دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۲۳۲-۲۱۵

احمدرضا قاسمی [۱]
*مریم تیموری [۲]
فاطمه تیموری [۳]

برآورد تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌های تبریز و اردبیل با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۱

چکیده

برآورد نیاز آبی گیاهان یکی از مهم‌ترین نیازهای بخش کشاورزی محسوب می‌شود که می‌تواند نقش مهمی در استفاده صحیح از منابع آب کشور ایفا کند. اولین گام در محاسبه نیاز آبی گیاهان، برآورد تبخیر و تعرق بالقوه می‌باشد. با توجه به این‌که برآورد تبخیر و تعرق بالقوه نیاز به فراسنج‌های متعدد هواشناسی دارد، هدف این تحقیق به‌دست آوردن روابط ساده‌تر با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای محاسبه تبخیر و تعرق در دو ایستگاه اردبیل و تبریز می‌باشد. برای این منظور در ابتدا از فراسنج‌های دما (بیشینه، متوسط وکمینه)، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، بارش و سرعت باد در مقیاس روزانه و در فاصله سال‌های (۱۹۶۲-۲۰۱۵) برای تبریز و (۱۹۹۲- ۲۰۱۵) برای اردبیل استفاده گردید. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی این تعداد فراسنج را برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل به‌ترتیب به دو و سه مؤلفه تقلیل داد. این مؤلفه‌ها در تبریز حدود ۷۸ درصد از تغییرات فراسنج‌های ورودی و در اردبیل ۸۳ درصد را توجیه می‌کنند. با استفاده از این مؤلفه‌ها، معادله‌های جدیدی برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه به‌دست آمد. نتایج مدل‌سازی تبخیر و تعرق نشان داد مقدار ضریب تبیین در مدل‌های خطی چندگانه به‌دست آمده بین مؤلفه‌های اصلی (PC) و تبخیر و

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد. E-mail: ghasemiar@yahoo.com
*۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی. E-mail: maryamteymouri84@yahoo.co
۳- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تعرق روزانه برای ایستگاه تبریز در دوره واسنجی و صحت سنجی به‌ترتیب برابر ۰/۵۳ و ۰/۶۹ و برای اردبیل ۰/۷۱ و ۰/۷۳ می‌باشد. همچنین مقادیر ضریب نش نیز برای ایستگاه تبریز ۰/۶۱ و ۰/۶۱ و برای اردبیل ۰/۷۱ و ۰/۷۳ می‌باشد که نشان دهنده کارایی مناسب مدل‌های به‌دست آمده است. همچنین نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق در تبریز به شدت تابع تغییرات فراسنج دما، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی و در اردبیل به شدت تابع فراسنج دما می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ایستگاه تبریز و اردبیل، مدل‌سازی، تبخیر و تعرق مرجع.

مقدمه

تبخیر و تعرق فرآیندی است که توسط فراسنج‌های هواشناسی، ویژگی‌های محصول، شیوه‌های مدیریت و همچنین ویژگی‌های محیط‌زیست تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Pandey et al., 2016: 53). تبخیر و تعرق به‌طور همزمان رخ می دهد و هر دو فرآیند به تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد بستگی دارند. میزان تعرق نیز توسط ویژگی‌های محصول، جنبه‌های زیست‌محیطی و شیوه‌های کشت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Zotarelli et al., 2015: 1)؛ بنابراین تبخیر و تعرق از مهم‌ترین فراسنج‌هایی است که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سامانه‌های آبیاری ضروری است (Sheykholeslami et al., 2014: 420). تاکنون روش‌های متعددی برای محاسبه تبخیر و تعرق ارائه شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها روش پنمن-مانتیث فائو-۵۶ می‌باشد.

مدل پنمن-مانتیث FAO56 استاندارد که مناسب‌ترین روش در هر دو شرایط آب‌وهوایی مرطوب و خشک می‌باشد، تخمین تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) را برای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه منابع آب در کشاورزی فراهم می‌کند (Hou et al., 2013: 1).

یکی از مشکلات این روش زیاد بودن اطلاعات مورد نیاز است. از آنجایی که داده‌های مربوط به همه متغیرهای مؤثر بر تبخیر و تعرق در اکثر ایستگاه‌ها وجود نداشته و یا ثبت نشده است لذا باید روی متغیرهای موجود تحلیل مناسبی انجام داد تا بتوان تأثیر نسبی آن‌ها را روی این پدیده بررسی کرد. بنابراین می‌توان از روش‌های آماری چند متغیره در این خصوص استفاده نمود. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل عاملی (FA) از متداول‌ترین روش‌های آماری چند متغیره می‌باشند که روابط مشاهده شده بین چندین متغیر را نشان می‌دهند و اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر یک پدیده را بیان می‌کنند (Sheykholeslami et al., 2014: 420). شمار تحقیقاتی که به کمک روش تحلیل مؤلفه های اصلی انجام گرفته بسیار زیاد است (Kavachi 2001؛ White et al., 1999؛ Kutzbach 1967؛ Lorenz, 1956). تاکنون از این روش در بحث اقلیم‌شناسی برای اهداف متفاوتی نظیر طبقه‌بندی آب‌وهوایی (Heydari & Alijani, 2000؛ White & Perry, 1989)، پهنه‌بندی رژیم بارشی (Masoudian, 2003: b؛ Raziei et al., 2008)، ناحیه‌بندی و طبقه‌بندی فشار سطح دریا (Richman & Adrrianto, 2010)، پهنه‌بندی رژیم‌های دمایی (Ghayor & Montazeri, 2004)، ترسیم نفشه هم‌بارش (Masoudian, 2009) استفاده شده است.

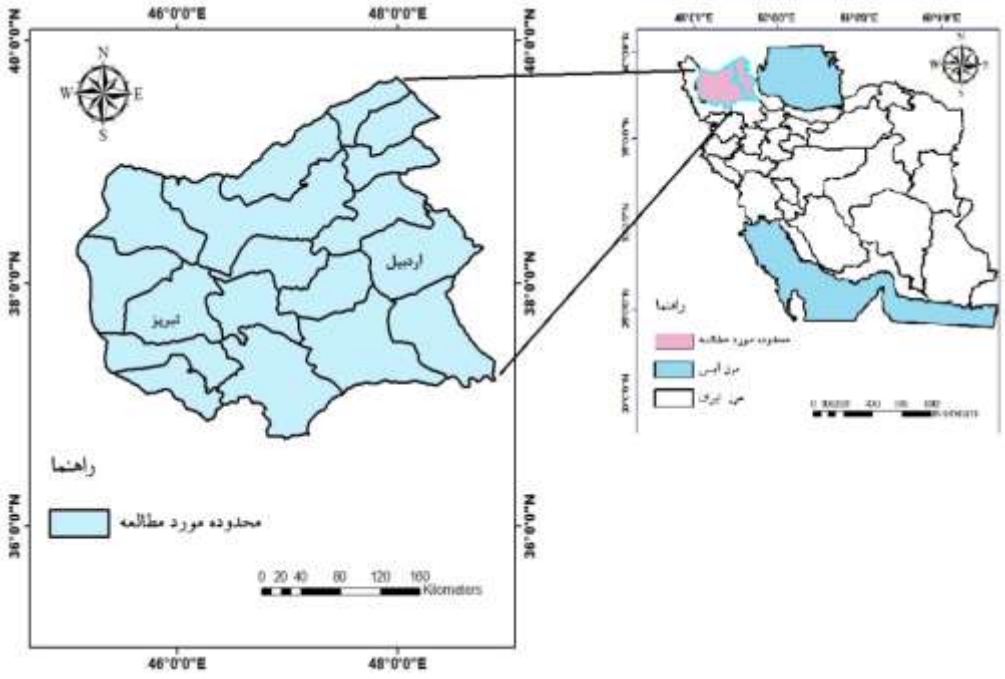
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مطالعاتی که برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع با روش PCA در ایران انجام شده است، محدود به چند پژوهش می‌باشد که شامل دو مطالعه Seyfi et al (2010) در ایستگاه کرمان و مطالعه Sheykholeslami et al (2014) در ایستگاه مشهد می‌باشد.

