت در این پارامترهای هواشناسی ناشی از پدیده تغییر اقلیم بیشترین تغییر را در تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه ایجاد خواهد کرد.

بر اساس مطالعه Makari et al., (2015) در منطقه بجنورد با اقلیم سرد نیمه‌خشک در مقیاس سالانه و با کاربرد معادله فائو پنمن مانتیث بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به دمای بیشینه بود. البته در مطالعه حاضر همان‌طور که ذکر شد بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد و سپس دمای بیشینه مشاهده شد که این به دلیل تفاوت اقلیمی استان یزد و منطقه بجنورد است. بر اساس مطالعه Bakhtiari and Liaghat (2011) حساسیت معادله پنمن مانتیث فائو ۵۶ به سرعت باد در اقلیم گرم و نیمه‌خشک کرمان بیشتر است که علت آن افزایش تبخیر-تعرق ناشی از جایگزینی هوای خشک با هوای مرطوب اطراف آسمانه گیاه در اثر وزش باد گرم و خشک در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ذکر شده است. همچنین Dinpashoh et al., (2011) افزایش روند تغییرات تبخیر-تعرق در شرق ایران را مربوط به سرعت باد گزارش کردند. لازم به ذکر است بر اساس نتایج مطالعه حاضر تغییر ۲۰ درصدی در هر یک از پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی به ترتیب منجر به ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع سالانه در محدوده (۰/۳۲-۰/۴۶)، (۰/۲۷-۰/۳۴) و (۰/۱۲-۰/۲) شد. محدوده تغییرات ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد در مقیاس سالانه (۰/۳۲-۰/۴۶) در این مطالعه، با نتایج مطالعه Khadempour et al., (2017) که مقدار این ضریب را بین ۰/۲۱-۰/۴۴ برای اقلیم یزد گزارش کرده بود، تقریباً مطابقت دارد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر رطوبت نسبی است که با نتایج مطالعه Khadempour et al., (2017) در اقلیم یزد مطابقت دارد. Jiang et al (2019) نیز ساعات آفتابی، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد را به ترتیب از عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع در اقلیم موسمی جنوب غربی چین در طول دوره رشد ارائه کردند. نتایج مطالعه Zhang et al., (2020) در حوزه رودخانه شیانگ چین با اقلیم خشک تا نیمه‌خشک نشان داد که بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه به ترتیب پارامترهای رطوبت نسبی، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد، بیشینه دما و کمینه دما است.

در مطالعه حاضر ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی به ترتیب در گروه سوم و اول بیشتر از گروه دوم است و بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه نسبت به پارامتر رطوبت به ترتیب در گروه سوم، اول و دوم است. نتایج مطالعه Kang et al., (2021) در منطقه Taihang چین با اقلیم موسمی نیز بیانگر بیشتر بودن حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه نسبت به پارامتر رطوبت در مناطق مرتفع‌تر است که نتایج مطالعه حاضر با مطالعه مذکور مطابقت دارد.

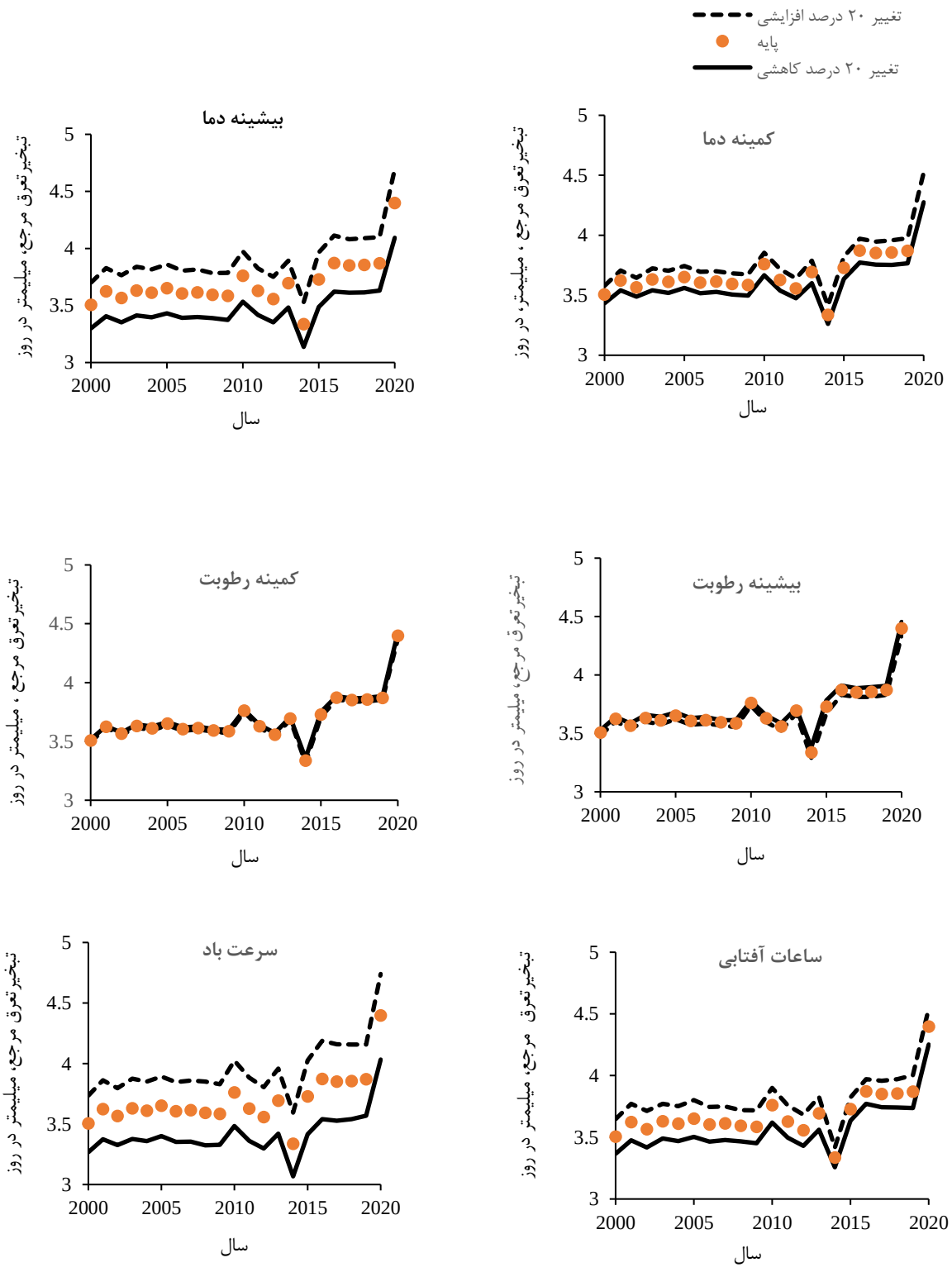
تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس فصلی

در شکل(۴) تغییرات فصلی ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به هر یک از پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی در گروه‌های موردمطالعه ارائه شده است. بر اساس این نتایج در فصل تابستان بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی و کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به کمینه و بیشینه رطوبت رخداده است. در فصل تابستان تغییرات ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی به ترتیب در محدوده (۰/۱۵-۰/۲)، (۰/۲۵-۰/۳)، (۰/۰۰۲-۰/۰۱۲)، (۰/۰۰۳-۰/۰۳۴)، (۰/۳۹-۰/۴۸) و (۰/۱۴-۰/۱۸) بوده است.

