

# برآورد تبخیر از مخازن چاه نیمه

ناصر سعادت خواه\* سید امین سارنگ\*\* مسعود تجریشی\*\*\* احمد ابریشم چی\*\*\*\*

(دریافت ۸۰/۹/۲۶ پذیرش ۸۰/۱۰/۱۷)

## چکیده

به منظور برآورد تبخیر واقعی از سطح مخازن چاه نیمه واقع در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان، روش بیلان آبی به عنوان یکی از اصلی ترین روش های محاسبه تبخیر در سیستم های آبی، با استفاده از داده ها و اطلاعات موجود، به کار گرفته شد. این مخازن با سطح متوسط ۴۱ کیلومتر مربع و عمق متوسط ۱۵ متر، دارای گنجایش بیش از ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب بوده و عمده ترین منبع آب شرب منطقه محسوب می گردند. نتایج بیلان آبی نشان می دهد که میزان تبخیر سالیانه در این مخازن حدود ۲/۹ متر می باشد. همچنین، میزان تبخیر ماهیانه بین ماه های اردیبهشت تا مهر (مه تا اکتبر) با دقت مناسبی برآورد گردید. با توجه به داده های تشتک تبخیر ایستگاه تبخیر سنجی مجاور مخازن چاه نیمه، میزان ضریب تشتک سالیانه در حدود ۰/۶۶ تخمین زده شد. در ادامه مطالعات، روش ها و روابط معتبر دیگر، از جمله رابطه پنمن و مدل CRLE که توسط مورتون ارائه و توسعه داده شده است، برای تخمین تبخیر با استفاده از اطلاعات اقلیمی موجود، به کار گرفته شد. مقایسه نتایج بیلان آبی با رابطه پنمن و مدل CRLE (در آب های کم عمق و آب های عمیق) نشان می دهد که رابطه پنمن میزان تبخیر سالیانه را حدود ۲/۸ متر و با دقت نسبتاً خوبی برآورد می کند. تبخیر سالیانه از مخازن چاه نیمه با استفاده از مدل CRLE در حدود ۱/۸ متر برآورد شده است.

واژه های کلیدی: برآورد تبخیر، مخازن چاه نیمه، روش بیلان آبی، رابطه پنمن، مدل CRLE

## مقدمه

یکی از نواحی مذکور سیستان است. بررسی اقلیمی این ناحیه نشان می دهد که به طور طبیعی استعداد زیادی برای تبخیر وجود دارد. بالا بودن درجه حرارت و وزش بادهای پیوسته و شدید، به همراه پایین بودن رطوبت نسبی، تبخیر را نسبت به سایر مناطق افزایش می دهد. مخازن چاه نیمه واقع در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان، عمده ترین ذخیره سطحی و منبع آب شرب منطقه محسوب می گردد. تبخیر از سطح این مخازن به علت دارا بودن شرایط اقلیمی خاص سیستان بسیار زیاد است. مطالعاتی به منظور برآورد تبخیر واقعی از سطح آن انجام گرفته است که در جدول ۱ خلاصه ای از نتایج آن آمده است. بررسی این جدول نشان از وسیع بودن گستره برآوردها می دهد.

بررسی وضعیت منابع آب در ایران نشان می دهد که متوسط بارندگی سالیانه ایران در حدود ۲۵۱ میلی متر است، که این مقدار ۳۰٪ متوسط بارندگی در خشکی های کره زمین (۸۳۱ میلی متر) می باشد. این در حالی است که متوسط سالیانه تبخیر در ایران تقریباً ۱۷۹ میلی متر، معادل ۷۱ درصد بارندگی متوسط سالیانه برآورد گردیده است [۱]. مقادیر ارائه شده شاهد بر این مدعا است که تبخیر پارامتر مؤثری در بیلان های منطقه ای در ایران است. تبخیر پارامتری است که در بررسی منابع آب یک منطقه علاوه بر کمیت آب موجود، بر کیفیت آن نیز تأثیرگذار است. اهمیت این پارامتر در مناطقی از ایران که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و مشکل کم آبی (آب های سطحی و زیرزمینی) نیز وجود دارد، دو چندان می گردد.

\* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف  
\*\* دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف  
\*\*\* استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف  
\*\*\*\* دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

جدول ۱- نتایج برآورد تبخیر سالیانه از مخازن چاه نیمه بر اساس مطالعات انجام شده [۲، ۵ و ۶].

| مطالعه              | سال انتشار | تبخیر (mm) | تبخیر (MCM) |
|---------------------|------------|------------|-------------|
| کاژه سانبو [۲]      | ۱۳۴۷       | ۲۸۰۰       | ۱۱۷         |
| تهران سحاب [۵]      | ۱۳۶۹       | ۳۴۸۹       | ۱۴۳         |
| ایتال کنسولت [۵]    | ---        | ۲۷۱۲       | ۱۱۱         |
| سازمان هواشناسی [۵] | ---        | ۲۸۴۷       | ۱۱۷         |
| پارس کنسولت [۳]     | ۱۳۷۹       | ۳۰۹۳       | ۱۲۷         |

با استفاده از تشتک‌های استاندارد تبخیر، می‌توان میزان تبخیر را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. مهم‌ترین نوع این تشتک‌ها، که در ایران بیشتر از سایر انواع مرسوم استفاده می‌شود، تشتک استاندارد کلاس A می‌باشد. معمولاً مقدار اندازه‌گیری شده تبخیر از سطح تشتک را با ضرب در ضریب تشتک به تبخیر از سطح آب (دریاچه و یا مخزن) تعمیم می‌دهند. این ضریب به اقلیم و نیز ابعاد و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. در جدول‌های ۲ و ۳، نتایج برخی از مطالعات محققین در مناطق مختلف دنیا ارائه شده است.

روابط تجربی متعددی برای تخمین تبخیر از سطح آزاد آب و دریاچه‌های مختلف ارائه شده که اکثر آنها بر اساس قانون دالتون<sup>۷</sup> پایه‌گذاری شده‌اند. در برخی از روابط مزبور اصلاحاتی برای منظور کردن پارامترهای مؤثر بر تبخیر نظیر سرعت باد، درجه حرارت سطح آب، درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، فشار اتمسفر، وسعت سطح تبخیر و مواردی از این قبیل، در رابطه اصلی صورت گرفته است. با این وجود، اکثر این روابط برای تخمین تبخیر در منطقه‌ای خاص توسعه داده شده‌اند، و قابلیت کاربرد در مناطق دیگر را ندارند. نکته دیگر آن که برخی از این روابط به اطلاعات اندازه‌گیری شده از سطح دریاچه نیاز دارند.

روش بیلان آبی بر اساس رابطه پیوستگی سیکل هیدرولوژیک برای سیستم آبی مورد مطالعه (مثل دریاچه)، میزان تبخیر را با داشتن مقدار از تعیین و یا تخمین سایر پارامترها برآورد می‌کند. در شرایط ایده‌آلی که نگهداری و پایش سیستم به نحو خوبی صورت گرفته باشد، و اطلاعات نسبتاً دقیقی از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم در یک دوره زمانی وجود داشته باشد، این روش نتایج

از این رو، مطالعات پایه‌ای برای برآورد تبخیر واقعی از مخازن با استفاده از روش‌های معتبر صورت گرفت، که موضوع اصلی این مقاله می‌باشد. در این مطالعات، روش بیلان آبی به عنوان ابتدایی‌ترین روش به کار گرفته شد و پس از بررسی نتایج، بخشی از تحلیل‌ها مبنا قرار داده شد. سپس روابط و مدل‌های معتبر دیگر مورد بررسی قرار گرفت و نقاط ضعف و قوت هر یک و میزان قابلیت آن‌ها در تخمین تبخیر از مخازن چاه نیمه تدوین گردید.

### روش‌های اندازه‌گیری و تخمین تبخیر

تخمین تبخیر از سطح آب یکی از نیازهای اصلی برنامه‌ریزی و طراحی در پروژه‌های توسعه منابع آب است. در طراحی سد برای تأمین آب کشاورزی، آب شرب و یا هر هدف دیگر، بایستی ظرفیت مخزن آن با در نظر گرفتن تلفات تبخیر از آن، تعیین شود. به طور مشابه، در صورتی که مقدار تلفات تبخیر در طراحی یک کانال طویل در یک منطقه خشک یا نیمه خشک منظور نگردد، طراحی دارای یک خطای زیاد و جدی می‌باشد.