با توجه به کارایی بالای تحلیل مؤلفه‌های اصلی در این زمینه در این تحقیق از این روش برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق در دو ایستگاه تبریز و اردبیل با شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک استفاده شد.

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از داده‌های روزانه ایستگاه‌های هواشناسی همدید تبریز و اردبیل به‌ترتیب واقع در استان آذربایجان شرقی و اردبیل، استفاده شد. تبریز دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و اردبیل دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ١٤ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1: Location of study area

مواد و روش‌ها

داده‌های آماری مورد استفاده شامل دمای بیشینه (T_{max})، دمای کمینه (T_{min})، دمای متوسط (T_{mean})، رطوبت نسبی (RH)، ساعات آفتابی (RS)، بارش (P) و سرعت باد در ارتفاع دومتری (U_2) و به‌صورت روزانه می‌باشند. به دلیل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

ناقص بودن اطلاعات ثبت شده در برخی سال‌ها و یا حتی عدم وجود اطلاعات، از داده‌های روزانه ثبت شده بین سال‌های (۱۹۶۲-۲۰۱۵) میلادی برای ایستگاه تبریز و سال‌های (۱۹۹۲-۲۰۱۵) میلادی برای ایستگاه اردبیل که فاقد نقص آماری بودند، استفاده گردید. در این تحقیق روش فائو پنمن-مانتیث به‌عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق در نظر گرفته شد.

- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی اساساً روشی برای کاهش حجم داده‌هاست. این تحلیل سه خروجی مهم دارد: مؤلفه های اصلی، آرایه بارهای مؤلفه‌ها و آرایه امتیازات مؤلفه‌ها. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی از روی آرایه همبستگی برای هر یک از متغیرهای اولیه یک مؤلفه اصلی محاسبه می‌شود. مؤلفه اول بخش بزرگی از پراش داده‌ها را تبیین می‌کند و مؤلفه‌های بعدی بخش‌های کوچک‌تری از پراش را توضیح می‌دهند (Khodagholi et al., 2006: 44).

در ابتدا با استفاده از شاخص kmo[۴] مناسب بودن این روش برای اعمال بر داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقدار این شاخص بین صفر و یک است در صورتی که kmo کم‌تر از ۵۰٪ باشد، داده‌ها برای روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب نخواهد بود و اگر مقدار آن بین ۵۰٪ تا ٦۹٪ باشد، نسبتاً مناسب و در صورتی که مقدار این شاخص، بزرگ‌تر از ۷۰٪ باشد همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب خواهند بود. این عامل به کمک ضرایب همبستگی ساده[۵] و جزیی[٦] طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه (۱)
$$kmo = \frac{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} a_{ij}^2} \; i \neq j$$

که در آن r_{ij} ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای i و j، a_{IJ} ضریب همبستگی جزیی بین متغیرهای i و j و p برابر با تعداد متغیرهای می‌باشد (Sheykholeslami et al., 2014: 420).

در مرحله بعد ابتدا مؤلفه‌های اصلی (PC) فراسنج‌های (متغیرها) مورد استفاده برای محاسبه تبخیر و تعرق را به‌دست می‌آوریم. برای این منظور ابتدا آرایه همبستگی بین متغیرها ایجاد شده و سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه این آرایه محاسبه می‌شود.

هر مؤلفه، ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه می‌باشد و با رابطه (۲) مشخص می‌شود:

رابطه (۲)
$$pc_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \cdots + a_{ip}x_p$$

4- Kaiser-Meyer-Olkin
5- Simple correlation coefficients
6- Partial correlation coefficients

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

که در آن pc_i i امین مؤلفه مورد نظر، a_{ip} i امین بردار ویژه متناظر با p امین مؤلفه x_p p امین متغیر اصلی می‌باشد. با انتخاب چند مؤلفه اصلی اول، سایر مؤلفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شوند. از نمودار (اسکری پلات[۷]) که در آن مقادیر ویژه در مقابل شماره مؤلفه‌ها رسم می‌شود، برای تشخیص آستانه حذف استفاده می‌شود (Sheykholeslami et al., 2014: 420).

به منظور ساده کردن ساختار مؤلفه‌ها و تفسیرپذیر کردن آن‌ها از چرخش داده‌ها استفاده می‌شود. این امر اجازه می‌دهد که مؤلفه‌ها از یکدیگر بازشناخته شوند. راه‌های گوناگونی برای دوران داده‌ها وجود دارد، یکی از متداول‌ترین روش ها، روش دوران متعامد واریماکس است (Mansourfar, 2009: 309-313).

- مدل رگرسیون خطی چندگانه

در مرحله بعد با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه، ارتباط بین مؤلفه‌های اصلی با مقدار تبخیر و تعرق و همچنین ارتباط بین فراسنج‌های مورد استفاده با تبخیر و تعرق مدل‌سازی می‌گردد. در این مدل‌سازی‌ها، مقادیر مؤلفه‌های اصلی (PC) به‌عنوان متغیرهای مستقل (برآورد کننده) و مقادیر تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن-مانتیث به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگرسیون خطی چندمتغیره می‌گردد.

همچنین برای ارزیابی نتایج مدل‌های خطی به‌دست آمده از میانگین مربعات خطا (RMSE[۸])، رابطه (۳)، خطای مطلق میانگین (MAE)[۹]، رابطه (٤)، ضریب نش-ساتکلیف (N. S)[۱۰]، رابطه (۵) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Mohammadi Moghadam et al, 2013: 4).

رابطه (۳)
$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(q_i - o_i)^2\right)^{0.5}$$

رابطه (٤)
$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|q_i - o_i|$$

رابطه (۵)
$$N.S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(q_i - \bar{o_i})^2}$$

در این روابط، N: تعداد نمونه‌ها، q_i: مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر و تعرق با استفاده از مدل، o_i: مقادیر محاسبه شده تبخیر و تعرق با استفاده از فرمول فائو پنمن-مانتیث می‌باشد.