در فصل بهار تغییرات ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی به ترتیب در محدوده (۰/۱۲-۰/۱۸)، (۰/۲۷-۰/۳۲)، (۰/۰۰۵-۰/۰۲)، (۰/۰۰۰۷-۰/۰۶)، (۰/۳۴-۰/۴۳) و (۰/۱۴-۰/۱۹) رخداده است. در فصل بهار مشابه با فصل تابستان بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی و کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به کمینه و بیشینه رطوبت رخداده است.

در فصل پاییز تغییرات ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت،

بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی به ترتیب در محدوده (۰/۱-۰/۰۱۷)، (۰/۳۳-۰/۲۷)، (۰/۰۶-۰/۰۴)، (۰/۱۴-۰/۰۹)، (۰/۳۵-۰/۲۴) و (۰/۲۲-۰/۱۷) رخداده است. در فصل پاییز بیشترین ضریب حساسیت به ترتیب به پارامترهای بیشینه دما، سرعت باد و ساعات آفتابی بوده است. در فصل پاییز تفاوت ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای سرعت باد و بیشینه دما نسبت به فصل تابستان و فصل بهار کاهش‌یافته است. همچنین کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در این فصل مربوط به کمینه رطوبت و کمینه دما بوده است.



شکل ۳- نمایی از روند تغییرات میانگین تبخیر-تعرق مرجع روزانه تحت‌تأثیر تغییر ۲۰ درصدی (افزایشی و کاهشی) پارامترهای هواشناسی برای گروه اول

جدول ۲- میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه به تغییرات پارامترهای هواشناسی (±۲۰ درصد)

گروه	ایستگاه هواشناسی	کمینه دما μ (σ)	بیشینه دما μ (σ)	کمینه رطوبت μ (σ)	بیشینه رطوبت μ (σ)	سرعت باد μ (σ)	ساعات آفتابی μ (σ)
گروه اول	ابرکوه	۰/۱۲ (۰/۰۰۷)	۰/۲۹ (۰/۰۱۹)	۰/۰۲ (۰/۰۲۳)	۰/۰۵ (۰/۰۱۴)	۰/۳۷ (۰/۰۲۴)	۰/۱۷ (۰/۰۲۳)
	مروست	۰/۱۰۸ (۰/۰۰۸)	۰/۳۱ (۰/۰۳۷)	۰/۰۲ (۰/۰۱)	۰/۰۵ (۰/۰۳)	۰/۳۷ (۰/۰۵)	۰/۱۷ (۰/۰۵۶)
	بهاباد	۰/۱۲ (۰/۰۰۷)	۰/۲۹ (۰/۰۲۵)	۰/۰۲ (۰/۰۰۵)	۰/۰۵ (۰/۰۱۲)	۰/۳۸ (۰/۰۱۶)	۰/۱۷ (۰/۰۱۱)
	مهریز	۰/۱۵ (۰/۰۰۹)	۰/۲۸ (۰/۰۱۳)	۰/۰۲ (۰/۰۰۵)	۰/۰۴ (۰/۰۱)	۰/۳۷ (۰/۰۳)	۰/۱۷ (۰/۰۲۸)
گروه دوم	عقدا	۰/۱۵ (۰/۰۱)	۰/۲۷ (۰/۰۲۳)	۰/۰۱۸ (۰/۰۰۷)	۰/۰۳۵ (۰/۰۱۴)	۰/۴ (۰/۰۳۴)	۰/۱۵ (۰/۰۳۳)
	بافق	۰/۱۴ (۰/۰۰۷)	۰/۳ (۰/۰۲۳)	۰/۰۱ (۰/۰۰۴)	۰/۰۲۳ (۰/۰۱)	۰/۴ (۰/۰۲۷)	۰/۱۶ (۰/۰۱۹)
	میبد	۰/۱۵ (۰/۰۰۹)	۰/۳۴ (۰/۰۱۸)	۰/۰۲ (۰/۰۰۶)	۰/۰۶ (۰/۰۱۴)	۰/۴۶ (۰/۰۳۱)	۰/۱۲ (۰/۰۳)
	رباط پشت بادام	۰/۱۵ (۰/۰۰۷)	۰/۲۷ (۰/۰۲۳)	۰/۰۲ (۰/۰۰۴)	۰/۰۴ (۰/۰۱۱)	۰/۳۶ (۰/۰۲۷)	۰/۱۸ (۰/۰۱۹)
	یزد	۰/۱۴ (۰/۰۰۹)	۰/۲۸ (۰/۰۱۸)	۰/۰۱۷ (۰/۰۰۴)	۰/۰۳۶ (۰/۰۰۸)	۰/۰۳۹ (۰/۰۲۵)	۰/۱۶ (۰/۰۱۱)
گروه سوم	تفت	۰/۰۹ (۰/۰۱۶)	۰/۳ (۰/۰۱۲)	۰/۰۳ (۰/۰۰۷)	۰/۰۶ (۰/۰۱۵)	۰/۳۲ (۰/۰۲۱)	۰/۲ (۰/۰۲۳)

در فصل زمستان تغییرات ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی به ترتیب در محدوده (۰/۰۷-۰/۰۲)، (۰/۳-۰/۲۶)، (۰/۰۷-۰/۰۴)، (۰/۱۴-۰/۰۹)، (۰/۳-۰/۲۱) و (۰/۲-۰/۱۷) رخداده است. در فصل زمستان بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما و سرعت باد بوده است و ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به این دو پارامتر تقریباً یکسان است. در فصل زمستان بعد از پارامتر بیشینه دما و سرعت باد بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر ساعات آفتابی است. همچنین کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در این فصل به ترتیب مربوط به کمینه دما و کمینه رطوبت بوده است.