روش‌های اندازه‌گیری و تخمین تبخیر را می‌توان به ۶ دسته تقسیم‌بندی کرد:

۱. استفاده از تشتک‌های تبخیر<sup>۱</sup>
۲. روابط تجربی<sup>۲</sup>
۳. روش بیلان آبی<sup>۳</sup>
۴. روش بیلان انرژی<sup>۴</sup>
۵. روش انتقال جرم<sup>۵</sup>
۶. روش ترکیبی بیلان انرژی و انتقال جرم<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> Evaporation Pans

<sup>۲</sup> Empirical Equations

<sup>۳</sup> Water Budget Method

<sup>۴</sup> Energy Budget Method

<sup>۵</sup> Mass Transfer Method

<sup>۶</sup> Combined Mass Transfer and Energy Budget Method

<sup>۷</sup> Dalton

جدول ۲- ضریب تشکک کلاس A [۶].

| محقق           | سال  | ضریب      | محقق             | سال  | ضریب      |
|----------------|------|-----------|------------------|------|-----------|
| یانگ           | ۱۹۴۷ | ۰/۷۷      | استان هیل        | ۱۹۷۰ | ۰/۷۰      |
| پنمن           | ۱۹۴۸ | ۰/۷۸      | آلن و کرو        | ۱۹۷۱ | ۰/۷۵-۰/۷۸ |
| کهلر و همکاران | ۱۹۵۵ | ۰/۶۰-۰/۸۲ | فیکر             | ۱۹۷۲ | ۰/۷۶      |
| هاریک          | ۱۹۵۸ | ۰/۶۹      | هونام            | ۱۹۷۳ | ۰/۷۲-۰/۸  |
| نوردنسن و بیکر | ۱۹۶۲ | ۰/۷۴      | نوویرت           | ۱۹۷۳ | ۰/۷۲      |
| نیمو           | ۱۹۶۴ | ۰/۶۱-۰/۷۹ | هوی              | ۱۹۷۷ | ۰/۷۸      |
| سلزر           | ۱۹۶۵ | ۰/۸۲      | گرت و هوی        | ۱۹۷۸ | ۰/۶۳-۰/۹۴ |
| وب             | ۱۹۶۶ | ۰/۷۰      | لینسلی و همکاران | ۱۹۸۲ | ۰/۷۱-۰/۷۳ |
| استان هیل      | ۱۹۶۹ | ۰/۶۷      | دورو             | ۱۹۸۴ | ۰/۷۹      |

جدول ۳- مقایسه ضریب تشکک کلاس A در چند منطقه [۷].

| مکان          | دوره       | ضریب      | مکان      | دوره         | ضریب |
|---------------|------------|-----------|-----------|--------------|------|
| شوروی سابق    |            |           | آمریکا    |              |      |
| دوبووکا       | مه-اکتبر   | ۰/۶۴      | دیویس     | سالیانه      | ۰/۷۲ |
| والدی         | مه-سپتامبر | ۰/۶۷-۰/۸۲ | دنور      | سالیانه      | ۰/۶۷ |
| انگلیس        |            |           | فلت.ال    |              |      |
| لندن          | سالانه     | ۰/۷۰      | کالنیز    | آوریل-نوامبر | ۰/۷۰ |
| استرالیا      |            |           | فولرتون   |              |      |
| ال-آلباکوتیا  | سالیانه    | ۰/۷۹      | کلرادو    | سالیانه      | ۰/۷۲ |
| ال-کان دیالا  | سالیانه    | ۰/۷۱      | الیسنور   | سالیانه      | ۰/۷۷ |
| ال-هیندمارد   | سالیانه    | ۰/۷۴      | هفتر      | سالیانه      | ۰/۶۹ |
| ال-میندی      | سالیانه    | ۰/۷۱      | مید       | سالیانه      | ۰/۶۶ |
| ال-پامامارو   | سالیانه    | ۰/۶۶      | اوکی چوبی | سالیانه      | ۰/۸۱ |
| استفس. ر.     | سالیانه    | ۰/۶۹      | ردبلف     | سالیانه      | ۰/۶۸ |
| فلسطین اشغالی |            |           | سالتون سی |              |      |
| لوداروپورت    | سالیانه    | ۰/۷۴      | سیلور هیل | آوریل-نوامبر | ۰/۷۴ |
| هند           |            |           | استرلینگ  |              |      |
| پونا          | سالیانه    | ۰/۶۹      |           | آوریل-نوامبر | ۰/۶۹ |

که پارامترهای به کار رفته در رابطه فوق عبارتند از: P بسارش،  $I_s$  جریان ورودی سطحی،  $I_g$  جریان ورودی زیرزمینی،  $O_s$  جریان خروجی سطحی،  $O_g$  جریان خروجی زیرزمینی،  $\Delta S$  تغییرات حجم ذخیره آب، T میزان تعرق و E میزان تبخیر.