7- Scree plot
8- Root Mean Square Error
9- Mean Absolute Error
10- Nash-Nash-Set Glyph

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

یافته‌ها و بحث

نتایج ارزیابی مناسب بودن روش PCA برای انجام تحقیق با استفاده از مقدار فراسنج kmo نشان داد که مقدار این عامل در ایستگاه تبریز برابر ۰/۷۹ و در ایستگاه اردبیل برابر با ۰/٦٤ می‌باشد که باتوجه به بزرگ‌تر بودن این مقادیر از ۰/۵، نشان می‌دهد روش PCA برای انجام این تحقیق مناسب است. آرایه همبستگی متغیرهای اولیه برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است. همبستگی معنی‌دار بین بیش‌تر متغیرها نیز به نوعی می‌تواند مناسب بودن روش تحلیل مؤلفه اصلی برای تحلیل داده‌ها را نشان دهد. بیش‌ترین همبستگی‌ها بین دماهای هوا مشاهده می‌شود که امری طبیعی می‌باشد. همبستگی بین سرعت باد با دیگر فراسنج‌ها کم بوده که با توجه به این‌که باد تحت تأثیر شیو دما در مقیاس منطقه‌ای ایجاد می‌شود منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۱- آرایه متقارن همبستگی بین فراسنج‌های مورد استفاده در ایستگاه همدید تبریز

Table 1- Symmetric correlation between the parameters used in Tabriz station

	کمینه دما	بیشینه دما	میانگین دما	ساعات آفتابی	رطوبت نسبی	سرعت باد در ارتفاع دو متری	بارش
کمینه دما	۱/۰۰۰	۰/۹٦۱	۰/۹۸۱	۰/۵٤۵	-۰/۷۲٦	۰/۳۰۳	-۰/۰۵۸
بیشینه دما	۰/۹٦۱	۱/۰۰۰	۰/۹۹۲	۰/٦۷۱	-۰/۸۱٦	۰/۲٦٤	-۰/۱٤۳
میانگین دما	۰/۹۸۱	۰/۹۹۲	۱/۰۰۰	۰/٦۳۰	-۰/۷۹٤	۰/۲۷٦	-۰/۱۱۹
ساعات آفتابی	۰/۵٤۵	۰/٦۷۱	۰/٦۳۰	۱/۰۰۰	-۰/۷۲۰	۰/۱٦۰	-۰/۳۱۲
رطوبت نسبی	-۰/۷۲٦	-۰/۸۱٦	-۰/۷۹٤	-۰/۷۲۰	۱/۰۰۰	-۰/۲٤۷	-۰/۳۳۲
سرعت باد در دو متری	۰/۳۰۳	۰/۲٦٤	۰/۲۷٦	۰/۱٦۰	-۰/۲٤۷	۱/۰۰۰	۰/۰۳۰
بارش	-۰/۰۵۸	-۰/۱٤۳	-۰/۱۱۹	-۰/۳۱۲	۰/۳۳۲	۰/۰۳۰	۱/۰۰۰

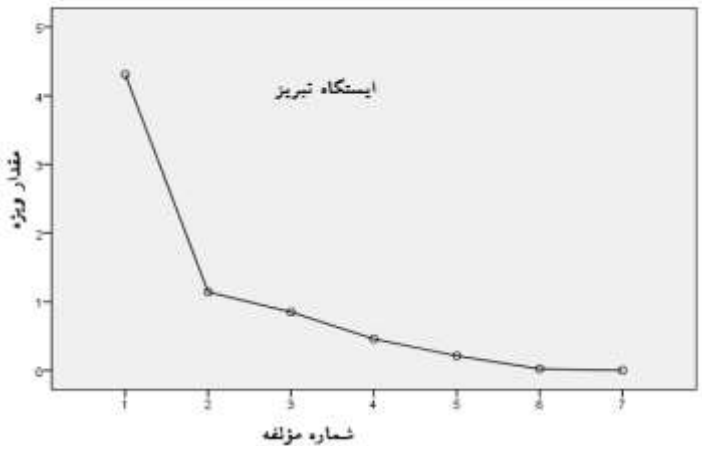
جدول ۲- آرایه متقارن همبستگی بین فراسنج‌های مورد استفاده در ایستگاه همدید اردبیل

Table 2- Symmetric correlation between the parameters used in Ardabil station

	بیشینه دما	کمینه دما	میانگین دما	ساعات آفتابی	رطوبت نسبی	سرعت باد در ارتفاع دو متری	بارش
بیشینه دما	۱/۰۰۰	۰/۸۰٦	۰/۹٦٦	۰/٦۰۰	-۰/٤۵۵	-۰/۰۰۲	-۰/۱۸٦
کمینه دما	۰/۸۰٦	۱/۰۰۰	۰/۹۱۰	۰/۲۵۹	-۰/۱٦٤	۰/۱۸۲	۰/۰۳٦
میانگین دما	۰/۹٦٦	۰/۹۱۰	۱/۰۰۰	۰/۵۰٦	-۰/۳۸۸	۰/۰۹۰	-۰/۱٤٤
ساعات آفتابی	۰/٦۰۰	۰/۲۵۹	۰/۵۰٦	۱/۰۰۰	-۰/۵۰۵	-۰/۱۰۰	-۰/۳۳۰
رطوبت نسبی	-۰/٤۵۵	-۰/۱٦٤	-۰/۳۸۸	-۰/۵۰۵	۱/۰۰۰	-۰/۲۷۹	۰/۲۷۷
سرعت باد در دو متری	-۰/۰۰۲	۰/۱۸۲	۰/۰۹۰	-۰/۱۰۰	-۰/۲۷۹	۱/۰۰۰	-۰/۰۱۵
بارش	-۰/۱۸٦	-۰/۰۳٦	-۰/۱٤٤	-۰/۳۳۰	۰/۲۷۷	-۰/۰۱۵	۱/۰۰۰

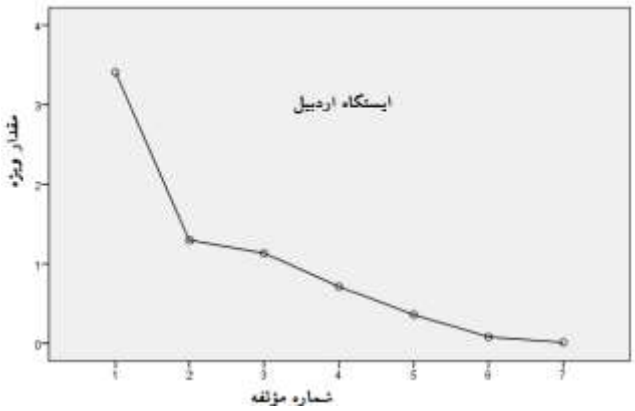
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

شکل‌های (۲ و ۳) تعداد مؤلفه‌های اصلی را در برابر مقادیر ویژه (نمودار واریزه‌ای)، به‌ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل نشان می‌دهد. برای تعیین تعداد مؤلفه‌های اصلی از اصل تبیین بیش از ۱ درصد نیز استفاده می‌شود ولی استفاده از نمودار واریزه‌ای روش اصولی‌تر می‌باشد که در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است (Cattell, 1966; Cia, 2015; Zou et al., 2017). بر اساس این دو نمودار تعداد مناسب مؤلفه‌های اصلی برای ایستگاه تبریز ۲ و برای ایستگاه اردبیل ۳ می‌باشد. مطابق جداول (۳ و ٤) این مؤلفه‌ها به‌ترتیب حدود ۷۸ و ۸۳ درصد از تغییرات فراسنج‌ها مورد استفاده برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه در دو ایستگاه تبریز و اردبیل را توجیه می‌کنند.



