

## مقایسه میدانی میزان تبخیر بین تشت تبخیر کلرادو سانکن و تشت تبخیر کلاس A (مطالعه موردی: شهر سمنان)

حمیدرضا قزوینیان، حجت کرمی\* و یاشار دادرس اجیرلو<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵)

### چکیده

یکی از روش‌های برآورد نرخ تبخیر، استفاده از انواع تشت‌های تبخیر است که می‌توان به ترتیب به دو تشت تبخیر استاندارد کلاس A کلرادو سانکن اشاره کرد. در این پژوهش به بررسی میزان تبخیر از دو تشت کلاس A و کلرادو سانکن و مقایسه آن‌ها با هم پرداخته شده است. مقایسه نرخ تبخیر از این دو تشت در شهر سمنان انجام شد. از تشت تبخیر کلرادو سانکن به عنوان تشت مورد آزمایش استفاده شد که این آزمایش در فضای کاملاً باز و در محیط اطراف دانشکده عمران دانشگاه سمنان واقع در شهر سمنان، صورت گرفت. تبخیر به صورت روزانه و به مدت ۱۲۳ روز از ۱ خرداد ۱۳۹۷ الی ۳۱ شهریور ۱۳۹۷ قرائت شد. مقدار تبخیر از تشت کلاس A از ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان که در فاصله ۲/۳۹ کیلومتری محل آزمایش بوده، تهیه شد و مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی بیشینه و کمینه دما، بیشینه و کمینه رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و فشار هوا نیز از ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان تهیه شد. پارامترهای هواشناسی با داده‌های تبخیر آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان تبخیر روزانه از تشت کلاس A و تشت کلرادو سانکن در بازه‌های زمانی مورد آزمایش تفاوت معناداری ندارند. بهترین توزیع آماری بر اساس روش کلموگروف-اسمیرنوف برای تشت تبخیر کلاس A و کلرادو مدفون به ترتیب Error با  $(k-s=0.05019)$  و Gamma با  $(k-s=0.05552)$  انتخاب شدند. میزان ضریب تبیین بین دو تشت حدود ۹۳ درصد برآورد شد. با بررسی نرخ تبخیر با سایر داده‌های هواشناسی، پی برده شد که نرخ تبخیر با بیشینه روزانه درجه حرارت دمای بیشترین ارتباط را دارد. ضریب پیرسون دمای بیشینه با تشت تبخیر کلاس A و تشت کلرادو سانکن به ترتیب ۰/۶۲۳ و ۰/۶۴۷ است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر، تشت تبخیر کلاس A، تشت تبخیر کلرادو سانکن، سمنان

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Hkarami@semnan.ac.ir

## مقدمه

در بسیاری از مناطق گرم و خشک، حجم زیادی از آب ذخیره شده در پشت سدها، استخرهای کشاورزی و مخازن ذخیره‌ای آب توسط پدیده تبخیر تلف می‌شوند (۹ و ۵۲). تبخیر نقش مهمی در مدیریت منابع آب منطقه، تغییرات اقلیمی و کشاورزی دارد (۱۳ و ۵۵). باتوجه به تغییرات جهانی آب‌وهوایی، پژوهشگران در مورد تبخیر در کل دنیا و ارزیابی آن برای شناسایی در چرخه هیدرولوژیک مطالعات زیادی انجام داده‌اند (۲۹ و ۴۰).

رشد و پیشرفت روش‌های محاسبه تبخیر از استخرهای ذخیره‌ای آب، آب پشت سدها و حتی دریاچه‌ها مورد توجه پژوهشگران در دهه‌های اخیر بوده و البته به دلیل پیچیدگی در ماهیت و اندازه‌گیری آن به عنوان یک چالش مهم مطرح بوده است (۳۹). دقت در برآورد میزان تبخیر در برنامه پژوهش‌های تغییر محیط زیست جهانی، مدیریت منابع آب در حوضه‌ها و همچنین در توسعه پایدار کشاورزی مطرح است (۲۷)؛ بنابراین تبخیر مخازن، دریاچه‌ها و استخرها در مدیریت آب بسیار اثر گذار است (۳۶ و ۵۸).

تبخیر و برآورد آن کاربردهای زیادی در علوم مهندسی، هیدرولوژی، و کشاورزی دارد. پژوهش‌های السومایی (۲)، اشرفزاده و همکاران (۳)، قربانی و همکاران (۲۱)، گوون و کیشی (۲۲)، ملیک و کومار (۲۶)، نورانی و سیاح فرد (۴۲)، پتل و همکاران (۴۳)، پیری و همکاران (۴۴) و سینگ و همکاران (۴۹) به برآورد روش‌های مختلف تبخیر پرداخته‌اند. یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای اندازه‌گیری آن، استفاده از تشت تبخیر (Epan) است (۹، ۳۱ و ۴۶) که در بسیاری از سازمان‌های مختلف استفاده می‌شود (۵۰). پژوهش‌هایی در زمینه مقایسه اندازه‌گیری میدانی تبخیر نیز انجام شده است. در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

جیالیان و همکاران (۲۶) تبخیرسنج‌هایی را در خاک و در معرض هوا، در ایستگاه دریاچه نانسی قرار داده و به بررسی میزان تبخیر در این نوع تشت‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که

دستگاه‌های مدفون مانند E601 و GGI-3000، مقادیر تبخیر بیشتری را در مقایسه با دستگاه‌های در معرض هوا مانند کلاس A و  $\phi 20$  داشتند.

فیو و همکاران (۱۱) ۱۵ نوع تبخیرسنج را با یک مخزن تبخیر ۲۰ مترمربعی مقایسه کرد و دریافتند که مقادیر ضریب تصحیح از 0.6 برای تشت تبخیر از  $\phi 20$  تا ۱/۰۷ برای تشت تبخیر E601B تغییر می‌کند.

مسونر و همکاران (۳۷) در پژوهشی به مقایسه نرخ تبخیر در تشت تبخیر شناور با نرخ تبخیر کلاس A پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از یک تشت تبخیر شناور می‌تواند شبیه‌ساز بهتری برای برآورد تبخیر سطح آب نسبت به تشت کلاس A داشته باشد. لیو و همکاران (۳۵) به مقایسه میزان تبخیر تشت و تبخیر واقعی با Land surface model در منطقه Xinjing چین از سال ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۵ پرداختند. با بررسی پارامترهای آب‌وهوایی، تبخیر تشت و تبخیر واقعی می‌توانند مکمل همدیگر باشند. همچنین نتایج حاصل از تشت تبخیر و تبخیر واقعی همبستگی زیادی با دمای روزانه، سرعت باد و رطوبت نسبی دارند که این نتیجه با نتایج پژوهش‌هایی نظیر مقدم نیا و همکاران (۴۱)، نورانی و سیاح فرد (۴۲)، سیمبا و متوروها (۴۷)، تراوره و همکاران (۵۳)، تراوره و همکاران (۵۴)، وانگ و همکاران (۵۵) مطابقت دارد.

چو و همکاران (۶) به مقایسه دو تشت کلاس A که یک تشت در شرایط کاملاً استاندارد و دارای رنگ اصلی گالوانیزه و دیگری با رنگ سفید پرداختند. تمامی پارامترهای هواشناسی برای دو تشت یکسان بود. نتیجه این پژوهش نشان داد که میزان تبخیر در تشت کلاس A سفید ۷۵ درصد تشت تبخیر استاندارد بود.

لی و همکاران (۳۴) دو نوع تشت تبخیر را در هشت منطقه در چین با کمک ضریب همبستگی ( $R^2$ ) مقایسه کردند. همچنین به بررسی توزیع مکانی و ضریب تبدیل تشت‌ها در مناطق مورد پرداختند. تشت‌های مورد بررسی E601B و  $\phi 20$  بودند که از تشت‌های معمول مورد استفاده در ایستگاه‌های هواشناسی کشور چین هستند. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر Kp

روی تبخیر پرداخته شده است ۴- نتیجه گیری می‌شود که میزان تبخیر در تشت استاندارد کلرادو مدفون که مورد آزمایش قرار گرفته است، چه مقدار تفاوتی با تشت استاندارد کلاس A ایستگاه سینوپتیک دارد و بررسی می‌شود که آیا تفاوت معناداری بین این دو تشت وجود دارد یا خیر.

## مواد و روش‌ها

### محل مورد مطالعه

اندازه‌گیری تبخیر در شهر سمنان که در شمال شرقی کشور ایران واقع شده است، صورت گرفت. اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تشت تبخیر استاندارد کلرادو مدفون در ضلع شمالی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان و در فضای کاملاً باز پشت دانشکده با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح آزاد آب ۱۱۴۹ متر انجام شد (۱۸). داده‌های تشت تبخیر استاندارد کلاس A از ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان که نزدیک‌ترین ایستگاه به محل آزمایش‌ها بوده و در فاصله ۲/۳۹ کیلومتری از محل آزمایش است، تهیه شده است. ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان دارای طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه بوده و ارتفاع آن از سطح آزاد آب ۱۱۲۷ متر است. همچنین کلیه داده‌های نظیر درجه حرارت (T)، سرعت باد (WS)، ساعات آفتابی (SH)، فشار هوا (PA) و رطوبت نسبی (RH) نیز از ایستگاه سینوپتیک سمنان تهیه شد. در شکل ۱ نقشه شهر مورد مطالعه را نشان داده شده است.

به منظور طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان از روش دومارتن استفاده شد و مطابق با این روش مقدار شاخص خشکی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۰).

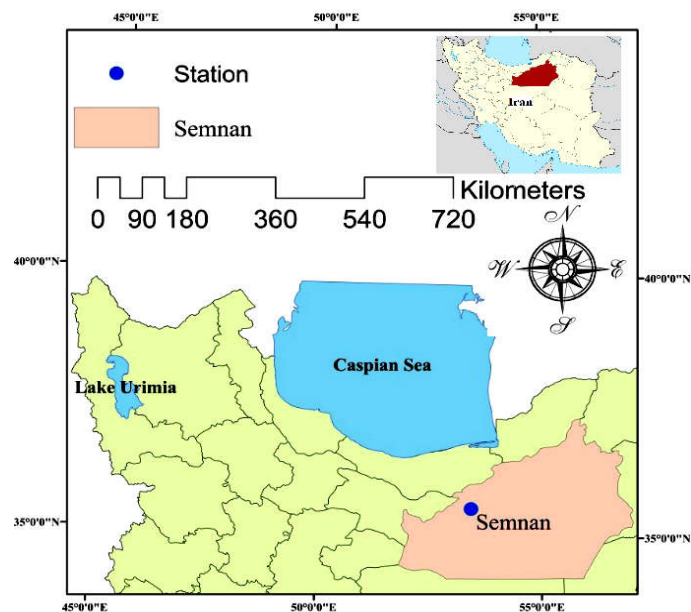
$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

در رابطه ۱، P بیانگر متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر، T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و I ضریب خشکی (ضریب دومارتن) است. روش دومارتن

بیشتر در مناطق جنوب غربی و مقادیر کمتر در مناطق شمال شرقی در طول فصول گرم یافت شد، در حالی که مقادیر Kp در فصول گرم کمتر از فصول سرد است. علاوه بر این، تشعشع خالص عامل آب‌وهوایی غالب است که بر تغییرات Kp و به دنبال آن رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار تأثیر می‌گذارد.