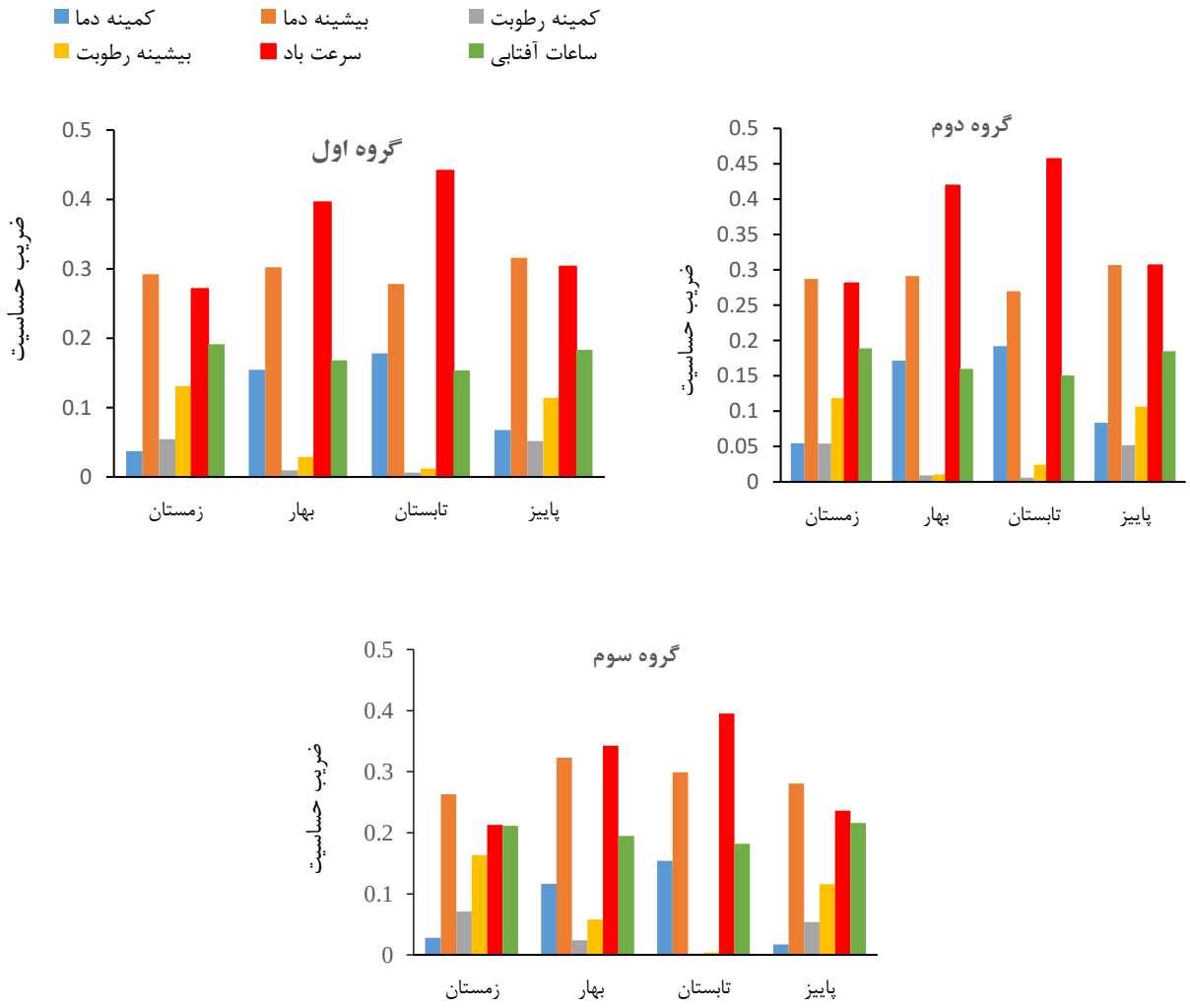
به‌طورکلی در مقیاس فصلی و در فصل تابستان و بهار، اثرگذارترین پارامتر بر تغییرات تبخیر-تعرق مرجع، سرعت باد، در فصل پاییز، بیشینه دما و در فصل زمستان، بیشینه دما و سرعت باد بوده است. نتایج مطالعه Zhang et al., (۲۰۱۰) در حوضه رودخانه شیانگ در چین با اقلیم نیمه‌خشک نشان داد که در تابستان، تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس فصلی بیشترین حساسیت را به انرژی قابل دسترس و در فصل زمستان بیشترین حساسیت را به سرعت باد دارد. Bois et al., (۲۰۰۷) با تحلیل حساسیت الگوی پنمن مانتیث در اقلیم اقیانوسی جنوب فرانسه نشان دادند که در طی زمستان سرعت باد، عامل اصلی تغییر در مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوی پنمن مانتیث است که نتایج مطالعه حاضر در این مورد با مطالعه مذکور مطابقت دارد.

بر اساس مطالعه Makari et al., (2015) در منطقه بجنورد با اقلیم سرد نیمه‌خشک در مقیاس فصلی و با کاربرد معادله فائو پنمن مانتیث بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به دمای بیشینه وجود داشت و حساسیت معادله فائو پنمن مانتیث به دمای بیشینه در فصل پاییز بیشتر از فصول دیگر بود که نتایج مطالعه حاضر در فصل پاییز و زمستان با نتایج مطالعه مذکور مطابقت دارد. در مطالعه ذکر شده حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به دمای کمینه و سرعت باد در تابستان (به دلیل بالا بودن دمای کمینه و سرعت باد در تابستان) بیشتر از بقیه فصول بوده است و نتایج مطالعه حاضر در خصوص حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر سرعت باد در فصل تابستان و بهار با نتایج مطالعه مذکور مطابقت دارد. همچنین در مطالعه حاضر حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی در فصول مختلف، مشابه یکدیگر بوده و حساسیت پارامتر تبخیر-تعرق مرجع به کمینه و بیشینه رطوبت در زمستان و پاییز بیشتر از فصول دیگر بود (به دلیل بالا بودن رطوبت نسبی نسبت به فصول دیگر) که با نتایج مطالعه مذکور مطابقت دارد.

نتایج مطالعه Talebi et al., (2010) در تحلیل حساسیت

مدل فائو پنمن مانتیث در سه ایستگاه واقع در یزد، طبس و مروست با استفاده از مدل کراپ وات[1] نشان داد که تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد بیشترین تأثیر را در نوسانات تبخیر-تعرق در هر سه ایستگاه داشته است. ایشان همچنین بیان داشتند که اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تبخیر تعرق در فصول مختلف متفاوت است. نتایج مطالعه حاضر نیز با نتیجه مطالعه مذکور همخوانی دارد.

بر اساس مطالعه Gong et al., (2006) در حوزه رودخانه یانگ تسه با اقلیم مرطوب و تابستان گرم نیز بیشترین و کمترین تأثیر سرعت باد بر تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب در فصل تابستان و در زمستان مشاهده شد که در این مورد نتایج مطالعه حاضر با مطالعه مذکور مطابقت دارد.