شکل ۲: نمودار واریزه‌ای (Scree Plot) در ایستگاه تبریز

Figure 2: Scree plot at tabriz station



شکل ۳: نمودار واریزه‌ای (Scree Plot) در ایستگاه اردبیل

Figure 3: Scree plot at Ardebil station

مقادیر بردار ویژه برای دو ایستگاه مورد مطالعه در جداول (۳ و ٤) ارائه شده است. مطابق این جداول مقدار اولین مؤلفه (مقدار ویژه اول) برای ایستگاه تبریز برابر با ٤/۳۰ می‌باشد که حدود ٦۲ درصد از کل پراش داده‌های این ایستگاه را توجیه می‌کند. دومین مقدار ویژه این ایستگاه ۱٦/۳۲ درصد از کل پراش داده‌های آن را شامل می‌گردد و این دو

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مؤلفه در مجموع ۷۸ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی این ایستگاه را بیان می‌کنند؛ بنابراین در ایستگاه تبریز، می‌توان دو مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه اصلی انتخاب کرد و مقدار اولین مؤلفه ایستگاه اردبیل، برابر با ۳/٤۰ می‌باشد که ٤۸/٦۷ درصد از کل پراش داده‌های این ایستگاه را در برمی‌گیرد. دومین مقدار ویژه این ایستگاه ۱۸/۵۰ درصد از کل پراش داده‌ها و سومین مقدار ویژه آن حدود ۱٦ درصد از کل پراش داده‌ها را شامل می‌گردد و این سه مؤلفه در مجموع ۸۳/۳۵ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی این ایستگاه را توجیه می‌کنند. Sheykholeslami et al نیز در ایستگاه مشهد دو مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفتند. این دو مؤلفه ۸۷/٦۲ درصد از پراکندگی داده‌ها را بیان می‌کردند. Seyfi et al (2010) نیز در ایستگاه کرمان برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه که ۸۰ درصد از پراش را توجیه می‌کرد، به‌دست آوردند.

جدول ۳- مشخصات مقادیر ویژه حاصل از فراسنج‌ها در ایستگاه همدید تبریز

Table 3- Characteristics of eigenvalues obtained from the parameters in Tabriz station

مقادیر ویژه اولیه			
مؤلفه	کل	درصد از پراش	درصد تجمعی
۱	٤/۳۰	٦۱/۵۵	٦۱/۵۵
۲	۱/۱٤	۱٦/۳۲	۷۷/۸۸
۳	۰/۸۵	۱۲/۱۵	۹۰/۰٤
٤	۰/٤۵	٦/۵٤	۹٦/۵۸
۵	۰/۲۱	۳/۰٤	۹۹/٦۲
٦	۰/۰۲	۰/۳۲	۹۹/۹۵
۷	۰/۰۰۳	۰/۰۵	۱۰۰/۰۰

جدول ٤- مشخصات مقادیر ویژه حاصل از فراسنج‌ها در ایستگاه همدید اردبیل

Table 4- Characteristics of eigenvalues obtained from the parameters in Ardabil station

مقادیر ویژه اولیه			
مؤلفه	کل	درصد از پراش	درصد تجمعی
۱	۳/٤۰	٤۸/٦۷	٤۸/٦۷
۲	۱/۲۹	۱۸/۵۰	٦۷/۱۷
۳	۱/۱۳	۱٦/۱۷	۸۳/۳۵
٤	۰/۷۱	۱۰/۱۷	۹۳/۵۳
۵	۰/۳٦	۵/۱٤	۹۸/٦۷
٦	۰/۰۸	۱/۱٦	۹۹/۸٤
۷	۰/۰۱	۰/۱۵	۱۰۰/۰۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

در جداول (۵ و ٦) مقادیر بردارهای ویژه مربوط به ایستگاه تبریز و اردبیل آورده شده است که ضرایب هر مؤلفه (PC) را برای محاسبه آن‌ها تعیین می‌کند. مطابق رابطه (۲) برای تشکیل مؤلفه اول (PC1) بایستی مقادیر متغیر فراسنج ها را در بردارهای ویژه مربوط به هر متغیر ضرب نموده و حاصل را با هم جمع کرد.

جدول ۵- بردارهای ویژه مربوط به ایستگاه تبریز

Table 5- Eigenvectors of Tabriz station

مؤلفه‌ها		
فراسنج‌ها	۱	۲
بیشینه دما	۰/۹۷۳	۰/۰۹۸
کمینه دما	۰/۹٦۵	۰/۱۳۹
میانگین دما	۰/۹۲۷	۰/۲۲۷
ساعات آفتابی	-۰/۸۹۳	۰/۱۷۸
رطوبت نسبی	۰/۷٦۸	-۰/۲۹٦
سرعت باد در ارتفاع دو متری	-۰/۲۵۲	۰/۸۵۱
بارش	۰/۳٤۵	۰/٤٦۷

جدول ٦- بردارهای ویژه مربوط به ایستگاه اردبیل

Table 6- Eigenvectors of Ardabil station

مؤلفه‌ها			
فراسنج‌ها	۱	۲	۳
بیشینه دما	۰/۹۵۹	۰/۱٤۹	-۰/۱۳٦
کمینه دما	۰/۹۵۳	۰/۲۷۵	-۰/۰٤٦
میانگین دما	۰/۸۱۰	۰/۵۰٦	۰/۰۵۵
ساعات آفتابی	۰/٦۸٦	-۰/٤٤٤	-۰/۲٦۵
رطوبت نسبی	۰/۵۸۵	۰/۵۱٦	-۰/۳٤۱
سرعت باد در ارتفاع دو متری	-۰/۳۰٦	۰/٦۹۰	۰/۰٦٤
بارش	۰/۱۳۸	۰/۰۲۱	۰/۹۵۸

روابط (٦ و ۷) معادله‌های حاصل از ضرایب موجود در جدول (۵) برای محاسبه دو مؤلفه اصلی ایستگاه تبریز را نشان می‌دهند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

رابطه (٦)

$$PC_1 = (0.973 \times Tmax) + (0.927 \times Tmin) + (0.965 \times Tmean) + (-0.893 \times RH) + (0.768 \times Rs) + (0.345 \times U2) + (-0.252 \times P)$$

رابطه (۷)

$$PC_2 = (0.098 \times Tmax) + (0.227 \times Tmin) + (0.139 \times Tmean) + (0.178 \times RH) + (-0.296 \times Rs) + (0.467 \times U2) + (0.851 \times P)$$

روابط (۸، ۹ و ۱۰) نیز مؤلفه‌های اصلی سه گانه را برای ایستگاه اردبیل نشان می‌دهد که بر اساس ضرایب جدول (٦) محاسبه شده‌اند.