واتی و همکاران (۵۶) در یک پژوهشی به ارزیابی و مقایسه داده‌های تبخیر تشت (E<sub>Pan</sub>)، تبخیر سطح زمین جهانی: روش آمستردام (Global landsurface evaporation: the amsterdam methodology) (GLEAM) (E<sub>G</sub>) و تبخیر بالقوه GLEAM (E<sub>P</sub>) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ و با کمک روش‌های آماری پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی بین (E<sub>Pan</sub>) با GLEAM (E<sub>P</sub>) بیشتر از (E<sub>Pan</sub>) با (E<sub>G</sub>) است. قزوینیان و همکاران (۱۷) به بررسی و مقایسه تبخیر از تشت کلرادو مدفون و تشت کلرادو مدفون حاوی ورق MDF پرداختند. نتایج نشان داد که میزان تبخیر از تشت حاوی MDF، ۹۱ درصد کمتر از تشت کلرادو مدفون بود. قزوینیان و همکاران (۱۹) با قرار دادن پوشش‌های مختلف نظیر پلی‌استایرن، چوب و موم مصنوعی عسل بر تشت تبخیر کلرادو مدفون، به اندازه‌گیری تبخیر و به مقایسه میزان تبخیر از تشت شاهد با تشت دارای پوشش‌ها پرداختند. نتایج نشان داد میزان تبخیر در تشت حاوی پلی‌استایرن کمتر از تبخیر در تشت‌های دیگر و تشت شاهد بود.

باتوجه به مطالعاتی که در زمینه روش‌های مختلف برآورد تبخیر انجام شده است و مقایسه این روش‌ها با هم صورت گرفته است، سعی شد در این مقاله به مقایسه داده‌های تبخیر دو تشت استاندارد کلاس A و کلرادو مدفون که هر دو تشت، از رایج‌ترین تشت‌های مورداستفاده در اندازه‌گیری نرخ تبخیر در دنیا است، پرداخته شود. در پژوهش حاضر موارد زیر بررسی شد: ۱- یک روش برای دستیابی به نرخ تبخیر روزانه با استفاده از تشت تبخیر استاندارد کلرادو مدفون می‌پردازد. ۲- نرخ تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت تبخیر کلرادو مدفون را با تشت تبخیر استاندارد کلاس A ایستگاه سینوپتیک که در نزدیکی هم قرار دارند را مقایسه می‌کند. ۳- به بررسی عوامل مانند: درجه حرارت، سرعت باد، ساعات آفتابی، فشار هوا و رطوبت نسبی بر



شکل ۱. عکس هوایی از منطقه تحقیقاتی و ایستگاه سینوپتیک سمنان

باشد (۳۳). سطح بیرونی تشت را با قیر اندود می‌کنند. آب تشت هم تراز سطح خاک یا کمی پایین‌تر از آن یعنی در ارتفاع ۵ تا ۵/۷ سانتی‌متر از لبه تشت نگهداری می‌شود (۵۱). در شکل ۲ تصویر تشت تبخیر استاندارد کلاس A و تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن آورده شده است.

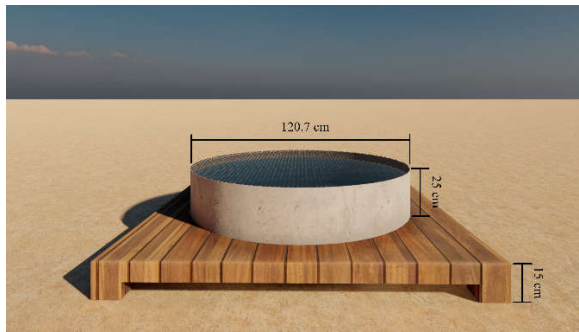
### مراحل انجام آزمایش

آزمایش‌های این پژوهش از ۲۳ ماه می ۲۰۱۸ تا ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۸ که به مدت ۴ ماه انجام شده است. داده‌های مربوط به تشت استاندارد کلرادو مدفون به صورت روزانه و همزمان با تشت تبخیر استاندارد کلاس A ایستگاه سینوپتیک سمنان قرائت شد. قرائت‌ها به صورت همزمان در ساعت ۱۰:۳۰ صبح به وقت محلی و هرروز خوانده شد. طبق دستورالعمل اجرایی تشت استاندارد کلرادو سانکن (۵۱) از جنس آهن گالوانیزه ضد زنگ است. در شکل ۳ تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن ساخته شده برای انجام آزمایش آورده شده است. برای افزایش دقت آزمایش ۳ تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن که به عنوان ۳ تیمار آزمایش هستند، ساخته شد. همان‌طور که مطرح شد، داده‌های تشت تبخیر استاندارد کلاس A نیز

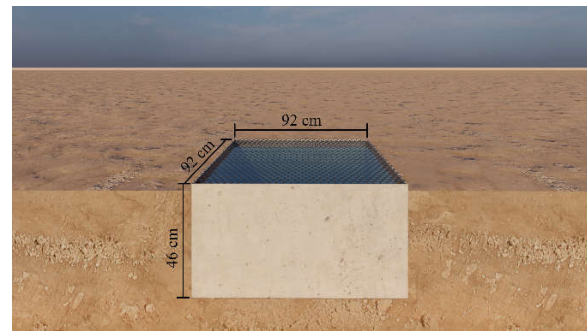
بر اساس رابطه ۱، مناطق را به شش گروه خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب تقسیم‌بندی می‌کند. باتوجه به داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه و با به کارگیری روش دومارتن، مقدار ضریب این روش برای شهر سمنان ۵/۴ و نوع اقلیم شهر سمنان خشک، می‌باشد (۱۵ و ۱۶).

### تشت‌های تبخیر مورد بررسی

تشت‌های تبخیر دارای اشکال و اندازه‌های مختلف دارند. تشت تبخیر استاندارد کلاس A یکی از رایج‌ترین تشت‌های تبخیر است (۲ و ۳۲). این تشت تبخیر از جنس آهن گالوانیزه است و دارای قطر ۴ فوت (۱۲۰/۷ سانتی‌متر) و ۱۰ اینچ (۲۵ سانتی‌متر) عمق دارد. تشت بر روی یک صفحه چوبی قرار می‌گیرد (۷). از دیگر تشت‌های تبخیر استاندارد می‌توان به تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن نام برد (۵). تشت کلرادو مربعی‌شکل است که به ضلع ۳ فوت (۹۲ سانتی‌متر) و عمق ۱۸ اینچ (۴۶ سانتی‌متر) است. این تشت از آهن ضخیم ۳ میلی‌متری ساخته شده و به نحوی در خاک مستقر است که لبه آن در فاصله ۲ اینچ (۵ سانتی‌متر) بالای سطح خاک واقع



(ب)



(الف)

شکل ۲. ابعاد تشت‌های مورد بررسی، الف) تشت کلرادو مدفون و ب) تشت کلاس A



شکل ۳. تشت تبخیر کلرادو مدفون ساخته شده برای انجام آزمایش

به ترتیب ۳/۱، ۲/۲، ۰/۱، ۰/۳ و ۱ میلی‌متر بود، در اندازه‌گیری‌های تبخیر اثر داده شد.

### آنالیز آماری

به منظور تحلیل آماری پس از ثبت نتایج اندازه‌گیری داده‌های مربوط به پوشش‌ها، مقادیر نرخ تبخیر حاصل شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ارتباط آماری بین متغیر وابسته با متغیر مستقل با استفاده از همبستگی دو متغیره پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. استفاده از آزمون پیرسون زمانی صورت می‌گیرد که سطوح سنجش هر دو متغیر مستقل و وابسته، فاصله‌ای یا مقداری باشد. در این پژوهش همبستگی داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، رطوبت کمینه، رطوبت بیشینه، فشار، ساعات آفتابی و سرعت

به صورت روزانه به منظور انجام آنالیزها و مقایسه با تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن دریافت شد. در شکل ۴ تشت تبخیر استاندارد کلاس A مورد آزمایش که در ایستگاه سینوپتیک سمنان است، نشان داده شده است.

داده‌های تبخیر برای تشت استاندارد کلرادو سانکن و تشت تبخیر استاندارد کلاس A از اول ماه خرداد ۱۳۹۷ تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۷ است. علت انجام این مطالعه میدانی و اندازه‌گیری تبخیر، آن است که در انتهای فصل بهار و فصل تابستان میزان تبخیر زیاد است. در شهر سمنان با توجه به این که شهر سمنان جزء مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود، میزان بارندگی در این منطقه در طول زمان آزمایش تنها در روزهای ۱۳ خرداد، ۲۲ خرداد، ۱۷ مرداد، ۲۸ شهریور و ۳۰ شهریور بارندگی در منطقه رخ داد که میزان آن‌ها



شکل ۴. تست تبخیر استاندارد کلاس A ایستگاه سینوپتیک

$F_n(x)$  فرکانس نسبی تجمعی واقعی و  $S_n(x)$  فرکانس نسبی تجمعی مورد انتظار است (۲۵).

#### معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی و بررسی عملکرد دو تست تبخیر، می‌بایست با چندین معیار محاسبه شوند (۲۰). در پژوهش حاضر طبق روابط ۳ الی ۵، معیارهای میانگین خطای مطلق (MAE) (۳۰)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) (۱۴) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) (۱۶) برای ارزیابی نتایج استفاده شد. شاخص R هرچه به یک نزدیکتر باشد، مطابقت بین داده‌های دو تست بهتر است. شاخص‌های MAE و RMSE نیز میزان خطای آزمایش را نشان می‌دهد (۱۲) و بنابراین هرچه به صفر نزدیک شوند، مطابقت داده‌ها دقیق‌تر است (۸)، (۲۴) و (۲۸).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_{ClassA} - E_{Colorado}| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_{ClassA} - E_{Colorado})^2} \quad (4)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_{ClassA} - \bar{E}_{ClassA})(E_{Colorado} - \bar{E}_{Colorado})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{ClassA} - \bar{E}_{ClassA})^2 \sum_{i=1}^n (E_{Colorado} - \bar{E}_{Colorado})^2}} \right]^2 \quad (5)$$

باد و داده‌های تبخیر تست کلاس A و تست کلرادو مدفون مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ نمودار هیستوگرام داده‌های تبخیر تست‌های کلاس A و کلرادو سانکن را نمایش می‌دهد.