شکل ۴- ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی در فصول متفاوت

بر اساس نتایج مطالعه Shirmohammadi et al., (2021) حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی در مقیاس مکانی، متفاوت و وابسته به توپوگرافی و تفاوت جغرافیایی است. در مطالعه حاضر نیز حساسیت تبخیر-تعرق به پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های متفاوت متغیر است (جدول ۳).

بررسی تغییرات مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر سرعت باد نشان داد که تغییر فصول در روند اولویت حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به سرعت باد مؤثر نبوده است و در کلیه فصول بیشترین مقادیر ضریب حساسیت به ترتیب متعلق به گروه دوم، گروه اول و گروه سوم بوده است. بر اساس این نتایج کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر سرعت باد مربوط به گروه سوم است که عامل تأثیرگذار

[1] CROPWAT

دراین‌خصوص، ارتفاع بیشتر گروه سوم نسبت به گروه‌های اول و دوم است.

بررسی تغییرات مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر بیشینه دما نشان داد که در فصول پاییز و زمستان بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما به ترتیب متعلق به گروه‌های اول، دوم و سوم بوده است. کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما در این فصول مربوط به گروه سوم بوده است. در فصول بهار و تابستان بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه دما مربوط به گروه‌های سوم، اول و دوم بوده است که با فصول پاییز و زمستان متفاوت است.

بررسی تغییرات مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس فصلی به ساعات آفتابی نشان داد که بیشترین ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در کلیه فصول متعلق به گروه سوم است. این نتیجه مشابه با حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه بود؛ بنابراین به دلیل تشابه اقلیمی در ایستگاه‌های مورد بررسی در این مطالعه، در مقیاس فصلی نیز حساسیت تبخیر-تعرق مرجع وابسته به ارتفاع ایستگاه‌ها بوده است.

به‌طورکلی با بررسی مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی، گروه سوم شامل ایستگاه تفت نسبت به سایر ایستگاه‌های هواشناسی ضرایب حساسیت متفاوتی داشت که این نتیجه به دلیل تفاوت ارتفاع گروه‌های موردمطالعه علی‌رغم اقلیم مشابه آنهاست.

جدول ۳- میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای متفاوت هواشناسی در مقیاس فصلی

گروه	پارامتر	بیشینه ضریب حساسیت			کمینه ضریب حساسیت		فصل رخداد
		μ	σ	فصل رخداد	μ	σ	
گروه اول	کمینه دما	۰/۱۸	۰/۰۱۲	تابستان	۰/۰۳۷۵	۰/۰۱۵	زمستان
	بیشینه دما	۰/۳۱۲۵	۰/۰۱۱	پاییز و بهار	۰/۲۷۷۵	۰/۰۱۳	تابستان
	کمینه رطوبت	۰/۰۴۶۲۵	۰/۰۲	زمستان و پاییز	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۲	تابستان و بهار
	بیشینه رطوبت	۰/۱۲۷۵	۰/۰۰۸	زمستان	۰/۰۱۳۲۵	۰/۰۰۳	تابستان
	سرعت باد	۰/۴۴	۰/۰۰۷	تابستان	۰/۲۷	۰/۰۰۷	زمستان
	ساعات آفتابی	۰/۱۹	۰/۰۱۲	زمستان و پاییز	۰/۱۵۵	۰/۰۰۵	تابستان
گروه دوم	کمینه دما	۰/۱۹	۰/۰۰۶	تابستان	۰/۰۵۶	۰/۰۱۴	زمستان
	بیشینه دما	۰/۳۱۴	۰/۰۲	بهار و پاییز	۰/۲۶۶	۰/۰۱۴	تابستان و زمستان
	کمینه رطوبت	۰/۰۵۷۸	۰/۰۰۹	زمستان و پاییز	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۰۳۵	بهار و تابستان
	بیشینه رطوبت	۰/۱۲۰۴	۰/۰۱۶	زمستان و پاییز	۰/۰۰۸۹۶	۰/۰۰۶۶	بهار و تابستان
	سرعت باد	۰/۴۵۶	۰/۰۱	تابستان	۰/۲۷۸	۰/۰۱۲	زمستان
	ساعات آفتابی	۰/۱۹۲	۰/۰۱	پاییز و زمستان	۰/۱۵۲	۰/۰۱	تابستان و بهار
گروه سوم	کمینه دما	۰/۱۵	-*	تابستان	۰/۰۱۷	-	پاییز
	بیشینه دما	۰/۳۲	-	بهار	۰/۲۶	-	زمستان
	کمینه رطوبت	۰/۰۷	-	زمستان	۰/۰۰۱	-	تابستان
	بیشینه رطوبت	۰/۱۶	-	زمستان	۰/۰۰۴	-	تابستان
	سرعت باد	۰/۳۹	-	تابستان	۰/۲۱	-	زمستان
	ساعات آفتابی	۰/۲۲	-		۰/۱۸	-	تابستان

***در گروه سوم انحراف معیار مشخص نشده است چون فقط شامل یک ایستگاه یعنی ایستگاه تفت بوده است.**

تحلیل حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس ماهانه

باتوجه‌به شکل (۵) تبخیر-تعرق مرجع در ماه‌های آبان تا فروردین بیشترین حساسیت را به ترتیب به پارامترهای بیشینه دما، سرعت باد و ساعات آفتابی دارد. در ماه‌های اردیبهشت تا مهر بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب به پارامترهای سرعت باد، بیشینه دما و ساعات آفتابی است.

کمترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در کلیه ماه‌های سال مربوط به کمینه دما، کمینه رطوبت و بیشینه رطوبت است. در ماه‌های اردیبهشت تا مهر ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه رطوبت و بیشینه رطوبت کمتر از ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه دما است. در ماه‌های آبان تا فروردین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه دما کمتر از ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه رطوبت و بیشینه رطوبت است. در کل ماه‌های سال ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه رطوبت بیشتر از کمینه رطوبت است.

در ماه‌های اردیبهشت تا مهر ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به بیشینه رطوبت در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب

در محدوده ۰/۰۱-۰/۰۵، ۰/۰۱-۰/۰۳۳ و ۰/۰۱-۰/۰۵ است. در ماه‌های آبان تا فروردین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به بیشینه رطوبت در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۰۸-۰/۱۶، ۰/۰۵-۰/۱۷ و ۰/۱۲-۰/۱۸ است.