روش بیلان انرژی که با نام روش توازن انرژی نیز خوانده می‌شود، تقریباً مشابه روش بیلان آبی است، با این تفاوت که در سیستم آبی مورد مطالعه، رابطه بقای انرژی

نسبتاً دقیقی ارائه می‌دهد. در برخی مراجع دوره زمانی یک‌ساله برای استفاده از این روش در تخمین تبخیر، مناسب تشخیص داده شده است، و دوره‌های ماهیانه و کمتر، به علت تأثیر تغییرات فصلی پارامترهای مؤثر بر تبخیر، مناسب تشخیص داده نشده است. رابطه بیلان آبی برای یافتن میزان تبخیر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$E = P + (I_s - O_s) + (I_g - O_g) - T - \Delta S \quad (1)$$

سرعت عمودی باد بر سطح تبخیر می‌باشد. به همین لحاظ، این روش گسترش چندانی نکرده است، و بیشتر برای آزمایش‌های پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ ولی تحقیقات روی این روش همچنان ادامه دارد.

در بین روش‌های ارائه شده، روش ترکیبی بیلان انرژی و انتقال جرم، که اولین بار توسط پنمن (۱۹۴۸) ارائه گردید، کاربردی‌تر و همراه با نتایج قابل قبول می‌باشد. رابطه پنمن را محققین دیگری برای کاربردی‌تر نمودن آن اصلاح کرده‌اند، که مبنای همگی آنها به صورت رابطه ۲ می‌باشد. ضرایب این رابطه برای هر یک از روش‌ها در جدول ۴ تدوین شده است.

$$E = \left( A \frac{R_n \Delta}{\Delta + \gamma} \right) + B \frac{\gamma E_a}{\Delta + \gamma} / (L_e P) \quad (2)$$

در این رابطه E میزان تبخیر،  $L_e$  گرمای نهان تبخیر آب،  $\Delta$  شیب منحنی درجه حرارت-فشار بخار اشباع،  $\gamma$  ثابت رطوبتی،  $R_n$  میزان انرژی یا تشعشع خالص و  $E_a$  تابعی بر اساس قانون دالتون با فرض یکسان بودن درجه حرارت سطح آب و درجه حرارت هوا می‌باشد.

ضریب  $\alpha$  (جدول ۴) به توصیه پرستلی و تیلور برای سطوح اشباع، که اصطلاحاً به آن سطح آب با همرفت آزاد می‌گویند، معادل ۱/۲۶ تعیین شده است. هرچند که یوری و تائر (۱۹۷۵) این ضریب را ۱/۲۸ برآورد کرده‌اند [۹].

علاوه بر روش‌های مذکور، مورتون بر اساس رابطه پنمن، مدل CRLE را به منظور بر طرف کردن برخی از نقاط ضعف روابط پنمن و رابطه پرستلی-تیلور ارائه داده است. مورتون (۱۹۷۸) در ادامه مطالعات خویش و با استفاده از نتایج قبلی تحقیقاتش (۱۹۷۶، ۱۹۷۵، ۱۹۷۱، ۱۹۷۰، ۱۹۶۹، ۱۹۶۸، ۱۹۶۷ و ۱۹۶۵)، مدلی را با نام CRAE<sup>۱</sup> برای تخمین میزان تبخیر و تعرق واقعی از زمین ارائه داد [۱۲]. وی در سال ۱۹۷۹ مدل را برای تخمین تبخیر از سطح دریاچه‌ها (مدل CRLE) توسعه داد و در ادامه تحقیقاتش در سال ۱۹۸۲ مدل را برای ارائه نتایج بهتر و کاربرد در مناطقی با اقلیم‌های مختلف تغییرات کوچکی داد [۱۵]. نتایج مدل و مقایسه آن با چند روش مختلف، از جمله روش بیلان آبی در دریاچه‌ها و مناطق مختلف در کشورهای ایالات متحده آمریکا، کانادا، ایرلند و

به کار برده شده، و از آن‌جا میزان انرژی مصرف شده برای تبخیر از سطح آزاد آب تعیین می‌گردد. در صورت وجود اندازه‌گیری‌های کافی و مناسب، این روش دارای دقت مناسبی (در حدود ۱۰٪ خطا) خواهد بود؛ هرچند که استفاده از روابط تجربی برای تعیین پارامترهای موجود در رابطه توازن انرژی سبب کاهش دقت خواهد گردید.