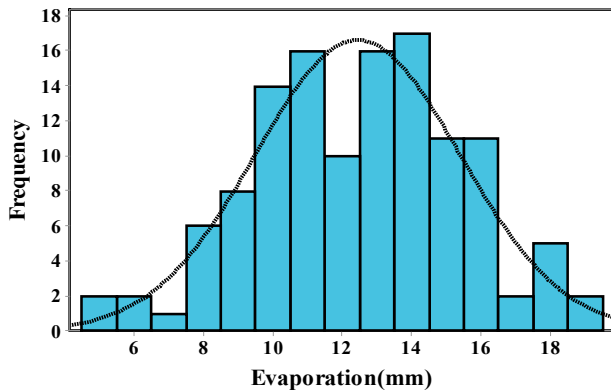
#### نرم افزار HEC-SSP

نرم افزار Hec-ssp در سال ۲۰۰۸ توسط U.S. Army Corps of Engineers به منظور تحلیل‌های آماری داده‌های هیدرولوژیکی ارائه شد (۴). این نرم‌افزار دارای بخش‌های مختلفی مانند تعریف داده و آنالیز است (۲۳ و ۴۵).

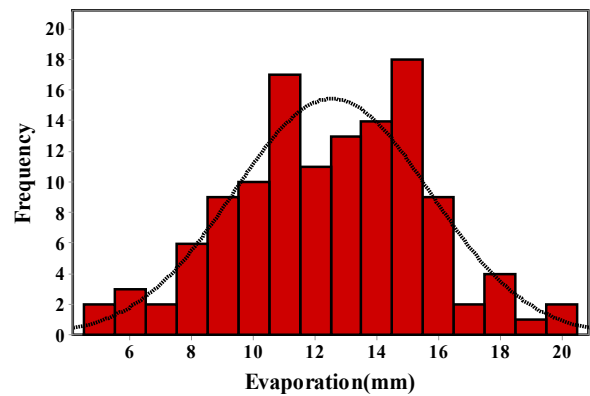
در پژوهش حاضر ابتدا در بخش تعریف داده، داده‌های تبخیر دو تست کلرادو مدفون و کلاس A به نرم‌افزار وارد شد. سپس در بخش آنالیز و قسمت Distribution Fitting Analysis توزیع‌های آماری مختلف به داده‌ها برازش داده شد. سپس بهترین توزیع انتخاب شد. در ادامه از آزمون Kolmogorov-Smirnov برای اندازه‌گیری میزان پایداری نمونه‌ها از یک توزیع خاص استفاده شده است (۳۸، ۴۸ و ۵۷).

آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فرکانس‌های مورد انتظار و واقعی (به صورت قدرمطلق) اندازه‌گیری شده در دسته‌های مختلف است (رابطه ۲). در جدول ۱، پارامترها و روابط توزیع‌های برتری که در قسمت نتایج بررسی شده‌اند، معرفی شده‌اند.

$$D_n(x) = \max |F_n(x) - S_n(x)| \quad (2)$$



(ب)



(الف)

شکل ۵. هیستوگرام داده‌های تبخیر الف) کلرادو مدفون و ب) تشت کلاس A

جدول ۱. توزیع‌های آماری

توزیع	فرمول	پارامتر
Error	$f(x) = c_1 \sigma^{-1} \exp \left[ -\left  c_0^{1/2} \sigma^{-1} (x - \mu) \right ^v \right]$	$\text{where } c_0 = \frac{\Gamma\left(\frac{3}{v}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{v}\right)} \text{ and } c_1 = \frac{vc_0^{1/2}}{2\Gamma\left(\frac{1}{v}\right)}$ $\mu \in \text{Mean}$ $\sigma^2 \geq 0 = \text{Variance}$ $v > 0$
Pearson 6	$f(x) = \frac{1}{\beta B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha_1 - 1}}{\left(1 + \frac{x}{\beta}\right)^{\alpha_1 + \alpha_2}}$	$\text{where } B(\alpha_1, \alpha_2) \text{ is a Beta function}$ $\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0, \beta > 0$
Log normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu \in \text{Mean}$ $\sigma^2 \geq 0 = \text{Variance}$
Weibull	$f(x) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$	$\alpha > 0, \beta > 0$
Kumaraswamy	$f(x) = \alpha \beta x^{\alpha-1} (1 - x^\alpha)^{\beta-1}$	$\alpha > 0, \beta > 0$
Gamma	$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)}$	$\alpha > 0, \beta > 0$

جدول ۱. توزیع‌های آماری (ادامه جدول)

توزیع	فرمول	پارامتر
Generalized Extreme Value	$f(x) = \frac{1}{\sigma} t(x)^{\xi+1} e^{-t(x)}$	$t(x) = \begin{cases} \left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-\frac{1}{\xi}} & \text{if } \xi \neq 0 \\ e^{-\frac{(x-\mu)}{\sigma}} & \text{if } \xi = 0 \end{cases}$ $\mu \in \text{Location}$ $\sigma \geq 0 = \text{Scale}$ $\xi \in \text{Shape}$
Burr	$f(x) = \frac{cd}{bz^{c+1}(1+z^{-c})^{d-1}}$	where $z = \left(\frac{x-\alpha}{b}\right)$ $\alpha > x, b > 0, c > 0, d > 0$

می‌دهد. این جدول، پنج توزیع برتر بر اساس آزمون Kolmogorov-Smirnov برای هر یک از دو تست را نشان می‌دهد. توزیع‌های Error و Gamma به ترتیب برای تست‌های کلاس A و کلاسدو مدفون برترین توزیع شدند. همچنین در شکل ۶ نمودارهای Probability Density Function، Survival Function، Cumulative Distribution Function، P-P Plot، Q-Q Plot و Probability Difference برای توزیع برتر در تست کلاس A و کلاسدو مدفون نمایش داده شده است.

**نتایج بررسی مقادیر تبخیر تست‌های کلاس A و کلاسدو مدفون**  
 در شکل ۷ نمودار میانگین نرخ تبخیر تست استاندارد کلاس A و میانگین تست استاندارد کلاسدو سانکن به صورت ۴ دوره زمانی مختلف نشان داده شده است. به طور کلی این نمودار نشان می‌دهد که اعداد دو تست به هم نزدیک بوده و اختلافشان کمتر از ۱ میلی‌متر است. در دوره زمانی اول یعنی از ۲۲ می تا ۲۱ جوین و دوره زمانی چهارم یعنی از ۲۳ آگوست تا ۲۲ سپتامبر نرخ تبخیر تست استاندارد کلاسدو سانکن از تست کلاس A کمتر بوده و در دوره زمانی دوم و سوم که به ترتیب از ۲۲ جوین تا ۲۲ جولای و ۲۳ جولای تا ۲۲ آگوست است، اندازه تبخیر تست استاندارد کلاسدو سانکن از تست تبخیر کلاس A بیشتر است.

## نتایج و بحث

### نتایج آماری

در جدول ۲ نتایج تجزیه و تحلیل آماری تبخیر تست کلاس A و تست کلاسدو مدفون را بر حسب میلی‌متر آورده شده است. بر اساس این جدول، میانگین ارتفاع تبخیر تست کلاس A و ارتفاع تبخیر مشاهداتی تست کلاسدو به یکدیگر نزدیک است.

آنالیز آماری بر داده‌های تبخیر تست استاندارد کلاس A و تست تبخیر استاندارد کلاسدو سانکن نشان داد، تفاوت معناداری بین تست تبخیر کلاس A و تست تبخیر کلاسدو سانکن برای ۴ بازه زمانی ۱ خرداد الی ۳۱ خرداد، ۱ تیر الی ۳۱ تیر، ۱ مرداد الی ۳۱ مرداد و ۱ شهریور الی ۳۱ شهریور و همچنین کل داده‌های روزانه تبخیر دو تست وجود نداشت ( $p \geq 0.05$ ). جدول ۳ داده‌های خروجی آنالیز آماری داده‌ها با روش t-test جفتی را برای بازه‌های زمانی مورد آزمایش و کل داده‌ها را نشان داده شده است. علت عدم تفاوت معناداری بین داده‌های دو تست می‌توان به نزدیک بودن محل قرارگیری دو تست و یکسان بودن داده‌های هواشناسی نظیر میانگین روزانه درجه دمای هوا، میانگین روزانه رطوبت نسبی، میانگین روزانه سرعت باد، ساعات آفتابی و فشار هوا می‌توان اشاره کرد. جدول ۴، نتایج آزمون برازش توزیع آماری برای تبخیر از تست کلاس A و کلاسدو مدفون در ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان را نشان



جدول ۲: نتایج تجزیه و تحلیل آماری ارتفاع تبخیر تشت تبخیر کلاس A و کلرادو مدفون بر حسب میلی متر

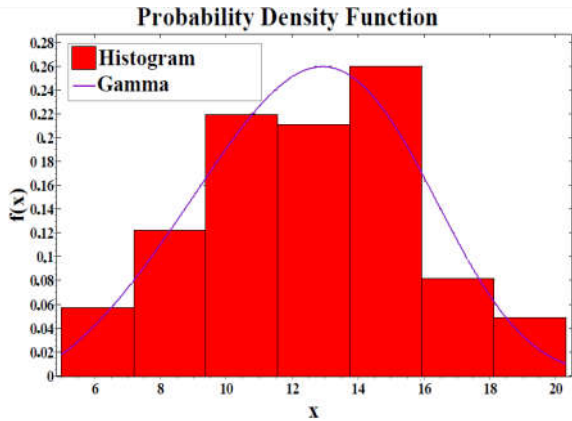
تشت	میانگین	خطا استاندارد	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس	کشیدگی	چولگی	تعداد
کلاس A	۱۲/۴۴	۰/۲۶	۱۲/۶۰	۱۰/۶	۲/۹۵	۸/۷۱	-۰/۲۴	-۰/۱۴	۱۲۳
کلرادو مدفون	۱۲/۵۵	۰/۲۸	۱۳/۰۰	۱۵/۰	۳/۱۷	۱۰/۰۷	-۰/۲۰	-۰/۱۰	۱۲۳