در ماه‌های اردیبهشت تا مهر ضریب حساسیت تبخیر تعرق مرجع نسبت به کمینه رطوبت در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۰۰۲-۰/۰۲، ۰/۰۱۵-۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰۲-۰/۰۲ است. در ماه‌های آبان تا فروردین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه رطوبت در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۰۳-۰/۰۷۴، ۰/۰۲-۰/۰۸۸ و ۰/۰۵-۰/۰۸۶است. ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به کمینه رطوبت در هر سه گروه تقریباً یکسان است.

باتوجه‌به نتایج فوق ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به بیشینه و کمینه رطوبت وابسته به ماه‌های مورد بررسی است (ماه‌های گرم و سرد) و به ارتفاع وابستگی ندارد به‌گونه‌ای که در ماه‌های گرم مقدار ضریب حساسیت کمتر از ماه‌های سرد بوده و مقادیر این ضریب در ایستگاه‌های متفاوت با ارتفاع متفاوت تفاوت چندانی نداشتند.

ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به کمینه دما در ماه‌های آبان تا فروردین برای گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۰۱-۰/۱، ۰/۰۲-۰/۱۴ و ۰/۰۱-۰/۰۷ است و در ماه‌های اردیبهشت تا مهر برای گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۱-۰/۱۷، ۰/۱۴-۰/۲۱ و ۰/۰۸-۰/۱۸ است. ضریب حساسیت تبخیر تعرق مرجع به کمینه دما در ماه‌های اردیبهشت تا مهر بیشتر از ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به این پارامتر در ماه‌های آبان تا فروردین است. این ضریب نه‌تنها وابسته به ماه‌های مورد بررسی است که به گروه‌بندی مکانی ناشی از تغییرات ارتفاع هم وابسته است به‌گونه‌ای که بیشترین ضریب حساسیت به ترتیب متعلق به گروه دوم، گروه اول و گروه سوم است.

ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی در کلیه ماه‌های سال و برای هر سه گروه تقریباً یکسان است. ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی در ماه‌های اردیبهشت تا مهر در گروه اول، دوم و سوم در محدوده ۰/۱۵-۰/۱۸، ۰/۱۴-۰/۱۷ و ۰/۱۸-۰/۲۲ است. مقدار این ضریب در ماه‌های آبان تا فروردین در گروه اول، دوم و سوم در محدوده ۰/۱۷-۰/۲، ۰/۱۷-۰/۲ و ۰/۲-۰/۲۲ است. بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب متعلق به گروه سوم، اول و دوم است که به دلیل تشابه اقلیمی ایستگاه‌های متفاوت متأثر از ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی بوده است. به این مفهوم که حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی در ایستگاه‌های با ارتفاع بیشتر، بیشتر بوده است. این نتایج مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در مقیاس فصلی و سالانه است.

بیشترین ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد در مقیاس ماهانه، در کلیه ماه‌های مورد بررسی به ترتیب متعلق به گروه دوم، اول و سوم است. ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به سرعت باد در ماه‌های گرم (اردیبهشت تا مهر) برای گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۳۹-۰/۴۵، ۰/۳۹-۰/۴۷ و ۰/۳-۰/۴۲ بوده است. مقدار این ضریب در ماه‌های سرد (آبان تا فروردین) برای گروه اول، دوم و سوم به ترتیب در محدوده ۰/۲۳-۰/۳۴، ۰/۲۳-۰/۳۷ و ۰/۱۷-۰/۲۹ بود. مقدار این ضریب در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد سال است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر در مقیاس ماهانه ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامتر سرعت باد در ایستگاه‌های با ارتفاع کمتر بیشتر است. نتایج مطالعه Yong et al., (2019) نیز در منطقه کوهستانی Qilian در شمال غربی چین نشان داد که حتی در یک حوضه کوچک حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی از ارتفاع کم به ارتفاعات زیاد متغیر است.

بر اساس مطالعه Mosaedi et al., (2016) بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع تخمینی با روش فائو پنمن مانتیث برای منطقه شیراز با اقلیم نیمه کوهستانی (semi mountains) در ماه‌های خرداد تا آبان به پارامتر سرعت باد بود. مطالعه Dinpajooh (2011) با بررسی روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در همدان (پایگاه نوژه) نشان داد که در ماه‌های گرم بیشترین حساسیت تبخیر تعرق مرجع به پارامترهای سرعت باد و دمای بیشینه است که نتایج مطالعه حاضر با نتایج این مطالعه همخوانی دارد.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر بیشترین حساسیت نیاز آبی گیاهانی که در فصل سرد کشت می‌شوند (آبان تا فروردین) به پارامتر بیشینه دما است. در این شرایط تغییرات بیشینه دما ناشی از خطای اندازه‌گیری یا تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع و در نتیجه تخمین نیاز آبی گیاهان در این دوره مؤثر خواهد بود. در خصوص گیاهانی که در فصل گرم کشت می‌شوند (اردیبهشت تا مهر) بیشترین حساسیت نیاز آبی گیاهان به پارامتر سرعت باد است. در این شرایط تغییرات سرعت باد ناشی از خطای اندازه گیری یا تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع و درنتیجه نیاز آبی گیاهانی که در این دوره کشت می‌شوند مؤثر خواهد بود.

جدول ۴- میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای متفاوت هواشناسی در مقیاس ماهانه