در روش انتقال جرم، تبخیر به صورت انتقال آشفته بخار مورد تحلیل قرار می‌گیرد، و با عناوین روش شار بخار و یا روش آئرونامیکی نیز خوانده می‌شود. در این روش شار خروجی بخار آب از سطح تبخیر اندازه‌گیری و از روی آن مقدار تبخیر برآورد می‌شود. روش انتقال جرم ابتدا در دریاچه هفتر در ایالت اکلاهاما طی سال‌های ۱۹۵۴ تا ۱۹۵۸ بررسی گردید، و سپس در دریاچه انتاریو<sup>۱</sup> توسط فیلیپس (۱۹۷۸) و کوپین (۱۹۷۹) و نیز دریاچه سوپریور<sup>۲</sup> توسط درکی (۱۹۸۱) توسعه داده شد [۸]. این روش ممکن است به سه صورت ارائه گردد (شکل ۱):

۱. روش پیش‌رونده صریح<sup>۳</sup>
۲. روش شار بخار دو نقطه‌ای<sup>۴</sup>
۳. روش مستقیم شار گردابی<sup>۵</sup>

روش پیش‌رونده صریح در واقع همان رابطه دالتون است. در روش شار بخار دو نقطه‌ای، با داشتن مشخصه‌های هواشناسی در دو نقطه از بالای سطح تبخیر، مقدار نرخ تبخیر را می‌توان به دست آورد. این روش، به طور مستقیم انرژی مصرف شده برای تبخیر را با استفاده از سرعت باد عمودی و محتوای بخار هوا در هر نقطه بالای سطح تبخیر محاسبه می‌کند. آن‌چنان که در نوشته‌های فنی سازمان هواشناسی جهانی عنوان گردیده است، این روش دقیق‌ترین روشی است که می‌تواند نرخ تبخیر واقعی را برآورد کند. تئوری و روش اندازه‌گیری این روش در استرالیا بسط یافته و تجهیزاتی که به صورت مستقیم میزان تبخیر را محاسبه نماید، نیز ساخته شده است. این ابزار مجهز به ابزار الکترونیکی و سنسورهای دقیقی برای تعیین

<sup>1</sup> Ontario

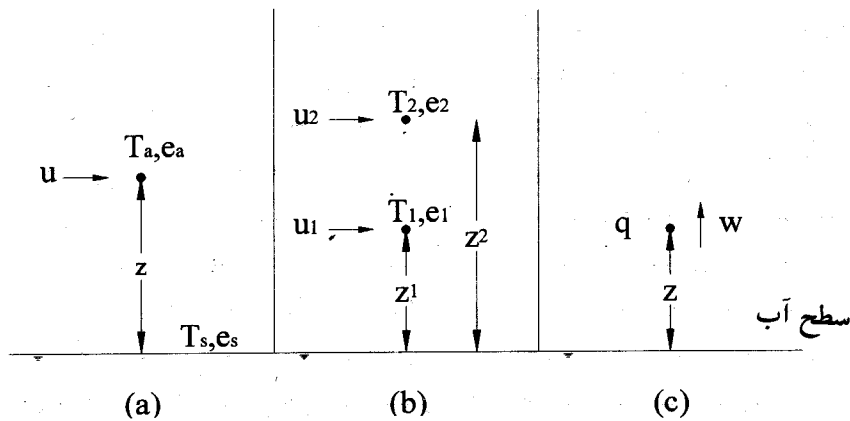
<sup>2</sup> Superior

<sup>3</sup> Most Straightforward Method

<sup>4</sup> Second Vapour Flux Method

<sup>5</sup> Direct Eddy Flux or Eddy Correlation System

<sup>6</sup> Complementary Relationship Areal Evapotranspiration



شکل ۱- روش انتقال جرم در تخمین تبخیر: (a): روش پیش‌رونده صریح، (b): روش شار بخار دو نقطه‌ای و (c): روش مستقیم شار گردابری.

جدول ۴- مقدار ضریب تعیین شده توسط محققین در رابطه ۲ [۱۰ و ۱۱]

| محقق              | سال  | A | B                   | توضیح                  |
|-------------------|------|---|---------------------|------------------------|
| پنمن              | ۱۹۴۸ | ۱ | ۱                   | تبخیر از سطح مرطوب     |
| استاتلر و مک لوری | ۱۹۶۱ | ۱ | ۰                   | تبخیر معادل            |
| پریستلی و تیلور   | ۱۹۷۲ | A | ۰                   | رابطه حداقل همرفت      |
| دی برون           | ۱۹۷۸ | ۱ | $\alpha/(\alpha-1)$ | تبخیر از آب‌های کم‌عمق |

۵. منظور نکردن میزان کمبود فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی (رابطه پریستلی-تیلور) [۱۴].