جدول ۳: خروجی آنالیز آماری تشت تبخیر کلرادو سانکن و کلاس A با روش t-test

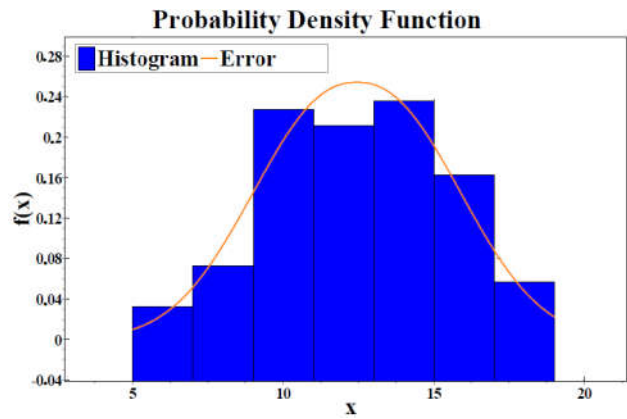
دوره	t-Statistic	df	p-Value
۱ خرداد الی ۳۱ خرداد	۰/۳	۵۸	۰/۷۶۷۸
۱ تیر الی ۳۱ تیر	-۰/۸۸	۶۰	۰/۳۸۴۱
۱ مرداد الی ۳۱ مرداد	-۰/۵۷	۶۰	۰/۵۷۱۹
۱ شهریور الی ۳۱ شهریور	۰/۱۸	۶۰	۰/۸۵۵۶
مجموع	-۰/۲۶	۲۴۴	۰/۷۹۱۸

جدول ۴: توزیع‌های برتر داده‌های تبخیر تشت‌های مورد بررسی

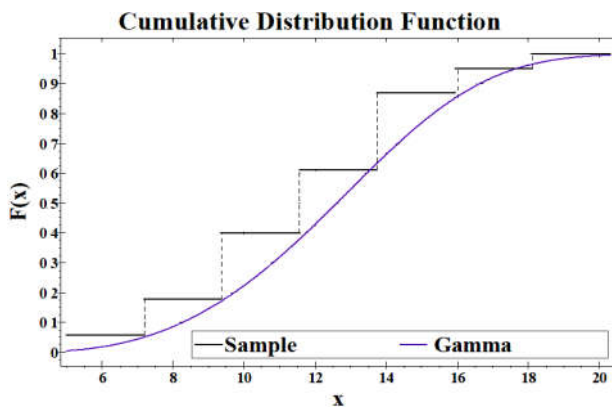
نام تشت	رتبه	توزیع	k-s
Class A	۱	Error	۰/۰۵۰۱۹
	۲	Pearson 6	۰/۰۵۲۸۶
	۳	Log normal	۰/۰۵۳۸
	۴	Weibull	۰/۰۵۳۹
	۵	Kumaraswamy	۰/۰۵۴۳۱
Colorado Sunken	۱	Gamma	۰/۰۵۵۵۲
	۲	Kumaraswamy	۰/۰۵۷۷۶
	۳	Weibull	۰/۰۵۸۰۷
	۴	Burr	۰/۰۵۸۲۹
	۵	Generalized Extreme Value	۰/۰۵۸۵۲



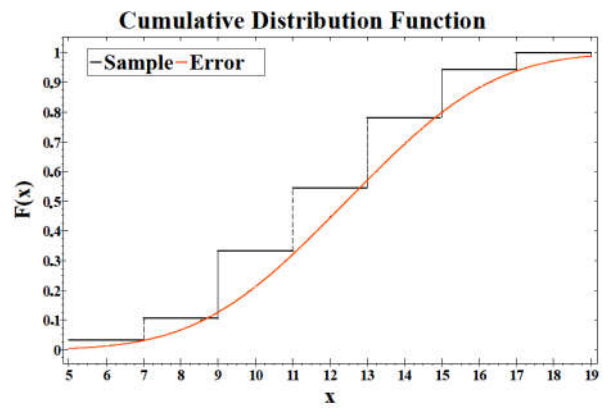
(ب)



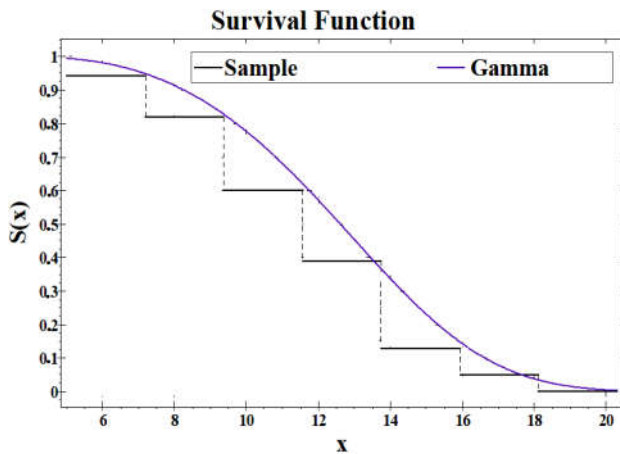
(الف)



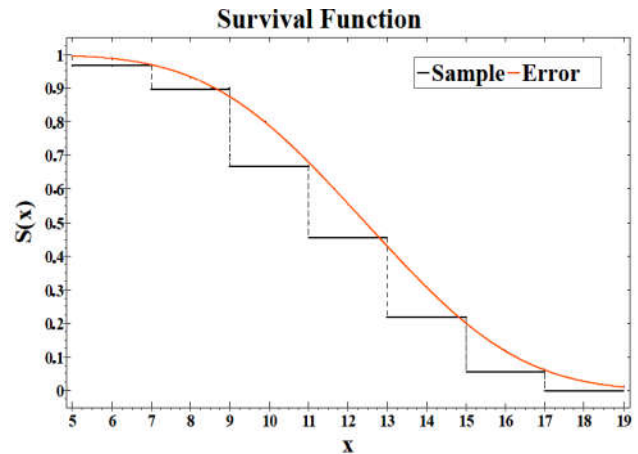
(د)



(ج)

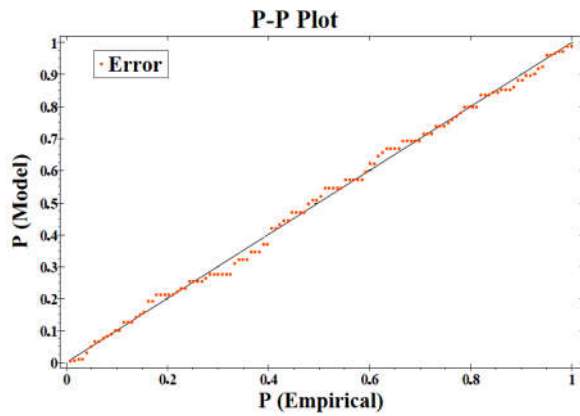


(ه)

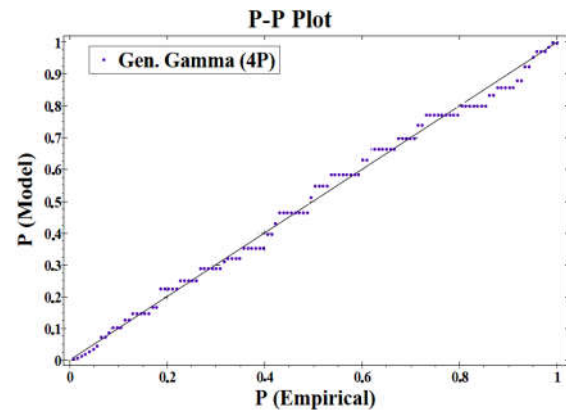


(و)

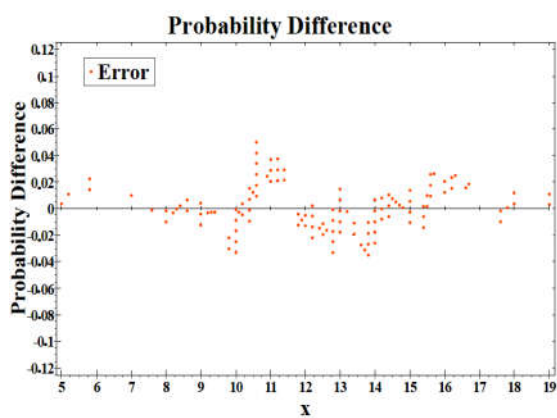
شکل ۶. پیش‌بینی با توزیع‌های منتخب تبخیر روزانه ایستگاه، الف و ب) نمودار Probability Density Function، ج و د) نمودار Cumulative Distribution Function، ه و و) Survival Function، ز و ح) P-P Plot، ی و ط) Probability Difference و ک و ل) Q-Q plot برای تبخیر از تشت کلاس A و تبخیر از تشت کلرادو مدفون



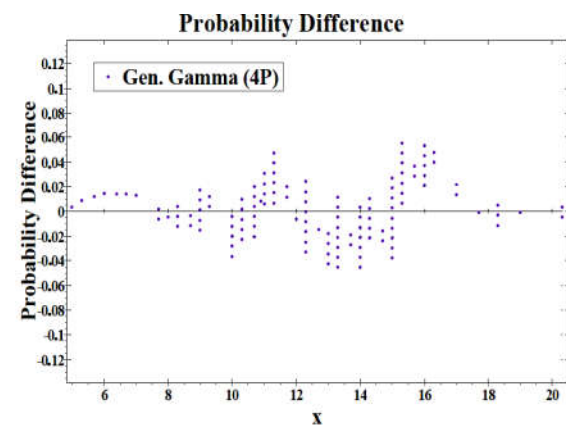
(ح)



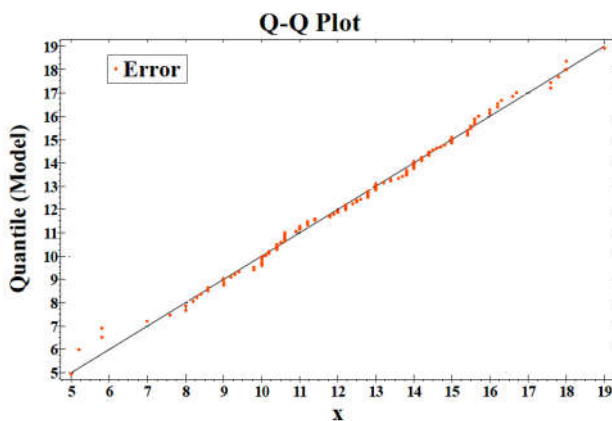
(ز)