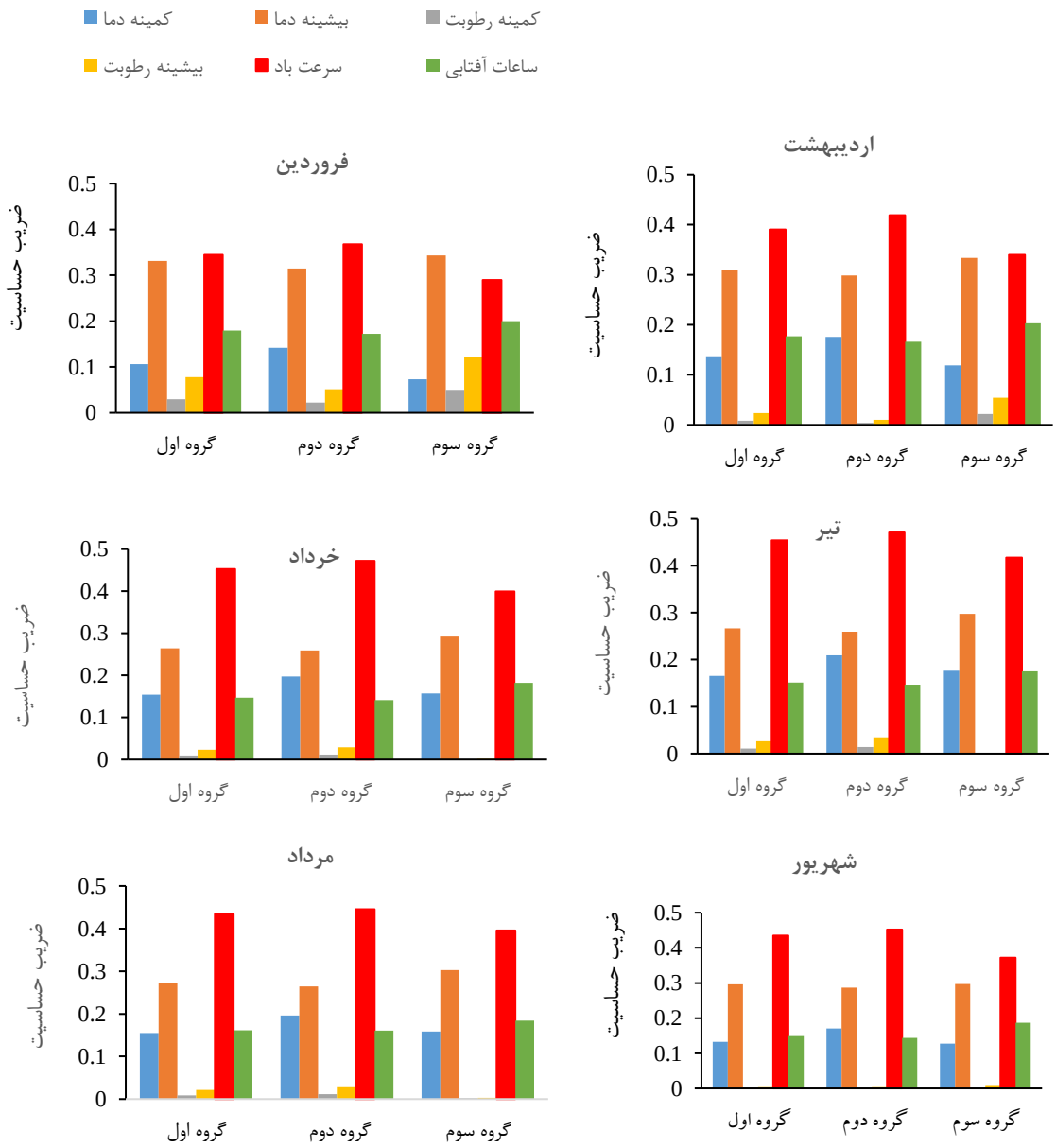
گروه	پارامتر	بیشینه ضریب حساسیت			کمینه ضریب حساسیت		
		μ	σ	ماه رخداد	μ	σ	ماه رخداد
اول	کمینه دما	۰/۱۶	۰/۰۵۲	تیر	۰/۰۲۱	۰/۰۲	آذر و دی
	بیشینه دما	۰/۳۴	۰/۰۱۲	فروردین و مهر	۰/۲۶	۰/۰۰۴	دی و خرداد
	کمینه رطوبت	۰/۰۷۵	۰/۰۱	آذر و دی	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲	شهریور
	بیشینه رطوبت	۰/۱۲۴	۰/۰۶	آذر و دی	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۶	شهریور
	سرعت باد	۰/۴۶	۰/۰۱	خرداد و تیر	۰/۲۳	۰/۰۰۴	دی
	ساعات آفتابی	۰/۲	۰/۰۰۷	آذر دی و بهمن	۰/۱۴	۰/۰۰۷	خرداد و شهریور
دوم	کمینه دما	۰/۲۱	۰/۰۰۰۱	تیر	۰/۰۱۹	۰/۰۱	دی
	بیشینه دما	۰/۳۲	۰/۰۱۶	فروردین	۰/۲۴	۰/۰۲	خرداد
	کمینه رطوبت	۰/۰۸۶	۰/۰۱۵	آذر و دی	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۵	شهریور
	بیشینه رطوبت	۰/۱۷	۰/۰۲۵	آذر و دی	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	شهریور
	سرعت باد	۰/۴۸	۰/۰۱	تیر	۰/۲۳	۰/۰۲۳	دی
	ساعات آفتابی	۰/۲	۰/۰۱۴	آذر و دی	۰/۱۳	۰/۰۱	خرداد و شهریور
سوم	کمینه دما	۰/۱۸	-	تیر	۰/۰۱۱	-	آبان
	بیشینه دما	۰/۳۴	-	فروردین	۰/۲۲	-	دی
	کمینه رطوبت	۰/۰۸۶	-	دی	۰/۰۰۰۲۶	-	خرداد
	بیشینه رطوبت	۰/۱۸	-	دی	۰/۰۰۱۶	-	تیر
	سرعت باد	۰/۴۲	-	تیر	۰/۱۷	-	دی
	ساعات آفتابی	۰/۲۲	-	دی	۰/۱۸	-	تیر