مدل به صورتی تدوین شده است که برای تخمین تبخیر ماهیانه از آب‌های کم عمق، از میان پارامترهای اقلیمی فقط به درجه حرارت هوا، دمای نقطه شبنم (یا فشار بخار واقعی و یا رطوبت نسبی) و تعداد ساعات آفتابی (و یا تشعشع خورشیدی رسیده به سطح زمین) نیاز دارد [۱۴]. هم‌چنین، برای آن که اثر ذخیره گرمایی لایه‌های زیرین در میزان تبخیر ماهیانه لحاظ گردد، دانستن اطلاعات مختصری از کیفیت آب (TDS) و عمق متوسط دریاچه و یا مخازن ضروری است [۱۵].

نکته حائز اهمیت در این مدل این است که ضریب انتقال بخار مورد استفاده، مستقل از میزان آشفته‌گی هوا و سرعت باد تعیین شده، و پارامترهای مؤثر در این ضریب با استفاده از نتایج دیگر مطالعات واسنجی شده است.

حتی کنیا، مصر و سودان، حاکی از نتایج نسبتاً مناسب آن می‌باشند [۱۳].

معایب روابط پنمن و پریستلی-تیلور، که مورتون را بر آن داشت تا مدل مفیدتری را برای تخمین تبخیر (و تعرق) ارائه دهد، به شرح زیر است:

۱. عدم در نظر گرفتن تغییرات ذخیره گرمایی در لایه‌های زیرین آب و در نتیجه عدم کاربرد در دریاچه‌ها و مخازن عمیق (روابط پنمن و پریستلی-تیلور).
۲. نادیده گرفتن اثر تغییرات درجه حرارت سطح آب (روابط پنمن و پریستلی-تیلور).
۳. عدم لحاظ کردن انرژی همرفت در طی فصول سرد در اثر جا به جایی‌های گسترده هوا (روابط پنمن و پریستلی-تیلور).
۴. متأثر بودن رابطه از موقعیت اندازه‌گیری درجه حرارت هوا و دیگر پارامترهای اقلیمی (روابط پنمن و پریستلی-تیلور).

در این مقاله، نتایج روش‌های بیلان آبی، رابطه پنمن و مدل CRLE برای تخمین تبخیر از مخازن چاه نیمه ارائه گردیده و قابلیت‌های هر یک از روش‌ها بررسی می‌گردد.

### منطقه مورد مطالعه

چاه نیمه‌های سیستان، در بخش شمالی و منتهی‌الیه دلتای هیرمند در شهرستان زابل، و در شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان، در عرض جغرافیایی  $30^{\circ}49'$  و طول جغرافیایی  $60^{\circ}49'$  واقع گردیده است. مخازن چاه نیمه مطابق شکل ۲ متشکل از ۳ فرورفتگی طبیعی در دشت سیستان می‌باشند، که مهم‌ترین دلایل ساخت این مخازن عبارت بودند از: الف) ذخیره آب رودخانه سیستان که دارای رژیم متغیر می‌باشد و ب) استفاده از آب ذخیره شده برای تأمین آب شرب و کشاورزی ساکنان منطقه [۲]. مطالعات این مخازن از سال ۱۳۴۷ شروع گردیده ولی عملاً در سال ۱۳۶۴ مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

اجزای سیستم مخازن عبارتند از: مخازن ۱ تا ۳، سازه دهانه آبگیر، کانال ورودی، مجاری بین مخازن، سد چاه نیمه، سدهای فرعی چاه نیمه، دهانه آبگیر خروجی و کانال خروجی.

اقلیم منطقه به طور کلی خشک و نیمه خشک بوده و میزان تبخیر تشتک رقم بسیار زیادی (بیش از ۴ متر) را نشان

می‌دهد. همچنین، حداکثر سرعت باد و دمای هوا و حداقل رطوبت نسبی اغلب در یک دوره زمانی از سال (ماه‌های تیر و مرداد) اتفاق می‌افتد، و این اصلی‌ترین دلیل افزایش تبخیر در این موقع از سال می‌باشد. آمار متوسط ماهیانه و سالیانه دمای هوا، سرعت باد در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بالای تشتک، رطوبت نسبی و بارش بر اساس آمار ۷ ساله ایستگاه تبخیرسنجی چاه نیمه (۱۳۷۹-۱۳۷۳) در جدول ۵ ارائه گردیده است. همان گونه که در این جدول قابل مشاهده است، میزان تبخیر از تشتک بسیار بیشتر از بارندگی سالیانه در منطقه می‌باشد. از این رو، تبخیر به لحاظ کمبود آب در منطقه اهمیت دو چندان داشته و تبیین روند و میزان آن در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