رابطه (۸)

$$PC_1 = (0.959 \times Tmax) + (0.810 \times Tmin) + (0.953 \times Tmean) + (-0.686 \times RH) + (0.585 \times Rs) + (0.138 \times U2) + (-0.306 \times P)$$

رابطه (۹)

$$PC_2 = (0.149 \times Tmax) + (0.506 \times Tmin) + (0.275 \times Tmean) + (-0.444 \times RH) + (0.516 \times Rs) + (0.021 \times U2) + (0.690 \times P)$$

رابطه (۱۰)

$$PC_3 = (-0.136 \times Tmax) + (0.055 \times Tmin) + (-0.046 \times Tmean) + (-0.265 \times RH) + (-0.341 \times Rs) + (0.958 \times U2) + (0.064 \times P)$$

با استفاده از روابط به‌دست آمده برای مؤلفه‌های اصلی در هر ایستگاه مقادیر مؤلفه‌ها برای هر روز محاسبه گردید که نتیجه آن برای ایستگاه تبریز تولید دو و برای ایستگاه اردبیل تولید سه سری زمانی جدید است که در اصل می‌توانند جایگزین سری‌های داده‌های اصلی شوند. چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام فراسنج‌های اولیه استفاده می‌شود، بنابراین برای تفسیر ساده‌تر همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی با فراسنج‌های مورد استفاده و همچنین تبخیر و تعرق، آرایه همبستگی به روش واریماکس دوران داده شد. این چرخش باعث می‌شود همبستگی بین فراسنج‌های ورودی با مؤلفه‌های اصلی آشکارتر شود، بنابراین می‌توان با دقت بیش‌تری تشخیص داد که هر یک از مؤلفه‌های اصلی متاثر از کدام یک از فراسنج‌های ورودی می‌باشد. جداول (۷ و ۸) به‌ترتیب مؤلفه‌های اصلی دوران یافته به روش واریماکس در ایستگاه‌های تبریز و اردبیل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول (۷) مؤلفه اصلی اول (PC1) در ایستگاه تبریز بیش‌ترین همبستگی را با دمای هوا (کمینه، بیشینه و میانگین) و پس از آن با رطوبت نسبی و مقدار تابش نشان می‌دهد ولی دو فراسنج بارش و سرعت باد با مؤلفه اصلی دوم (PC2) همبستگی بیش‌تری نشان می‌دهند. به همین دلیل بیش‌ترین همبستگی تبخیر و تعرق بالقوه در این ایستگاه با مؤلفه اصلی اول می‌باشد (۰/۷٤). با توجه به این‌که مؤلفه اول با فراسنج دما، رطوبت نسبی و مقدار تابش بیش‌ترین همبستگی را نشان داد می‌توان نتیجه گرفت که تبخیر و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تعرق نیز به این فراسنج‌ها حساسیت بیش‌تری نسبت به فراسنج‌های دیگر دارد. در ایستگاه اردبیل جدول (۸) نیز بیش‌ترین همبستگی بین تبخیر و تعرق بالقوه و مؤلفه اصلی اول و به مقدار ۰/۷٦ به‌دست آمد. این مؤلفه همبستگی بالایی با فراسنج دما (کمینه، بیشینه و میانگین) دارد که نشان می‌دهد تبخیر و تعرق در این ایستگاه بیش‌تر تحت تأثیر فراسنج دما است تا فراسنج‌های دیگر. همبستگی مؤلفه دوم با تبخیر و تعرق ضعیف می‌باشد که دلیل آن همبستگی منفی بالا بین مقدار تابش با این مؤلفه است که منجر به تضعیف اثر مثبت بارش و رطوبت نسبی شده است.

جدول ۷- مقادیر همبستگی بین فراسنج‌های مورد استفاده در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با مؤلفه‌های اصلی دوران یافته در ایستگاه تبریز

Table 7- Correlation values between the parameters used to calculate the reference evapotranspiration with the rotated principal component in Tabriz station

مؤلفه‌ها		
فراسنج‌ها	۱	۲
بیشینه دما	۰/۹۷۵	۰/۰۷٤
میانگین دما	۰/۹٦۸	۰/۱۱٦
کمینه دما	۰/۹۳۲	۰/۲۰۵
ساعات آفتابی	-۰/۸۸۹	۰/۱۹۹
رطوبت نسبی	۰/۷٦۱	-۰/۳۱٤
سرعت باد در دو متری	-۰/۲۳۱	۰/۸۵۷
بارش	۰/۳۵٦	۰/٤۵۹
تبخیر و تعرق بالقوه	۰/۷۳۵	۰/۲۱۸

جدول ۸- مقادیر همبستگی بین فراسنج‌های مورد استفاده در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با مؤلفه‌های اصلی دوران یافته در ایستگاه اردبیل

Table 7 - Correlation values between the parameters used to calculate the reference evapotranspiration with the rotated principal component in Ardabil station

مؤلفه‌ها			
فراسنج‌ها	۱	۲	۳
میانگین دما	۰/۹۷۰	-۰/۲۰٦	۰/۰۵۰
کمینه دما	۰/۹٤۵	۰/۰۷۰	۰/۱۳٤
بیشینه دما	۰/۹۲۳	-۰/۳۲٦	-۰/۰۳۹
ساعات آفتابی	۰/۰۵۲	۰/۷۵۵	۰/۰۲۹
رطوبت نسبی	۰/٤۱۵	-۰/۷۲۷	-۰/۱۹۲
سرعت باد در دو متری	-۰/۲٤۰	۰/۷۱۲	-۰/٤۰۲
بارش	۰/۰٤۷	۰/۰۰٤	۰/۹٦۷
تبخیر و تعرق بالقوه	۰/۷٦۲	-۰/۱٤۵	۰/۳۳٤

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

Ikudayisi & Adeyemo (2016) در مطالعه خود روی نواحی نیمه‌خشک جنوب آفریقا بیان کردند که دمای کمینه، دمای بیشینه و سرعت باد در مؤلفه اول دارای بارگذاری بیش‌تری هستند و به عبارت دیگر تبخیر و تعرق با افزایش درجه حرارت و سرعت باد، افزایش می‌یابد. در یک مطالعه در ایستگاه کرمان (Seyfi et al., 2010) نیز همبستگی متغیر سرعت باد در مؤلفه اول با تبخیر و تعرق کم و با دمای بیشینه و رطوبت نسبی زیاد گزارش شده است.