***در گروه سوم انحراف معیار مشخص نشده است چون فقط شامل یک ایستگاه یعنی ایستگاه تفت بوده است.**

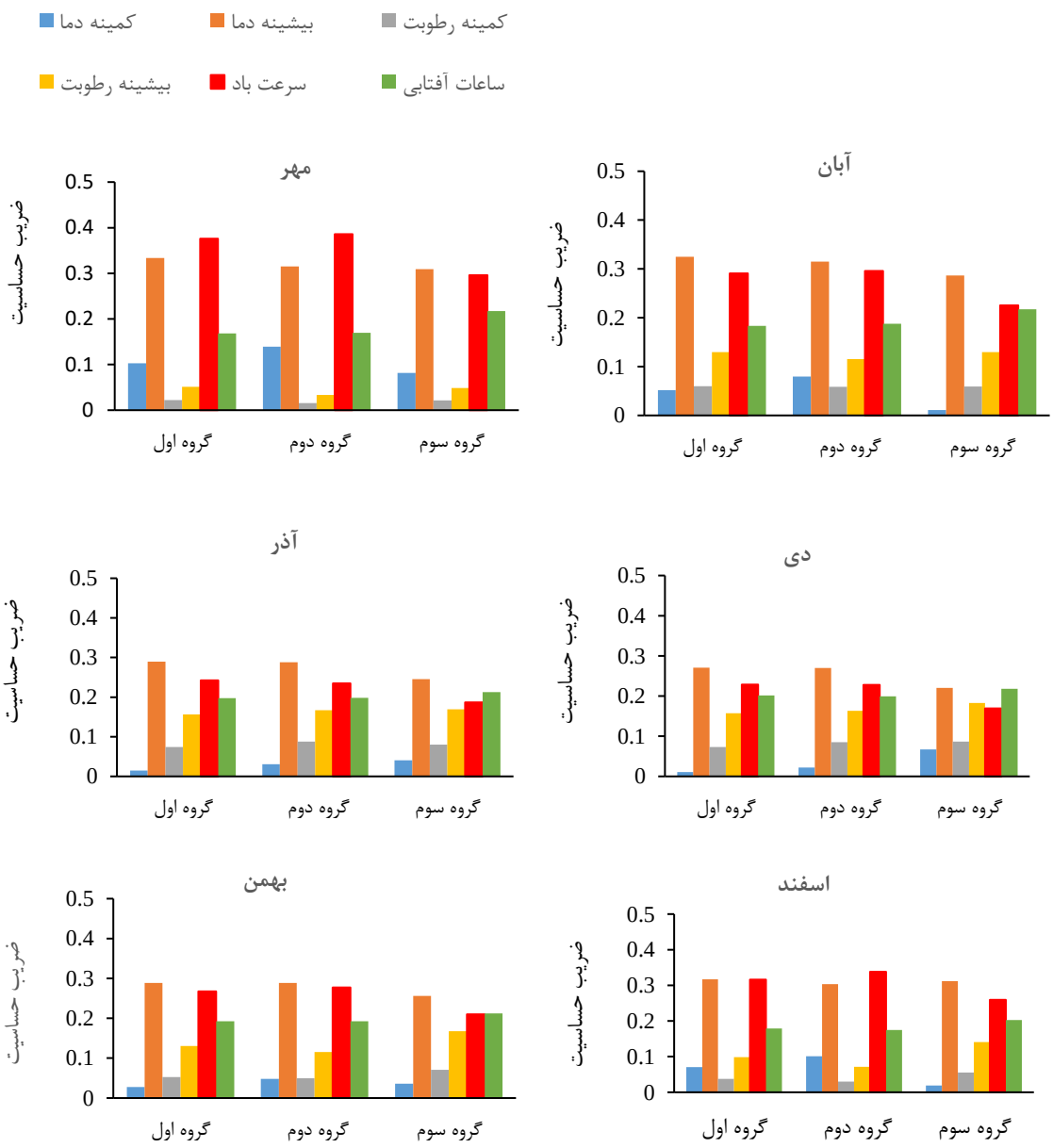
نتیجه‌گیری

انجام آنالیز حساسیت معادله فائو پنمن مانتیث به‌عنوان کاربردی‌ترین روش تخمین تبخیر-تعرق مرجع به‌منظور شناخت تأثیرپذیری این پارامتر از تغییرات پارامترهای مختلف هواشناسی امری ضروری است. باتوجه‌به شاخص دومارتن، کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی در این مطالعه در گروه اقلیم خشک قرار دارند؛ لذا به‌منظور ارائه بیان واضح نتایج با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار SPSS گروه‌بندی ایستگاه‌های متفاوت یزد با استفاده از پارامترهای دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تبخیر-تعرق و بارش انجام گرفت. همچنین به دلیل مؤثر بودن ارتفاع در حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی، پارامتر ارتفاع نیز در گروه‌بندی ایستگاه‌های متفاوت یزد لحاظ شد. نتایج این مطالعه با بررسی ۱۰ ایستگاه هواشناسی واقع در استان یزد در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۳۹۹) نشان داد که در هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه پارامترهای سرعت باد، دمای بیشینه و ساعات آفتابی به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع هستند. دراین‌بین رطوبت کمینه و رطوبت بیشینه کمترین تأثیر را در تغییرات تبخیر-تعرق مرجع داشتند. باتوجه‌به نتایج این مطالعه چنانچه سرعت باد، دمای بیشینه و ساعات آفتابی در مقاطع زمانی خاصی تغییر یابند منجر به تغییر در تبخیر تعرق مرجع می‌گردد. همچنین با افزایش خطای اندازه‌گیری این پارامترها تغییرات شدید در تبخیر-تعرق مرجع و متعاقب آن نیاز آبی گیاهان منطقه ایجاد خواهد شد. به‌این‌ترتیب که ضریب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع حاصل از تغییرات ۲۰± درصدی در اندازه‌گیری هر یک از پارامترهای سرعت باد و دمای بیشینه به ترتیب۰/۳۲-۰/۴۶ و ۰/۲۷-۰/۳۴ در مقیاس سالانه، ۰/۲۲-۰/۴۷ و ۰/۲۵-۰/۳۴ در مقیاس فصلی و ۰/۱۷-۰/۴۹ و ۰/۲۲-۰/۳۶ در مقیاس ماهانه بود. ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی به ترتیب در گروه‌های سوم و اول بیشتر از گروه دوم بوده و بیشترین حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس سالانه نسبت به پارامتر رطوبت به ترتیب در گروه‌های سوم، اول و دوم مشاهده شد. تغییر فصول در روند اولویت حساسیت تبخیر-تعرق مرجع نسبت به سرعت باد مؤثر نبوده است و عامل تأثیرگذار دراین‌خصوص تغییرات ارتفاع در گروه‌های متفاوت بوده است. بررسی تغییرات مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به ساعات آفتابی نشان داد که بیشترین ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع در کلیه فصول متعلق به گروه سوم است. به‌طورکلی با بررسی مکانی حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی، گروه سوم شامل ایستگاه تفت نسبت به سایر ایستگاه‌های هواشناسی ضرایب حساسیت متفاوتی داشت که این نتیجه به دلیل تفاوت ارتفاع این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌های

هواشناسی، علی‌رغم اقلیم مشابه آنهاست. بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود در صورت کاربرد معادله فائو پنمن مانتیث در تخمین تبخیر-تعرق مرجع صحت داده‌های هواشناسی به‌خصوص سرعت باد، دمای بیشینه و ساعات آفتابی و دقت آنها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین تحلیل حساسیت انجام‌گرفته در این مطالعه می‌تواند در خصوص استفاده از معادلات ساده‌سازی شده حاصل از روش فائو پنمن مانتیث در استان یزد راهگشا باشد.



شکل ۵. ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی در ماه‌های متفاوت



ادامه شکل ۵- ضرایب حساسیت تبخیر-تعرق مرجع به پارامترهای هواشناسی در ماه‌های متفاوت

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Alijani, B. (2002). *Synoptic climatology*. (1st ed.). Tehran, Samt Publication. (*In Farsi*)

Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). *FAO Irrigation and Drainage Paper No.56. FAO: Rome, Italy*.

Attari, M. and Taheri, B.(2016). Hydrology. (1th ed.). Tehran. Simaye danesh. (*In Farsi*)

Bakhtiari, B. and. Liaghat, A.M. (2011).Seasonal sensitivity analysis for climatic variables of ASCE Penman- Monteith model in a semi-arid climate. *Journal of Agricultural Science and Technology*,13, 1135-1145.

Bois B., Pieri, P., Leeuwen, C., wold, L., Huard, F., Gaudillere, J. and Saur, E. (2007). Using remotely sensed solar radiation data for reference evapotranspiration estimation at a daily time step. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(4), 619-630.