### بیلان آبی

مخازن چاه نیمه دارای شرایط ویژه‌ای است که سبب استفاده مؤثرتر از روش بیلان آبی برای تخمین تبخیر در این سیستم آبی می‌گردد. شرایط ژئوتکنیکی بستر و کناره‌های این مخازن نشان از وجود لایه‌های رس سیلتی می‌باشد، که این لایه‌ها میزان نفوذ و تراوش زیرزمینی از مخازن را تا حد زیادی کاهش می‌دهد، تا آنجا که صرفنظر کردن از میزان ورودی‌ها و خروجی‌های



جدول ۵- مقادیر متوسط ماهیانه و سالیانه پارامترهای اقلیمی منطقه چاه نیمه.

| ماه     | دما (°C) | سرعت باد (m/s) | رطوبت نسبی (%) | بارش (mm) | تبخیر تشک (mm) |
|---------|----------|----------------|----------------|-----------|----------------|
| ژانویه  | ۹/۱      | ۱/۸            | ۵۹/۵           | ۱۱/۷      | ۸۷/۸           |
| فوریه   | ۱۲/۰     | ۲/۲            | ۵۷/۲           | ۱۰/۴      | ۱۰۴/۶          |
| مارس    | ۱۶/۸     | ۲/۴            | ۵۴/۰           | ۱۲/۸      | ۱۷۹/۲          |
| آوریل   | ۲۴/۳     | ۲/۴            | ۵۴/۰           | ۱۲/۸      | ۱۷۹/۲          |
| مه      | ۲۹/۰     | ۳/۶            | ۳۷/۷           | ۰/۹       | ۴۴۳/۰          |
| ژوئن    | ۳۳/۱     | ۴/۷            | ۳۴/۵           | ۰/۰       | ۶۴۱/۵          |
| ژولای   | ۳۴/۵     | ۵/۹            | ۳۱/۰           | ۰/۰       | ۸۲۷/۴          |
| اگوست   | ۳۳/۶     | ۵/۶            | ۲۸/۶           | ۰/۰       | ۷۹۸/۹          |
| سپتامبر | ۲۸/۹     | ۴/۱            | ۳۱/۴           | ۰/۰       | ۵۴۵/۲          |
| اکتبر   | ۲۳/۲     | ۲/۶            | ۴۰/۷           | ۰/۳       | ۳۱۴/۰          |
| نوامبر  | ۱۶/۴     | ۱/۹            | ۵۱/۵           | ۱/۲       | ۱۷۹/۲          |
| دسامبر  | ۱۱/۴     | ۱/۵            | ۵۹/۷           | ۴/۷       | ۹۷/۸           |
| سالیانه | ۲۲/۸     | ۳/۲            | ۴۳/۶           | ۵۱/۰      | ۴۵۰۰           |

جریان‌های زیرزمینی را میسر می‌سازد. از طرفی، به سبب وجود بسیار ناچیز گیاهان و جلبک‌های دریایی روی سطح دریاچه، مقدار تعرق از مخازن تا حد صفر تنزل پیدا کرده و در نتیجه تنها تلفات از مخازن، تبخیر از سطح آزاد آب خواهد بود.

تنها جریان ورودی سطحی به داخل مخازن، از طریق کانال ورودی صورت گرفته و خروج جریان‌های سطحی نیز به دو منظور شرب (از طریق ایستگاه پمپاژ) و کشاورزی (از طریق کانال خروجی) صورت می‌پذیرد.

با این اوصاف، رابطه ۱ برای مخازن چاه نیمه به صورت زیر در خواهد آمد:

$$E = P + I_F - (O_A + O_D) - \Delta S \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $I_F$  ورودی از طریق فیدر کانال،  $O_A$  خروجی به منظور کشاورزی،  $O_D$  خروجی به منظور شرب،  $P$  میزان بارش بر سطح آب مخازن،  $\Delta S$  تغییرات حجم مخزن در دوره زمانی مشخص و  $E$  میزان تبخیر از سطح آب می‌باشد. لازم به ذکر است که تمامی پارامترهای مذکور بایستی برای یک دوره زمانی و با واحدهای یکسان در رابطه به کار گرفته شوند.