- ساخت مدل رگرسیونی

در این بخش دو مدل رگرسیونی ساخته شده است؛ یکی بین مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه و مقادیر مؤلفه‌های اصلی (رابطه ۱۱ و ۱۲) و دیگری بین تبخیر و تعرق بالقوه و فراسنج‌های مؤثر در آن (رابطه ۱۳ و ١٤). برای این منظور داده‌ها به دو بخش تقسیم گردید از بخش اول برای واسنجی و از بخش دوم برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شد.

جهت مدل‌سازی، مقادیر مؤلفه‌های به‌دست آمده برای ایستگاه تبریز (PC_1 و PC_2) و برای ایستگاه اردبیل (PC_1، PC_2 و PC_3) به‌عنوان متغیرهای مستقل (برآورد کننده) و مقادیر تبخیر و تعرق به روش فائو-پنمن مانتیث به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگرسیون خطی چندگانه گردید و رابطه (۱۱ و ۱۲) به‌ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل به‌دست آمد:

$$ET0 = 2.479 + (1.445 * PC1) + (.370 * PC2)$$ رابطه (۱۱)

$$ET0 = 3.639 + (2.317 * PC1) + (-.40 * PC2) + (.947 * PC3)$$ رابطه (۱۲)

رابطه‌های (۱۳ و ١٤) نیز مدل رگرسیونی بین تبخیر-تعرق و فراسنج‌های مؤثر در آن برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل را نشان می‌دهد.

رابطه (۱۳)

$$ET0 = 1.327 + (0.021Tmax) + (0.195Tmin) + (-0.078Tmean) + (-0.007RH) + (0.020Rs) + (0.121U2) + (-0.004P)$$

رابطه (١٤)

$$ET0 = -0.590 + (0.117Tmax) + (0.124Tmin) + (0.031Tmean) + (0.00RH) + (0.026Rs) + (0.360U2) + (-0.006P)$$

در مرحله بعد این مدل‌ها از نظر کارایی برآورد تبخیر-تعرق مورد ارزیابی قرار گرفتند.

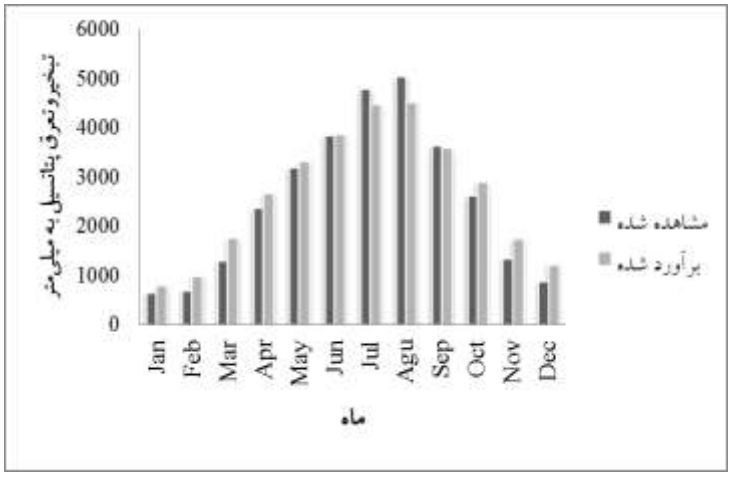
- ارزیابی کارآیی مدل‌های به‌دست آمده برای برآورد مقادیر تبخیر-تعرق بالقوه

اشکال (٤ و ٥) مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه حاصل از روش فائو پنمن-مانتیث و مقادیر برآورد شده توسط رابطه‌های به‌دست آمده از روش تحلیل مؤلفه اصلی رابطه‌های (۱۱ و ۱۲) را به‌ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل نشان

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

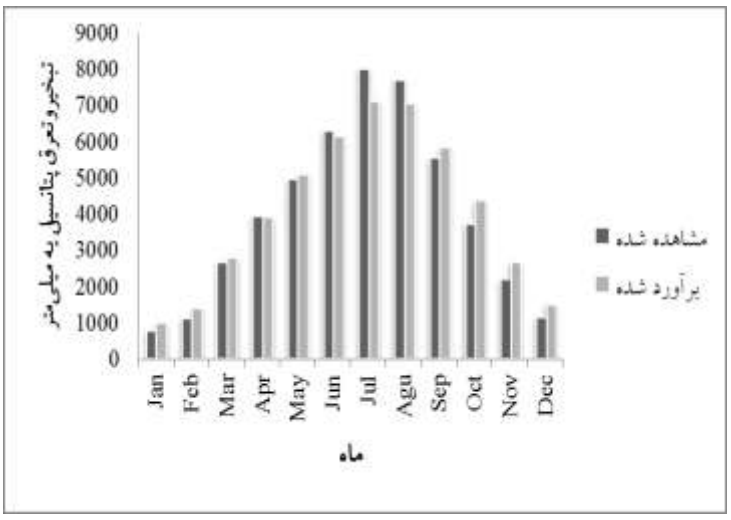
می‌دهد. به دلیل زیاد بودن تعداد داده‌های روزانه و ناواضح شدن نمودار روزانه، نمودارها به‌صورت ماهانه نمایش داده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد مقادیر مشاهداتی و به‌دست آمده توسط رابطه‌های (۱۱ و ۱۲) در تمامی ماه‌ها انطباق خوبی باهم دارند. ولی با توجه به این‌که تفسیر کیفی به تنهایی مناسب نمی‌باشد، نتایج به‌وسیله آماره‌های کمی آماری نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

در جدول (۹) معیارهای آماری جهت ارزیابی مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی (PC) برای دو ایستگاه تبریز و اردبیل در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی ارائه شده است. با مقایسه دو فراسنج ضریب تبیین و نش به عنوان دو عامل مهم می توان عنوان کرد که نتایج مدل در ایستگاه اردبیل نسبت به ایستگاه تبریز، عملکرد بهتری داشته ولی در کل نتایج برای هر دو ایستگاه از کارآیی خوبی برخوردار هستند.



شکل ٤: مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه فائو پنمن-مانتیث و مقادیر برآورد شده توسط رابطه (۱۱) برای ایستگاه تبریز

Figure 4: FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration and estimated values for tabriz station by equation 11



شکل ٥: مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه فائو پنمن-مانتیث و مقادیر برآورد شده توسط رابطه (۱۲) برای ایستگاه اردبیل

Figure 5: FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration and estimated values for ardabil station by equation 12

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۹- آماره‌های خطاسنجی مدل‌های به‌دست آمده بر اساس مؤلفه‌های اصلی برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل

Table 9- Scratch statistics of the obtained models based on principal component analysis for Tabriz and Ardabil stations

معیار	مرحله واسنجی		مرحله صحت‌سنجی	
	تبریز	اردبیل	تبریز	اردبیل
R^2	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/٦۹	۰/۷۳
MAD	۱/۰۷	۱/۲۲	۰/۸۸	۱/۱
RMSE	۱/٤	۱/٦	۱/۲۱	۱/۵
N.S	۰/٦۱	۰/۷۱	۰/٦۱	۰/۷۳

جدول (۱۰) مقادیر معیارهای ارزیابی را برای مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بالقوه براساس فراسنج‌های مؤثر در آن ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود در هر دو ایستگاه نتایج مدل در مرحله صحت سنجی بهتر از مرحله واسنجی می‌باشد که نشان دهنده توانایی مناسب مدل در برآورد تبخیر و تعرق بالقوه می‌باشد. در هر دو مرحله ارزیابی و در هر دو ایستگاه مقدار ضریب نش بیش‌تر از یک می‌باشد که بیانگر کارایی خوب مدل‌ها می‌باشد.