Cheng, W., Xi, H. and Celestin, S. (2021). Application of geodetector in sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration spatial changes in Northwest China. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 13(4), 314-325.

Dinpajooh, Y. (2011). Temporal Trend Analysis Of Reference Crop Evapotranspiration (Case Study: Hamedan Station). *Geographic Space*, 11 (34), 260 To 286.

Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh,

V.P. and Kahya. E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 422-33.

Dinpashoh, Y. and Sharifi, A. R. *(2012).* Sensitivity of Reference Crop Evapotranspiration to Changes in Meteorological Parameters (Case study: Sanandaj and Sabzevar). *Soil and Water Science*, 23(3), 25-43. *(In Farsi)*

Dinpashoh, Y., Jahanbakhsh Asi, S. and Foroughi, M. (2019). Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration to change in meteorological parameters in north-west and west of Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 8(2), 1-15. (In Farsi)

Dong, Q., Wang, W., Shao, Q., Xing, W., Ding, Y., Fu, J. (2019). The response of reference evapotranspiration to climate change in Xinjiang, China: historical changes, driving forces, and future projections. *International Journal of Climatology*, 40, 235–254.

Fang, M. (2021). Variations and Sensitivity Analysis of Reference Evapotranspiration During 2010-2019 in the Zhangye Farmland Oasis, Northwest China, *Research Square*.

Ghiami-Shomami, F., Kawasaki, K., Leonardo, Shinoda, S. and Fan, Y. (2019). Sensitivity of potential evapotranspiration to climate factors in forested mountainous watersheds. *Hydrological Research Letters*, 13(3),41-48.

Gong, L, Chong-yu, X., Deliang, C., Sven, H. and Yongqin, D. C. (2006). Sensitivity of the Penman–Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin, *Journal of Hydrology*, 329, 620–629.

Hu, S., Gao, R. , Zhang, T., Bai, P. and Zhang, R.(2021). Spatio-temporal variation of reference evapotranspiration and Its climatic drivers over the Tibetan Plateau during 1970–2018. *Applied Sciences*, 11, 1-14.

Jerszurki, D., Moretti de Souza, J. L. and de Carvalho Ramos Silva, L. (2019). Sensitivity of ASCE-Penman–Monteith reference evapotranspiration under different climate types in Brazil. *Climate Dynamics*, 1-14.

Jianga, S., Lianga, C., Cuia, N., Zhaoa, L., Dub, T., Huc, X., Fenga, Y., Guana, J. and Fenga, Y. (2019). Impacts of climatic variables on reference evapotranspiration during growing season in Southwest China. *Agricultural Water Management*, 216, 365-378.

Kang, T., Li, Z. and Gao, Y. (2021). Spatiotemporal Variations of Reference Evapotranspiration and Its Determining Climatic Factors in the Taihang Mountains, China. *Water*, 13, 1-22.

Khadempour, F., Bakhtiari, B. and Golestani, S. (2017). Sensitivity Analysis of FAO Penman-Monteith Model in Daily Reference Evapotranspiration Estimation and Zoning Sensitivity Coefficients across Iran. *Journal of Water and Soil*, 31(4), 1049-1059. *(In Farsi)*

Majozi, N. P., Mannaerts, C. M., Ramoelo, A., Mathieu, R. and Verhoef, *W. (2021).* Uncertainty and Sensitivity Analysis of a Remote-Sensing-Based Penman–Monteith Model to Meteorological and Land Surface Input Variables. *Remote sensing*, 1-18.

Makari, M., Ghahraman, B. and Sanaeinejad, S. H. (2015). Sensitivity Analysis of ETo for Five Current Models Using Monte-Carlo Simulation Case study: Bojnourd Synoptic Station. *Journal of Water and Soil*, 28(6), 1126-1136.*(In Farsi)*

Msaudian, A. (2003), Geographical distribution of precipitation in Iran the factanalysis rotation, *Journal of Geography and development*, 1(1), 79-89.

Mosaedi, A., Ghabaei Sough, M., Sadeghi., S. H., Mooshakhian, Y Bannayan, M. (2016). Sensitivity analysis of monthly reference crop evapotranspiration trends in Iran: a qualitative approach. *Theoretical and Applied Climatology*,1-17.

Mubialiwo, A., Onyutha, C., Abebe, A. (2020). Historical rainfall and evapotranspiration changes over mpologoma catchment in Uganda, hindawi. *Advances in Meteorology*, 1-19.

Ndiaye, P. M., Bodian,A., Diop, L., Dezetter, A., Guilpart, E., Deme, A., Ogilvie, A. (2021). Future trend and sensitivity analysis of evapotranspiration in the Senegal River Basin. *Journal of Hydrology*, 35,1-23.

Rahimian, M. H., Haji Hosseini, A., Spress, R. and Beyrami, H. (2018).Compilation of Agricultural Water Productivity Document in Yazd Province. *National Salinity Research Center*, Number 53298. (In Farsi)

Rahimikhoob, H., Sohrabi, T. and Delshad, M. (2021). Sensitivity Analysis of Reference Crop Evapotranspiration Estimation Methods to Meteorological Factors in Greenhouse Conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(15), 307-315. (In Farsi)

Shirmohammadi –Aliakbarkhani, Z. and Saberali, S. F. (2021). Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters in Khorasan Razavi Province. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), 260-272. (In Farsi)

Talebi, A., Poormohammadi, S., Rahimian, M.H. (2010). Investigation Of Effective Factors On Reference Evapotranspiration Using Sensitivity Analysis Of Fao-Penman-Monteith Equation (Case-Study: Yazd, Tabas And Marvast Stations). *Physical Geography Research Quarterly*, 73, 97-110. (In Farsi).

Tran, H. Q. (2021). Sensitivity analysis for effect of changes in input data on hydrological parameters and water balance components in the catchment area of Hungarian lowland. *Journal of Environmental Geography*, 14 (3–4), 1–13.

Xie, R. and Wang, A.(2020). Comparison of Ten Potential Evapotranspiration Models and Their Attribution Analyses for Ten Chinese Drainage Basins. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37,

evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. *Agriculture Water Management*, 97, 1506-1516.

Zhang, X., Xiao, W., Wang, Y., Wang, Y., Kang, M., Wang, H. and Huang, Y. (2020). Sensitivity analysis of potential evapotranspiration to key climatic factors in the Shiyang River Basin. *Journal of Water and Climate Change*, 1-10.

959–974.

Yang, Y., Chen, R., Song, Y., Han, C., Liu, J. and Liu, Z. (2019). Sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological factors and their elevational gradients in the Qilian Mountains,northwestern China. *Journal of Hydrology*, 568, 147 -159

Zhang, X., Kang, S,. Zhang, L. and Lu, J. (2010). Spatial variation of climatology monthly crop reference