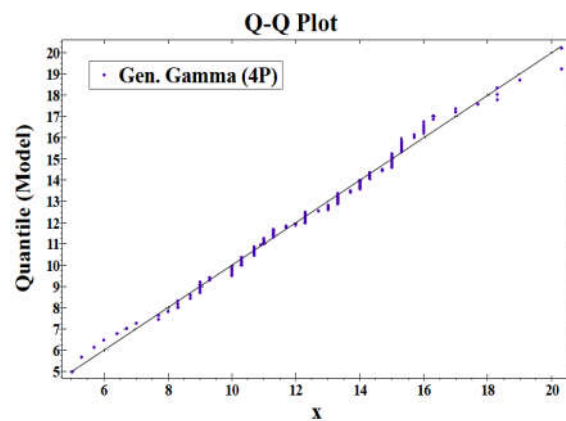
(ح)



(ط)

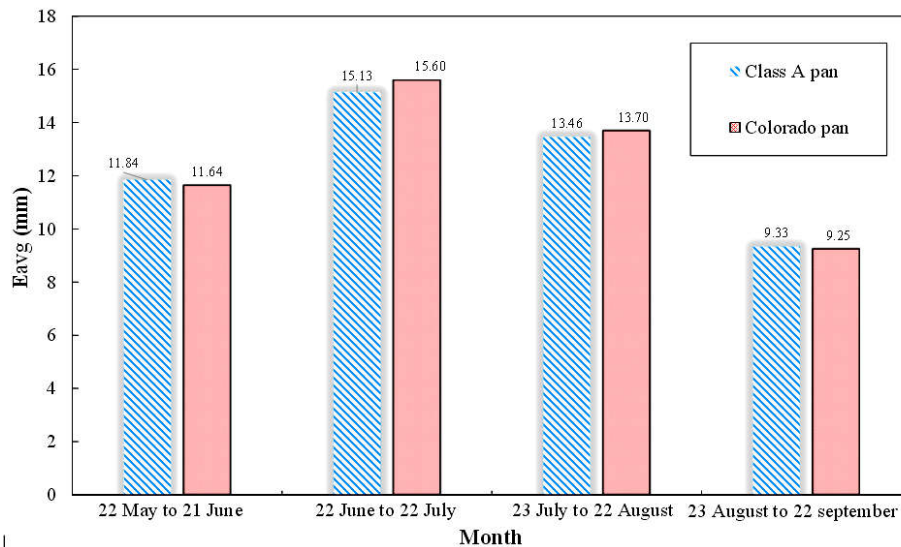


(ک)



(ل)

شکل ۶. پیش‌بینی با توزیع‌های منتخب تبخیر روزانه ایستگاه، الف و ب) نمودار Probability Density Function، ج و د) نمودار Cumulative Distribution Function، ه و و) Survival Function، ز و ح) P-P Plot، ی و ط) Probability Difference و ک و ل) Q-Q plot برای تبخیر از تشت کلاس A و تبخیر از تشت کلرادو مدفون (ادامه)



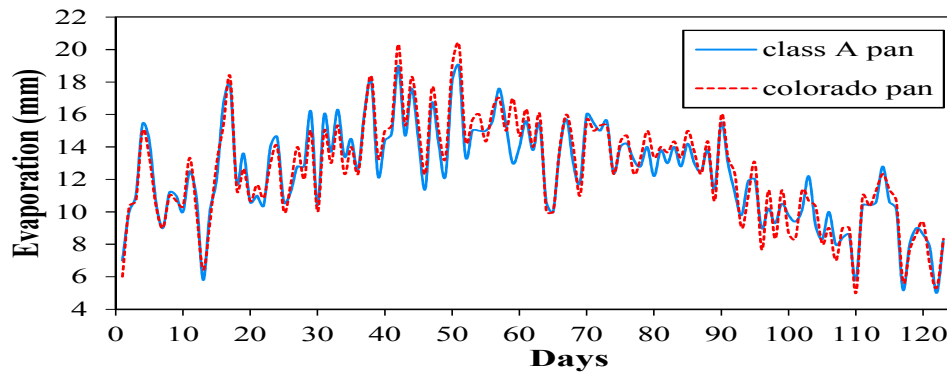
شکل ۷. مقایسه میانگین نرخ تبخیر تشت در ۴ بازه زمانی

در شکل ۹ نمودار تجمعی نرخ تبخیر تشت استاندارد کلاس A و نرخ تبخیر تشت استاندارد کلرادو سانکن نشان داده شده است. از این نمودار نیز مانند نمودار شکل ۸ به نزدیک بودن نرخ تبخیر روزانه در دو تشت مورد مطالعه نتیجه می‌شود. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که نرخ تبخیر در تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن در انتهای آزمایش کمی بیشتر از نرخ تبخیر در تشت تبخیر استاندارد کلاس A است.

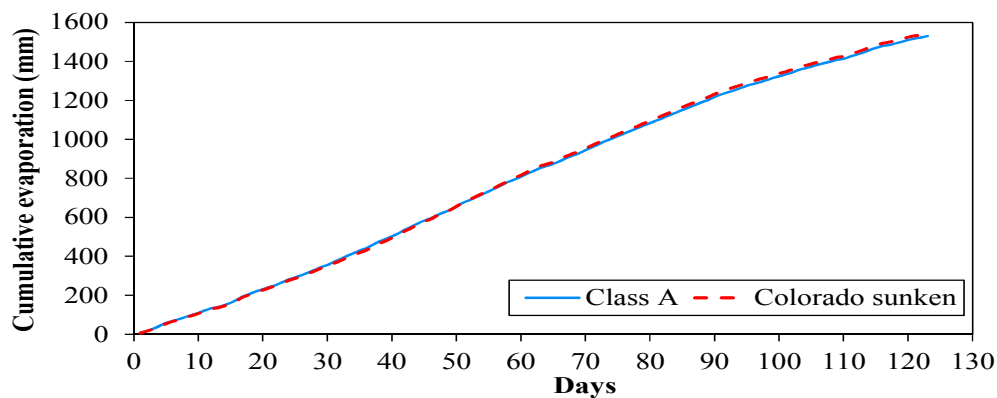
#### بررسی پارامترهای مؤثر بر تبخیر در طول دوره اندازه‌گیری

به منظور ارتباط تبخیر تشت کلاس A و کلرادو مدفون بر حسب میلی‌متر با داده‌های ایستگاه که شامل دمای کمینه (C)، دمای بیشینه (C)، رطوبت کمینه (%)، رطوبت بیشینه (%)، سرعت باد ( $\frac{m}{s}$ )، ساعات آفتابی (hr) و فشار (hPa) است، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. جدول ۵ میانگین و انحراف معیار پارامترهای هواشناسی را نشان داده شده است. جدول ۶ همبستگی تبخیر تشت‌ها را با دمای کمینه و بیشینه، رطوبت کمینه و بیشینه، سرعت باد، فشار و ساعات آفتابی را نشان می‌دهد. به بیان ساده‌تر در صورت افزایش دما و ساعات آفتابی، تبخیر افزایش می‌یابد. همبستگی تبخیر با سرعت باد به صورت مثبت است. اما با معنی دار نبودن پارامتر باد با تبخیر

در شکل ۸ به مقایسه کلی تبخیر در تشت استاندارد کلاس A و تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن در کل روزهای اندازه‌گیری شده پرداخته شده است. این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین میزان تبخیر در هر دو تشت در بازه زمانی حدوداً روز ۳۰ ام تا روز ۷۰ ام است. همچنین در طول روزهای اندازه‌گیری، در برخی از روزها نرخ تبخیر تشت استاندارد کلاس A از نرخ تبخیر تشت استاندارد کلرادو سانکن بیشتر است و در بعضی از روزها تشت استاندارد کلاس A از نرخ تبخیر تشت استاندارد کلرادو سانکن کمتر است. نتایج پژوهش مسونر و همکاران (۳۷) نشان داد که اختلاف میزان تبخیر در تشت شناور و تشت تبخیر کلاس A در سطح زمین در شب کمتر از روز است. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تشت تبخیر شناور در سطح آزاد آب می‌تواند در تعیین نرخ تبخیر نیز بهتر عمل کند. نسبت تشابه تشت شناور با تشت کارگذاری شده در سطح زمین در طول مدت اندازه‌گیری متفاوت بوده و از مقدار ۰/۶۹ الی ۰/۸۷ تغییر می‌کند. چو و همکاران (۶) که به مقایسه دو تشت کلاس A که یکی به رنگ ورق گالوانیزه و دیگری به رنگ سفید پرداختند، به این نتیجه رسیدند که در تمامی ماه‌های اندازه‌گیری، نرخ تبخیر تشت سفید رنگ کمتر بود. مقدار متوسط سالانه تبخیر در تشت ورق گالوانیزه و سفید رنگ به ترتیب ۱/۳۹۲ و ۱/۰۴۱ بود.



شکل ۸. مقایسه تبخیر روزانه تشت استاندارد کلرادو سانکن و تبخیر رورانه تشت استاندارد کلاس A



شکل ۹. مقایسه تبخیر تجمعی تشت استاندارد کلاس A و تشت استاندارد کلرادو سانکن

جدول ۵. میانگین و انحراف معیار پارامترهای هواشناسی مؤثر بر تبخیر

PA(hpa)	SH(hr)	WS(m/s)	RH <sub>min</sub> (%)	RH <sub>max</sub> (%)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	
۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	تعداد
۸۸۴/۱۱۰	۱۱/۱۹۱	۷/۵۵۳	۱۱/۱۰۶	۲۸/۹۹۲	۲۵/۰۳۷	۳۷/۰۵۲	میانگین
۹/۸۷۵۸	۱/۵۴۹۵	۲/۴۱۹۹	۵/۲۶۷۹	۹/۹۵۶۸	۳/۴۰۴۴	۳/۳۳۵۴	انحراف معیار

جدول ۶. آزمون همبستگی پیرسون و سطح معنی داری تبخیر تشت کلاس A و داده‌های ایستگاه

PA(hpa)	SH(hr)	WS(m/s)	RH <sub>min</sub> (%)	RH <sub>max</sub> (%)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)		
-۰/۲۲۱	۰/۳۶۹	۰/۱۵۸	-۰/۳۱۴	-۰/۳۰۳	۰/۵۱۳	۰/۶۲۳	همبستگی پیرسون	
۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۸۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	Sig دو طرفه	Class A
۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	تعداد	
-۰/۲۳۳	۰/۳۹۹	۰/۱۲۶	-۰/۳۲۰	-۰/۳۳۶	۰/۵۵۲	۰/۶۴۷	همبستگی پیرسون	
۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۱۶۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	Sig دو طرفه	Colorado Sunken
۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۳	تعداد	

داده‌های تبخیر کلاس A و کلرادو مدفون رسم شد (شکل ۱۱). لازم به ذکر است که در دیاگرام تیلور فاصله طولی از مبدأ مختصات، نشان دهنده ضریب همبستگی و خط‌چین‌های قطاعی نشان دهنده مقادیر جذر میانگین مربعات خطا هستند. با بزرگ‌شدن قطاع دایره مقدار پارامتر یادشده بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، هر نقطه روی نمودار تیلور نشان‌دهنده هم‌زمان سه پارامتر انحراف معیار، ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا است.