جدول ۱۰- آماره‌های خطاسنجی مدل‌های به‌دست آمده براساس فراسنج‌های مؤثر بر ET_0 برای ایستگاه‌های تبریز و اردبیل

Table 10- Scratch statistics of the obtained models based on the effective parameters on ET0 for Tabriz and Ardabil stations

معیار	مرحله واسنجی		مرحله صحت‌سنجی	
	تبریز	اردبیل	تبریز	اردبیل
R^2	۰/۵٦	۰/۷۲	۰/٦٦	۰/۷٤
MAD	۰/۸۹	۱/۱	۰/۸۲	۱
RMSE	۱/۳	۱/۵	۱/۱	۱/٤
N.S	۰/۵٦	۰/۷۲	۰/۵٦	۰/۷٤

با توجه به این‌که توان و قدرت یک مدل برای برآورد و پیش‌بینی، بستگی به نتایج بخش صحت سنجی دارد، با مقایسه این بخش از نتایج در دو روش برآورد تبخیر و تعرق بالقوه (روش استفاده از مؤلفه‌های اصلی و روش استفاده از فراسنج‌های مؤثر) می‌توان نتیجه گرفت که هر دو روش تقریبا توانایی نسبتاً یکسانی دارند. در ایستگاه تبریز اگرچه مقدار ضریب تبیین در روش مؤلفه‌های اصلی اندکی بیش‌تر از روش فراسنج‌های مؤثر است ولی مقادیر خطا نیز کمی بیش‌تر هستند ولی در ایستگاه اردبیل در این روش فراسنج‌های مؤثر مقدار ضریب تبیین اندکی بیش‌تر و مقادیر خطا نیز مقداری کم‌ترند، ولی در مجموع تفاوت بین مقادیر ضریب تبیین و خطا در هر دو ایستگاه مورد مطالعه و برای هر دو روش بسیار کم و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق به‌عنوان یک فراسنج مهم در برآورد آب مصرفی گیاه، بررسی روش‌های برآورد آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش به برآورد تبخیر و تعرق بالقوه در دو ایستگاه همدید تبریز و اردبیل با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) پرداخته شد. به این منظور از داده‌های روزانه ایستگاه‌های همدید تبریز و اردبیل به‌ترتیب واقع در استان آذربایجان‌شرقی و اردبیل استفاده شد. فراسنج‌های مورد استفاده شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، بارش و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین می‌باشند. از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کم کرد تعداد فراسنج‌ها و درنتیجه ساده کردن محاسبات استفاده شد. این روش با کاهش و حذف داده‌هایی که با هم همپوشانی دارند محاسبات مربوطه را کاهش می‌دهد (Wei et al., 2011). نتایج حاصل از مطالعات Sheykholeslami et al (2014)، Seyfi et al (2010) و Ikudayisi & Adeyemo (2016) نیز نشان‌دهنده توانایی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در کاهش متغیرهای ورودی و مشخص کردن متغیرهای مهم در برآورد تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد.

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که، در ایستگاه تبریز دو مؤلفه اول مجموعاً ۷۸ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی این ایستگاه را بیان می‌کنند و در ایستگاه اردبیل سه مؤلفه اول مجموعاً ۸۳ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی این ایستگاه را بیان می‌کنند. Mohan & Arumugam (1996) نیز با استفاده از رهیافت مؤلفه‌های اصلی نشان دادند سه مؤلفه اصلی اول بیش‌تر از ۸۵ درصد از تغییرات داده‌های خام را توجیه می‌کند و سه فراسنج رطوبت نسبی، دمای هوا و سرعت باد بیش‌ترین تأثیر را بر تبخیر و تعرق دارند. Wei et al (2011) نیز برای کم کردن تعداد فراسنج‌ها جهت محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه آکسوی چین از روش تحلیل مؤلفه اصلی استفاده کرد و نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول بیش از ۹٤ درصد از تغییرات فراسنج‌های اولیه را توجیه می‌کند. Ikudayisi & Adeyemo (2016) نیز نشان دادن که حدود ۸۳ درصد از تغییرات فراسنج‌های اولیه مؤثر بر تبخیر و تعرق در آفریقای جنوبی توسط دو مؤلفه اصلی اول توجیه می‌شوند.

مؤلفه اصلی اول در ایستگاه تبریز با دمای هوا و پس از آن با رطوبت نسبی و مقدار تابش بیش‌ترین همبستگی را نشان می‌دهد و دو فراسنج بارش و سرعت باد با مؤلفه اصلی دوم همبستگی بیش‌تری نشان دادند. در ایستگاه اردبیل نیز مؤلفه اصلی اول همبستگی بالایی با فراسنج دما (کمینه، بیشینه و میانگین) دارد و مؤلفه دوم نیز با ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد همبستگی نسبتاً بالایی دارد. نتایج Ikudayisi & Adeyemo (2016) در آفریقای جنوبی نیز حاکی از این بود که مؤلفه اصلی اول بیش‌ترین همبستگی را با فراسنج‌های دمای هوا و سرعت باد نشان می‌دهد و مؤلفه اصلی دوم با بارش و رطوبت نسبی بیش‌ترین همبستگی را دارد. Li et al (2009) نیز با استفاده از تکنیک مؤلفه‌های اصلی نشان دادند در صورتی که دما ثابت نگه داشته شود، ساعات آفتابی مؤثرترین عامل در تغییرات مقدار تبخیر در شمال چین خواهد بود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای دو ایستگاه تبریز و اردبیل مبنای تشکیل مدل‌های رگرسیونی چند متغیره برای برآورد تبخیر و تعرق قرار گرفتند. Wei et al (2011) از مدل رگرسیون خطی برای برآورد تبخیر و تعرق در چین، Tabari et al (2010) برای برآورد تبخیر از تشت در استان همدان و Ghahreman & Gharehkhani (2015) نیز برای برآورد تبخیر در چند ایستگاه منتخب کشور استفاده کردند که نشان دهنده کارایی خوب این روش در برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد.