در فرایند تبخیر در هر دو نوع تشتت (تشت تبخیر کلاس A و تشت تبخیر کلرادو سانکن)، مکانیسم‌های اساسی مساحت سطح، انتقال حرارت، گردش هوا و عمق آب برای هدایت این فرایند مسئولیت دارند (۲). مساحت سطح تشتت تبخیر روی آب یا سطح آب باعث افزایش سطح تعرض آب به هوا می‌شود. افزایش مساحت سطح تشتت تبخیر، به معنای افزایش تعداد ذرات آب که در تعامل با هوا قرار می‌گیرند، است و این موضوع می‌تواند به افزایش نرخ تبخیر منجر شود. انتقال حرارت از آب به هوا یکی از عوامل اصلی در فرایند تبخیر است (۱۱). هنگامی که حرارت به آب منتقل می‌شود، دما ورقه آب افزایش می‌یابد و این باعث ایجاد گرادیان حرارتی بین آب و هوا می‌شود (۱۳). این گرادیان حرارتی باعث جریان هوا در اطراف سطح آب می‌شود و تبخیر را تسهیل می‌کند. انتقال حرارت از آب به هوا یکی از عوامل مهم در تبخیر است. زمانی که حرارت به آب منتقل می‌شود، دمای آب افزایش می‌یابد و تولید گرادیان حرارتی بین آب و هوا را فراهم می‌کند. این گرادیان حرارتی باعث جریان هوا در اطراف سطح آب می‌شود و تبخیر را تسهیل می‌کند. حرکت هوا در اطراف سطح آب نیز نقش مهمی در فرایند تبخیر دارد (۱۷). وجود جریان هوا، هوای مشبک را از طریق تشت عبور داده و هوای خنک‌تر را جایگزین می‌کند. این تداخل هوا باعث افزایش تبخیر می‌شود و نرخ تبخیر را افزایش می‌دهد. حرکت هوا در اطراف سطح آب نقش مهمی در تبخیر ایفا می‌کند. وجود جریان هوا، هوای مشبک را از طریق تشت عبور داده و هوای خنک‌تر را جایگزین می‌کند.

تشت‌ها، تأثیری در فرایند تبخیر تشت‌ها ندارد. همچنین در این جدول همبستگی رطوبت کمینه، رطوبت بیشینه و فشار به‌صورت منفی است. این موضوع بیانگر این است در صورت افزایش رطوبت و فشار، تبخیر کاهش می‌یابد. قابل ذکر است، تمامی پارامترها به‌غیر از سرعت باد در سطح معنی‌داری کمتر از ۵ درصد قرار دارند.

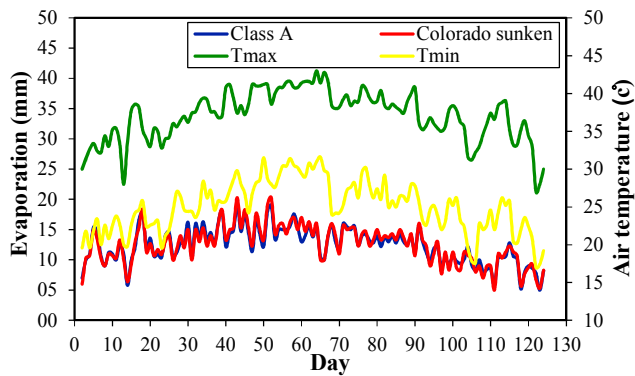
شکل ۱۰ به مقایسه تغییرات پارامترهای دریافتی از ایستگاه هواشناسی سمنان شامل دمای کمینه (سلسیوس)، دمای بیشینه (سلسیوس)، رطوبت بیشینه (درصد)، رطوبت کمینه (درصد)، ساعات آفتابی، فشار (هکتوپاسکال) و سرعت باد (متر بر ثانیه) در روزهای آزمایش و همچنین نرخ تبخیر از تشت‌های کلاس A و کلرادو مدفون (میلی‌متر) پرداخته شده است (۱).

نتایج نشان داد که پارامتر دما و سرعت باد به‌ترتیب بیشترین و کمترین ضریب همبستگی را نسبت به تبخیر از تشت دارند. این موضوع تأثیر نسبتاً کم سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر تبخیر از سطح آزاد را نسبت به سایر پارامترها نشان داد. در پژوهش دهقانی‌پور و همکاران (۱۰) دما برای مناطق خشک به‌عنوان پارامتر اصلی اثرگذار بر تبخیر اشاره شد. حتی پارامتر دما برای شهر تبریز و ارومیه که جزء شهرهای سردسیر هستند، در پژوهش نورانی و سیاح فرد (۴۲) مهم‌ترین عامل اثرگذار بر تبخیر بیان شد. اقوامی‌پناه (۱) به این نتیجه رسید که پارامتر دما و رطوبت بیشتر از سایر داده‌های هواشناسی دیگر بر تبخیر مؤثر است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

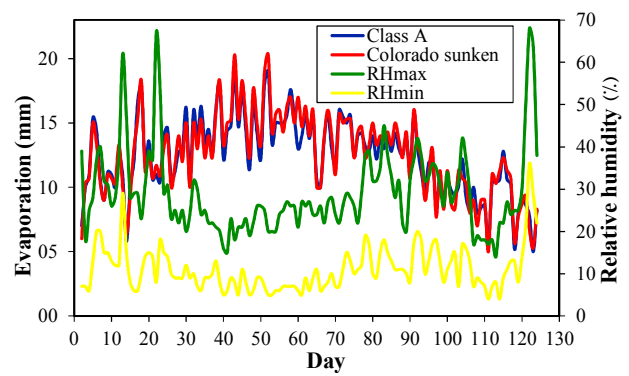
### نتایج معیارهای ارزیابی

شاخص‌های آماری مربوط به برازش داده‌های تبخیر تشت کلاس A و کلرادو مدفون نشان می‌دهد که همبستگی زیادی بین داده‌های این دو تشت وجود دارد. ارزیابی‌های انجام‌شده برای کل داده‌ها است. مقادیر  $R^2$ ، RMSE و MAE به‌ترتیب ۰/۹۳۳، ۰/۸۳۵ و ۰/۷۰۲ است.

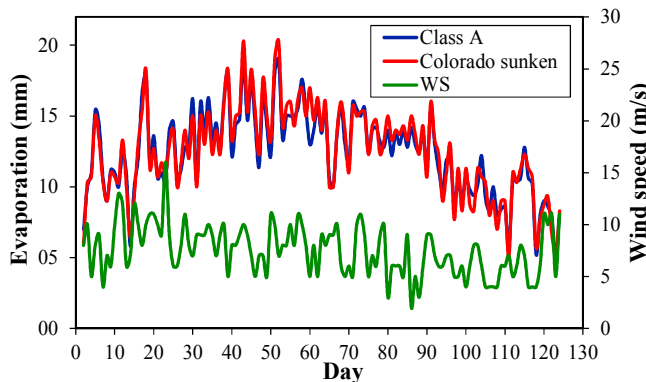
دیاگرام تیلور به‌منظور بررسی و تحلیل مقادیر انحراف معیار، ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا بین



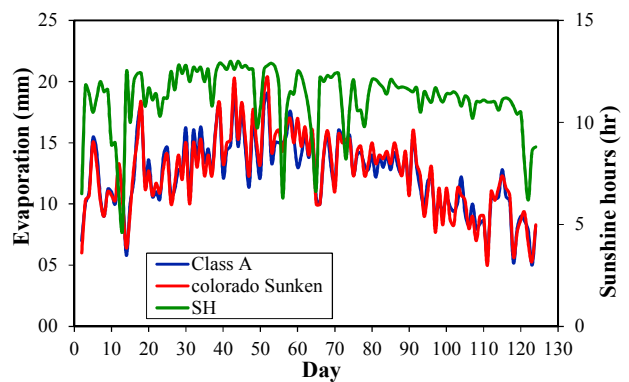
(ب)



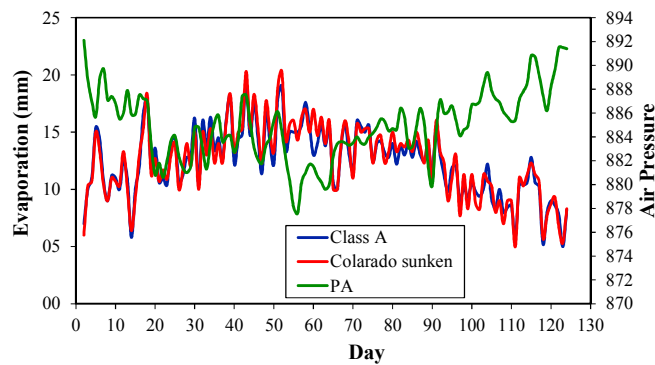
(الف)



(د)



(ج)

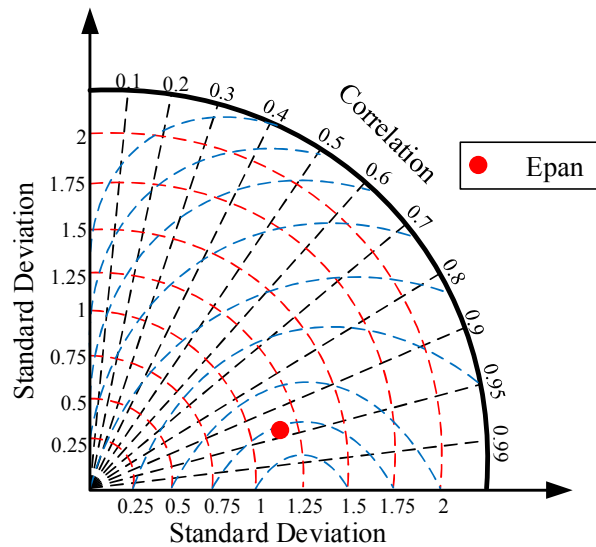


(ه)

شکل ۱۰. مقایسه تغییرات تبخیر تشت‌های کلاس A و کلرادو سانکن با پارامترهای هواشناسی، الف) کمینه و بیشینه رطوبت نسبی، ب) کمینه و بیشینه درجه حرارت، ج) ساعات آفتابی، د) سرعت باد و ه) فشار هوا

ممکن است کمتر باشد. عمق آب در تشت تبخیر نیز تأثیرگذار است. آب در لایه‌های عمیق‌تر تشت با دسترسی کمتری به هوا، کمتر از طریق تبخیر از دست می‌رود؛ بنابراین در تشت‌های با عمق آب بیشتر، نرخ تبخیر ممکن است کمتر باشد.

این تداخل هوا باعث افزایش نرخ تبخیر می‌شود. عمق آب در تشت تبخیر نیز تأثیرگذار است. آب در لایه‌های عمیق‌تر تشت با دسترسی کمتری به هوا، کمتر از طریق تبخیر از دست می‌رود؛ بنابراین در تشت‌های با عمق آب بیشتر، نرخ تبخیر



شکل ۱۱. دیاگرام تیلور

با استفاده از نتایج مطالعه، می‌توان در برآورد تقاضای آب برای آبیاری مزارع دقت بیشتری کرد. با در نظر گرفتن رابطه بین تبخیر و عوامل هواشناسی، می‌توان در طراحی سیستم‌های تأمین آبیاری و برنامه‌ریزی زمان‌بندی آبیاری، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تبخیر و تعرق و تحلیل عوامل هواشناسی میزان تقاضای آب را برای آبیاری مزارع پیش‌بینی کرد. این کار می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آبی و جلوگیری از بروز کمبود آب در مزارع کمک کند. با استفاده از نتایج این مطالعه می‌توان در مدیریت منابع آب مزرعه به صورت بهینه‌تر عمل کرد و منابع آبی را به طور دقیق‌تر تخمین زد. همچنین می‌توان برنامه‌های مدیریتی مناسب برای استفاده بهینه از این منابع آبی طراحی کرد. این برنامه شامل انتخاب محل مناسب منابع آبی، تعیین نیاز آبی محصولات، تنظیم زمان‌بندی آبیاری و استفاده از روش‌های بهینه آبیاری می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اندازه‌گیری روزانه تبخیر شهر سمنان در مدت ۱۲۳ روز (۴ ماه) در تشت استاندارد کلرادو سانکن انجام شد و سپس به مقایسه آن با تشت استاندارد کلاس A ایستگاه

با بررسی این عوامل، می‌توان به توضیح تفاوت‌های نرخ تبخیر بین دو نوع تشت پرداخت. برای نمونه، تشت تبخیر با مساحت سطح بزرگتر، مساحت تعرض آب به هوا بیشتری دارد و در نتیجه نرخ تبخیر بیشتری دارد. همچنین وجود جریان هوا بیشتر در اطراف سطح آب می‌تواند نرخ تبخیر را افزایش دهد. علاوه بر این، در تشت‌های با عمق آب کمتر، آب به راحتی از طریق تبخیر از دست می‌رود و نرخ تبخیر ممکن است بیشتر باشد.

استفاده از نتایج مطالعه در برنامه‌ریزی آبیاری مزارع می‌تواند به بهبود بهره‌وری آبی، صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی منجر شود. با استفاده از نتایج مطالعه، می‌توان زمان آبیاری را بهینه‌تر تعیین کرد. با توجه به تحلیل رابطه بین تبخیر و عوامل هواشناسی، می‌توان زمان‌هایی که تبخیر بیشتری را نشان می‌دهند، به عنوان زمان مناسب برای آبیاری در نظر گرفت. این کار می‌تواند منجر به بهره‌برداری بهتر از منابع آب و جلوگیری از آبیاری زائد شود. همچنین می‌توان میزان آب مورد نیاز برای محصولات مختلف را به دقت بیشتری تعیین کرد و نیز بر اساس شرایط هواشناسی محل قرار گرفتن مزرعه، میزان آب مورد نیاز را تنظیم کرد. این کار می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آبی در مزرعه منجر شود.



کمترین با فشار است. باتوجه به این نتایج، درک بهتری از روند تبخیر در سناریوهای واقعی به دست می آید. این نتایج می توانند به مدیران منابع آب و پژوهشگران در زمینه مدیریت آب، مهندسی هیدرولوژی و کشاورزی کمک کنند. پژوهشگران با استفاده از این نتایج می توانند بهترین روش ها و تجهیزات را برای اندازه گیری و برآورد تبخیر در مناطق مورد نظر انتخاب کنند. همچنین این نتایج می توانند در برآورد تقاضای آب برای مصارف مختلف مانند کشاورزی، شهری و صنعتی مورد استفاده قرار بگیرند و به برنامه ریزی منابع آب کمک کنند. با استفاده از داده ها و نتایج مطالعه، می توان به طراحی سیستم های اندازه گیری دقیق تبخیر، توسعه مدل های پیش بینی تبخیر و تحلیل و بررسی تأثیر عوامل هواشناسی بر تبخیر پرداخت. این تحلیل ها دقیق تر و بهتر می توانند به ماهیت پیچیده تبخیر در سناریوهای واقعی نزدیک تر شوند و در نتیجه بهترین راهکارها و استراتژی ها برای مدیریت بهینه تبخیر در این سناریوها ارائه شود. در انتها پیشنهاد می شود تأثیر باد در فصول سرد سال بر تشت های تبخیر در مناطق گرم و خشک بررسی شود.

سینوپتیک شهر سمنان پرداخته شد. به دلیل اینکه شهر سمنان جزء مناطق گرم و خشک محسوب می شود، روزهای آزمایش در انتهای فصل بهار و کل فصل تابستان که تبخیر در این روزها بیشتر است، انتخاب شد. همچنین در این مقاله رابطه بین تبخیر تشت با داده های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر سمنان بررسی شد. میان تبخیر تشت کلرادو و تشت کلاس A تفاوت معنی داری وجود ندارد و ضریب تعیین بین تبخیر دو تشت برابر با  $93/3$  درصد است که همبستگی زیاد تبخیر تشت ها را نشان می دهد. بهترین توزیع آماری بر اساس روش کلموگروف-اسمیرنوف برای تشت تبخیر کلاس A و کلرادو مدفون به ترتیب Error و Gamma شدند. داده های دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی دارای همبستگی معنی دار مثبت با تبخیر تشت های کلرادو مدفون و کلاس A و رطوبت کمینه، رطوبت بیشینه و فشار دارای همبستگی معنی دار منفی با این دو تشت یاد شده هستند. همچنین داده های سرعت باد در تشت کلرادو مدفون و کلاس A عدم همبستگی معنی دار را نشان داد. علت این امر می تواند سرعت ثابت و نسبتاً پایین در بازه زمانی انجام آزمایش باشد. بیشترین همبستگی با دمای کمینه و

### منابع مورد استفاده

1. Aghvamipannah, M. 2019. Field study of physical methods of reducing evaporation from small water reservoirs. Master Thesis, Semnan University, Semnan, I.R. Iran.
2. Alsumaiei, A. A. 2020. Utility of Artificial Neural Networks in Modeling Pan Evaporation in Hyper-Arid Climates. *Water* 12(5): 1508.
3. Ashrafzadeh, A., Malik, A., Jothiprakash, V., Ghorbani, M. A. and Biazar, S. M. 2020. Estimation of daily pan evaporation using neural networks and meta-heuristic approaches. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 26(4): 421-429.
4. Brunner, G. W. and M. J. Fleming. 2010. HEC-SSP Statistical Software Package. US Army Corps Eng. Inst. Water Resour. Hydrol. Eng. Cent. HEC. Available at: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp>.
5. Brutsaert W. 1982. Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications. Springer Science and Business Media.
6. Chu, C.-R., Li, M.-H., Chen, C.-H. and J. S. Liu. 2016. Evaporation Rate of a White Class A Evaporation Pan. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(6): 04016018.
7. Chu, C.-R., Li, M.-H., Chen, Y.-Y. and Y. H. Kuo. 2010. A wind tunnel experiment on the evaporation rate of Class A evaporation pan. *Journal of Hydrology* 381(3-4): 221-224.
8. Dadrasajirlou, Y. 2021. Quantitative flood mitigation in urban basins with optimal low-impact development and best management practices designs under climate change conditions. Master Thesis, Semnan University, Semnan, I.R. Iran.
9. Dadrasajirlou, Y., Ghazvinian, H., Heddami, S. and M. Ganji. 2022. Reference Evapotranspiration Estimation Using ANN, LSSVM, and M5 Tree Models (Case Study: of Babolsar and Ramsar Regions, Iran). *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 6(3): 101-118.