نتایج ارزیابی این مدل‌ها برای دو ایستگاه تبریز و اردبیل نیز حاکی از توانایی قابل قبول آن‌ها برای برآورد تبخیر و تعرق روزانه در دو ایستگاه مورد مطالعه است. مقادیر ضریب نش به عنوان یک شاخص قوی در ارزیابی دقت مدل برای هر دو ایستگاه و در هر دو دوره واسنجی و صحت سنجی بیش‌تر از ۰/۵۵ به‌دست آمد که نشان دهنده قابل قبول مدل‌ها است. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که هر دو مدل توانایی مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق بالقوه در مقیاس روزانه در دو ایستگاه اردبیل و تبریز دارند. مقایسه نتایج بین دو ایستگاه حاکی از بهتر بودن مدل‌ها در ایستگاه اردبیل نسبت به ایستگاه تبریز است. مقادیر ضریب تبیین و نش در هر دو مدل و هر دو دوره واسنجی و صحت سنجی در ایستگاه اردبیل بیش‌تر از ایستگاه تبریز است. ولی مقایسه دو مدل مورد استفاده (مدل استفاده از مؤلفه‌های اصلی و مدل استفاده از فراسنج‌های مؤثر) توانایی نسبتاً یکسانی در برآورد تبخیر و تعرق بالقوه دارند و تفاوت بین مقادیر ضریب تبیین و مقادیر خطا در هر دو مدل بسیار کم و قابل صرف نظر کردن می‌باشند. Wei et al (2011) نیز از این دو مدل برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در چین استفاده کردند و نتیجه گرفتند هر دو مدل توانایی نسبتاً یکسانی در برآورد تبخیر و تعرق دارند ولی روش رگرسیون چند متغیره اندکی بهتر بر داده‌ها برازش داده شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Cai, W., Zhang, Y. Chen, Q., Yao, Y., (2015), "Spatial patterns and temporal variability of drought in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan areas in China", ***Advances in Meteorology***: 1-14.l
- Cattell, R. B., (1966), 'The scree test for the number of factors", ***Multivariate Behavioral Research.*** 1: 245-276.
- Ghahreman, N., Gharehkhani, A., (2015), "Classification of Iran's temperature trend using principal component analysis and cluster analysis", ***Journal of Geography and Development***, 4: 21-34. [In Persian].
- Ghahreman, N., Gharehkhani, A., (2015), "Comparison of artificial neural network and multiple regression methods in estimating evaporation pan and determining the most important factors of meteorology using principal component analysis", ***Journal of Watershed Research***, 106: 41-51. [In Persian].
- Ghayor, H., Montazeri, M., (2004), "Classification of Iran's temperature trend using principal component analysis and cluster analysis", ***Journal of Geography and Development***, 4: 21-34. [In Persian].
- Heydari, H., Alijani, B., (2000), "Climatic classification using multivariate statistical methods", ***geographical research quarterly***, 37: 57-74. [In Persian].
- Hou, L. G., Zou, S. B., Xiao, L. G., Yang, Y. G., (2013), "Sensitivity of the reference evapotranspiration to key climatic variables during the growing season in the Ejina oasis northwest China, ***Springer Plus***, 2: 1-6.
- Ikudayisi, A., Adeyemo, J., (2016), "Effects of different meteorological variables on reference evapotranspiration modeling: application of principal component analysis", ***International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering***, 6: 632-636.
- Kawachi, T., Maruyama, T., Singh, V. P., (2001), "Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan", ***Journal of Hydrology***, 246 (1-4): 36-44.
- Khodagholi, M., Masoudian, A., Kavyani, M., Kamali, GH., (2006), "Study of plant-climatology of Zayandehrud river basin", ***Research and construction***, 70: 41-53. [In Persian].
- Kutzbach, J. E., (1967), Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature and precipitation complexes over North America, ***Journal of Applied Meteorology***, 6 (5): 791-802.
- Li, T., Fu, Q., Xu, S., Meng, F., (2009), "Application of principal component analysis in evaluating influence factors of evaporation in Northern Cold Area", Fifth International Conference on Natural Computation, ICNC 2009, Tianjian, China, 14-16 August 2009, 6 Volumes.
- Lorenz, E. N., (1956), "Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction, Scientific Report No.1, Statistical Forecasting Project, MIT, Department of Meteorology.
- Mansourfar, K., (2009), "***Advanced statistical methods associated with computer programs***", Tehran: Tehran University Press. [In Persian].
- Masoudian, A., (2003), "Study the geographical distribution of rainfall in Iran using rotated factor analysis", ***Journal of Geography and Development***, 1: 79-88. [In Persian].
- Masoudian, A., (2009), "Precipitation regions of Iran", ***Journal of Geography and Development***, 13: 79-91. [In Persian].
- Mohammadi Moghadam, S., Mosaedi, A., Janghjo, M., Mesdaghi, M., (2013), "Modeling relationship between rainfall and drought using Yazd Nadoushan pasture", Second International

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

Conference on Plant, Soil, and Climate Modeling, Ordibehesht 18-19, Kerman University, pp 62-51. [In Persian].
- Mohan, S., Arumugam, N., (1996), "Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: Factor analysis approach", ***Water Resources Management***, 10: 1-20.
- Pandey, K. P., Dabral, P., Pandey, V., (2016), "Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India", ***International Soil and Water Conservation Research***, 4: 52-63.
- Raziei, T., Bordi, I., Pereira, L. S., (2008), "A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability", ***Hydrology and Earth System Sciences***,12: 1309-1329.
- Richman, B. M., Adrrianto, I., (2010), "Classification and regionalization through kernal principal component analysis, ***Physics and Chemistry of the Earth***, 35: 316-328.
- Seyfi, A., Mirlatifi, S. M., Riyahi, H., (2010), "Development of combined model of multiple regression - principal components and factors analysis (MLR-PCA) in the Forecast of reference evapotranspiration (Case Study: Kerman station)", ***Journal of Water and Soil Science***, 6: 1186-1196. [In Persian].
- Sheykholeslami, N., Ghahreman, B., Mosaedi, A., Davari, K., Mohajerpoor, M., (2014), "Propagation of ET0 for evapotranspiration using principal component analysis (PCA) and development of multiple linear regression model (MLR-PCA) (Case study: Mashhad station)", ***Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)***, 2: 420-429. [In Persian].
- Tabari, H., Marufi, S., Sabziparvar, A. A., (2010), "Estimation of daily pan evaporation using artificial neural network and multivariate non-linear regression", ***Irrig Sci***., 28: 399-406.
- Wei, G., Dong, X., Hu, A., (2011), "Discuss on reference crop evapotranspiration in arid zone based on principal component analysis", International Symposium on Water Resource and Environmental Protection, 20-22 May 2011, China.
- White, D., Richman, M., Yarnal, B., (1991), "Climate regionalization and rotation of principal components", ***International Journal of Climatology***, 11 (1): 1-25.
- White, F. J., Perry, A. H., (1989), "Classification of the climate of England and Wales based on agro climatic data", ***International Journal of Climatology***, 9: 271-289.
- Zotarelli, L., Dukes, D. M., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., Morgan, T. K., (2015), "Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method, AE 459 document, one of a series of the agricultural and biological engineering Department, UF/IFAS Extension, 1-10.
- Zou, L., Xia, J., She, D., (2017), "Drought characteristic analysis based on an improved PDSI in the Wei river basin of China", ***Water***, 9: 1-23.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]