10. Dehghanipour, M. H., Karami, H., Ghazvinian, H., Kalantari, Z. and A. H. Dehghanipour. 2021. Two Comprehensive and Practical Methods for Simulating Pan Evaporation under Different Climatic Conditions in Iran. *Water* 13(20): 2814.
11. Fu, G., Liu, C., Chen, S. and J. Hong. 2004. Investigating the conversion coefficients for free water surface evaporation of different evaporation pans. *Hydrological Processes* 18(12): 2247–2262.
12. Ghazvinian, H., Bahrami, H., Ghazvinian, H. and S. Heddam. 2020. Simulation of Monthly Precipitation in Semnan City Using ANN Artificial Intelligence Model. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 4(4): 36–46.
13. Ghazvinian, H., Farzin, S., Karami, H. and S. F. Mousavi. 2020. Investigating the Effect of using Polystyrene sheets on Evaporation Reduction from Water-storage Reservoirs in Arid and Semiarid Regions (Case study: Semnan city). *Journal of Water and Sustainable Development* 7(2): 45–52.
14. Ghazvinian, H. and H. Karami. 2023. Effect of rainfall intensity and slope at the beginning of sandy loam soil runoff using rain simulator (Case study: Semnan City). *JWSS-Isfahan University of Technology* 26(4): 319-334.
15. Ghazvinian, H. and H. Karami. 2023. Laboratory comparison of vegetation and gravel on parameters affecting urban floods under different rainfall and runoff conditions. *Journal of Water and Climate Change* 14(12): 4763-4781.
16. Ghazvinian, H. and H. Karami. 2023. Laboratory study of the effect of vegetation and gravel on runoff parameters under variable rainfall intensities. *Water Science and Technology* 88(9): 2423–2442.
17. Ghazvinian, H., Karami, H., Farzin, S. and S. F. Mousavi. 2020. Effect of MDF-Cover for Water Reservoir Evaporation Reduction, Experimental, and Soft Computing Approaches. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 4(1): 98–110.
18. Ghazvinian, H., Karami, H., Farzin, S. and S. F. Mousavi. 2020. Experimental Study of Evaporation Reduction Using Polystyrene Coating, Wood and Wax and its Estimation by Intelligent Algorithms. *Irrigation and Water Engineering* 11(2): 147–165.
19. Ghazvinian, H., Karami, H., Farzin, S. and S. F. Mousavi. 2021. Introducing affordable and accessible physical covers to reduce evaporation from agricultural water reservoirs and pools (field study, statistics, and intelligent methods). *Arabian Journal of Geosciences* 14(23): 2543.
20. Ghazvinian, H., Mousavi, S.-F., Karami, H., Farzin, S., Ehteram, M., Hossain, M. S., Fai, C. M., Hashim, H. Bin, Singh, V. P., Ros, F. C., Ahmed, A. N., Afan, H. A., Lai, S. H. and A. El-Shafie. 2019. Integrated support vector regression and an improved particle swarm optimization-based model for solar radiation prediction. *PLOS ONE* 14(5): e0217634.
21. Ghorbani, M. A., Deo, R. C., Yaseen, Z. M., H. Kashani, M. and B. Mohammadi. 2018. Pan evaporation prediction using a hybrid multilayer perceptron-firefly algorithm (MLP-FFA) model: case study in North Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 133(3–4): 1119–1131.
22. Guven, A., and Ö. Kişi. 2011. Daily pan evaporation modeling using linear genetic programming technique. *Irrigation Science* 29(2): 135–145.
23. Harris, J., Brunner, G. and B. Faber. 2008. Statistical Software Package. World Environmental and Water Resources Congress 2008: 1–10.
24. Hu, Z., Karami, H., Rezaei, A., DadrasAjirlou, Y., Piran, M. J., Band, S. S., Chau, K.-W. and A. Mosavi. 2021. Using soft computing and machine learning algorithms to predict the discharge coefficient of curved labyrinth overflows. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 15(1): 1002–1015.
25. Jahan, F., Sinha, N. C., Rahman, M. M., Rahman, M. M., Mondal, M. S. H. and M. A. Islam. 2019. Comparison of missing value estimation techniques in rainfall data of Bangladesh. *Theoretical and Applied Climatology* 136(3–4): 1115–1131.
26. Jia-lian, H., Guo-bin, F. U., Zao-nan, G. U. O., Zhande, D. and Z. Wei. 1996. Experimental research on the water-surface evaporation of Nansi Lake in Shandong Province. *Geographical Research* 15(3): 42–49.
27. Jia, Z., Liu, S., Xu, Z., Chen, Y. and M. Zhu. 2012. Validation of remotely sensed evapotranspiration over the Hai River Basin, China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 16: 117(D13).
28. Karami, H., DadrasAjirlou, Y., Jun, C., Bateni, S. M., Band, S. S., Mosavi, A., Moslehpour, M. and K.W. Chau. 2022. A Novel Approach for Estimation of Sediment Load in Dam Reservoir With Hybrid Intelligent Algorithms. *Frontiers in Environmental Science* 10: 165.
29. Karami, H., and H. Ghazvinian. 2022. A practical and economic assessment regarding the effect of various physical covers on reducing evaporation from water reservoirs in Arid and Semi-Arid Regions (Experimental study). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 53(6): 1297-1313.
30. Karami, H., Ghazvinian, H. and Y. Dadrasajirlou. 2023. Application of statistical and geostatistical approaches in temporal and spatial estimations of rainfall. *Journal of Water and Climate Change* 14(5): 1696-1722.
31. Karami, H., Ghazvinian, H., Dehghanipour, M. and M. Ferdosian. 2021. Investigating the Performance of Neural Network Based Group Method of Data Handling to Pan's Daily Evaporation Estimation (Case Study: Garmsar City). *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 5(2): 1–18.

32. Karamouz, M., Nazif, S. and Falahi, M. 2012. Hydrology and hydroclimatology: principles and applications. CRC Press, United States.
33. Kohler, M. A. 1954. Lake and pan evaporation. Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies, Technical Report, United States Geological Survey Professional Paper 269: 127-149.
34. Li, Y., Liu, C. and K. Liang. 2016. Spatial Patterns and Influence Factors of Conversion Coefficients between Two Typical Pan Evaporimeters in China. *Water* 8(10): 422.
35. Liu, B., Ma, Z., Xu, J. and Z. Xiao. 2009. Comparison of pan evaporation and actual evaporation estimated by land surface model in Xinjiang from 1960 to 2005. *Journal of Geographical Sciences* 19(4): 502-512.
36. Malik, A. and A. Kumar. 2015. Pan Evaporation Simulation Based on Daily Meteorological Data Using Soft Computing Techniques and Multiple Linear Regression. *Water Resources Management* 29(6): 1859-1872.
37. Masoner, J. R., Stannard, D. I. and S. C. Christenson. 2008. Differences in Evaporation Between a Floating Pan and Class A Pan on Land. *Journal of the American Water Resources Association* 44(3): 552-561.
38. Massey Jr, F. J. 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association* 46(253): 68-78.
39. McMahon, T. A., Peel, M. C., Lowe, L., Srikanthan, R. and T. R. McVicar. 2013. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(4): 1331-1363.
40. Miralles, D. G., Jiménez, C., Jung, M., Michel, D., Ershadi, A., McCabe, M. F., Hirschi, M., Martens, B., Dolman, A. J., Fisher, J. B., Mu, Q., Seneviratne, S. I., Wood, E. F. and D. Fernandez-Prieto. 2015. The WACMOS-ET project - Part 2: Evaluation of global terrestrial evaporation data sets. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 12(10): 10651-10700.
41. Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S. and D. Han. 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources* 32(1): 88-97.
42. Nourani, V. and M. Sayyah Fard. 2012. Sensitivity analysis of the artificial neural network outputs in simulation of the evaporation process at different climatologic regimes. *Advances in Engineering Software* 47(1): 127-146.
43. Patle, G. T., Chettri, M. and D. Jhajharia. 2020. Monthly pan evaporation modelling using multiple linear regression and artificial neural network techniques. *Water Supply* 20(3): 800-808.
44. Piri, J., Amin, S., Moghaddamnia, A., Keshavarz, A., Han, D. and R. Remesan. 2009. Daily Pan Evaporation Modeling in a Hot and Dry Climate. *Journal of Hydrologic Engineering* 14(8): 803-811.
45. Root, K. and Papakos, T. H. 2010. Hydrologic Analysis of Flash Floods in Sana'a, Yemen. In *Watershed Management 2010: Innovations in Watershed Management under Land Use and Climate Change*: 1248-1259.
46. Samii, A., Karami, H., Ghazvinian, H., Safari, A. and Y. Dadrasajirlou. 2023. Comparison of DEEP-LSTM and MLP Models in Estimation of Evaporation Pan for Arid Regions. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering* 7(2): 155-175.
47. Simba, F. M. and A. Matorevhu. 2013. Exploring Estimation of Evaporation in Dry Climates Using a Class A? Evaporation Pan. *Irrigation and Drainage Systems Engineering* 2(109): 2.
48. Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M. and T. Nanni. 2010. Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach. *International Journal of Climatology* 30(10): 1564-1576.
49. Singh, A., Singh, R. M., Kumar, A. R. S., Kumar, A., Hanwat, S. and V. K. Tripathi. 2019. Evaluation of soft computing and regression-based techniques for the estimation of evaporation. *Journal of Water and Climate Change* 12(1):32-43.
50. Stanhill, G. 2002. Is the Class A evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements? *Agricultural and Forest Meteorology* 112(3-4): 233-236.
51. Subramanya K. 2013. Engineering hydrology. 4e. Tata McGraw-Hill Education.
52. Torres, E. A. and A. Calera. 2010. Bare soil evaporation under high evaporation demand: a proposed modification to the FAO-56 model. *Hydrological Sciences Journal* 55(3): 303-315.
53. Traore, S., Luo, Y. and G. Fipps. 2016. Deployment of artificial neural network for short-term forecasting of evapotranspiration using public weather forecast restricted messages. *Agricultural Water Management* 163: 363-379.
54. Traore, S., Wang, Y.-M. and T. Kerh. 2010. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone. *Agricultural Water Management* 97(5): 707-714.
55. Wang, L., Niu, Z., Kisi, O., Li, C. and D. Yu. 2017. Pan evaporation modeling using four different heuristic approaches. *Computers and Electronics in Agriculture* 140: 203-213.
56. Wati, T., Sopaheluwakan, A. and F. Fatkhuroyan. 2018. Comparison Pan Evaporation Data with Global Land-surface Evaporation GLEAM in Java and Bali Island Indonesia. *Indonesian Journal of Geography* 50(1): 87.

57. Wilks, D. S. 1995. Statistical methods in the Atmospheric Sciences, 1995. Library of Cataloging-in-Publication, Academic Press: San Diego, CA, 465.
58. Wurbs, R. A. and R. A. Ayala. 2014. Reservoir evaporation in Texas, USA. *Journal of Hydrology* 510: 1–9.

## Field Comparison Studies of the Rate of Evaporation Between Colorado Sunken Evaporation Pan and Class A Evaporation Pans in the Arid Areas (Case Study: Semnan City)

H. R. Ghazvinian, H. Karami\* and Y. Dadrasajirlou<sup>1</sup>

(Received: September 27-2023 ; Accepted: February 14-2024)

### Abstract

One method used to estimate the evaporation rate involves employing various types of evaporation pans, including the standard Colorado Sunken and Class A evaporation pans. This study aimed to investigate and compare the evaporation rates from two pans, Class A and Colorado Sunken, in Semnan City. The Colorado Sunken evaporation pan was utilized as the test pan, and the test was conducted in an open space near the Faculty of Civil Engineering at Semnan University, located in Semnan City. Evaporation measurements were recorded daily for 123 days, from June 1, 2017, to September 31, 2017. The evaporation amount from the Class A pan was obtained from the synoptic station of Semnan city, situated 2.39 km away from the test site, and was subsequently analyzed. Meteorological data, including maximum and minimum temperature, maximum and minimum relative humidity, wind speed, sunshine hours, and air pressure, were also collected from the Semnan synoptic station and compared with the experimental evaporation data. The results indicated no significant difference in the daily evaporation amount between the Class A pan and the Colorado Sunken pan during the tested periods. The best statistical distribution, based on Kolmogorov–Smirnov test, for the Class A evaporation pan and the buried Colorado pan, were selected as Error with ( $k-s=0.05019$ ) and Gamma with ( $k-s=0.05552$ ). The coefficient of determination between the two pans was estimated to be approximately 93%. Further analysis revealed that the rate of evaporation is most closely associated with the maximum daily temperature. Pearson's correlation coefficient for the maximum temperature with the Class A evaporation pan and the Colorado Sunken pan was found to be 0.623 and 0.647, respectively.

**Keywords:** Evaporation, Class A standard evaporation pan, Colorado Sunken standard evaporation pan, Semnan

---

1. Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: Hkarami@semnan.ac.ir