در جدول ۶ اطلاعات موجود برای تحلیل بیلان آبی منطقه گردآوری شده است. برای برآورد سطح و حجم مخازن با استفاده از تراز آب مخازن از مطالعات

هیدروگرافی انجام شده در مخازن چاه نیمه در سال‌های آبی ۶۷-۶۶ و ۷۹-۷۸، که توسط مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو انجام گرفته است، استفاده می‌گردد [۴]. با استفاده از نتایج این مطالعات، منحنی‌های تراز-سطح-حجم مخازن قابل دسترس می‌باشد. منحنی‌های تراز-سطح-حجم مخازن طی سال‌های آبی دیگر از روش درون‌یابی و برون‌یابی استخراج گردیدند. منبای درون‌یابی و برون‌یابی این بود که نرخ رسوب‌گذاری در مخازن با توان  $۰/۷۲$  آورد ورودی تناسب دارد [۶]، و با در دسترس بودن آمار ورودی در هر سال آبی، میزان نرخ رسوب‌گذاری در مخازن پیش‌بینی گردید. برای سهولت در محاسبات کامپیوتری، بر داده‌های تراز-سطح-حجم، معادلات چند جمله‌ای از درجه چهارم با ضریب هم‌بستگی بالا (بیش از ۰/۹۹) برازش داده شد.

بر اساس آمار و اطلاعات موجود و با منظور کردن فرضیاتی در استفاده از آنها، رابطه بیلان آبی برای دوره‌های روزانه، ماهیانه و سالیانه محاسبه گردید. با بررسی محاسبات، برخی از نتایج به علل مختلف از جمله:

۱. عدم دقت لازم آمار برای دوره‌های زمانی کوتاه،
۲. احتمال در تله افتادن آب بین سه مخزن،
۳. عدم صحت آمار (به ویژه آمار دبی‌های ورودی و خروجی) در برخی زمان‌ها، و

۴. خطاهای ناشی از فرضیات،

به کلی کنار گذاشته شد، و فقط نتایج تبخیر ماهیانه در ماه‌های مه تا اکتبر (خرداد تا مهر) و نتایج سالیانه به عنوان نتایج قابل قبول و قابل استناد پذیرفته شد.

در جدول ۷ نتایج متوسط تبخیر ماهیانه در ماه‌های مه تا اکتبر و در شکل ۳ نتایج سالیانه تبخیر از مخازن چاه نیمه در طی دوره شبیه‌سازی (۱۹۸۶ تا ۱۹۹۹ میلادی مطابق با ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۹ شمسی) ارائه شده است.

علل صحت قابل قبول نتایج بیلان ماهیانه (مه تا اکتبر) و سالیانه تبخیر از مخازن چاه نیمه را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر شرح داد:

۱. با توجه به شرایط خاص مخازن چاه نیمه (ناچیزی نفوذ و تراوش و نیز کم بودن تعرق) و نیز شرایط اقلیمی منطقه (کمبود بارش)، برآورد تبخیر در دوره‌های بلندمدت نظیر سالیانه با حداقل خطا مواجه خواهد بود؛ هم‌چنان که در دیگر مراجع نیز دوره سالیانه برای برآورد تبخیر مناسب تشخیص داده شده است [۱۶].

۲. در طی ماه‌های مه تا اکتبر علاوه بر موارد فوق، ورودی و خروجی به مخزن ناچیز بوده و از این رو خطای ناشی از قرائت و ثبت داده‌های ورودی و خروجی نیز به

حداقل خواهد رسید. بنابراین نتایج تبخیر ماهیانه در این دوره زمانی نیز قابل اتکا خواهد بود.

نکته لازم به ذکر آن است که استفاده از بیلان آبی به منظور برآورد تبخیر، جزو روش‌های مستقیم محسوب می‌گردد، و این در حالی است که روش‌های معمول دیگر نظیر روابط نوع پنمن، روابط آیرودینامیکی و مدل CRLE، به صورت غیر مستقیم تبخیر را به نوعی تخمین می‌زنند. بنابراین، مبنا قرار دادن این روش (در صورتی که نتایج قابل قبولی ارائه دهد)، برای بررسی و احتمالاً واسنجی دیگر روابط و روش‌ها غیر معمول و غیر منطقی نخواهد بود، و بسیاری از محققین استفاده از روش بیلان آبی را در برآورد تبخیر واقعی از سطح دریاچه‌ها و مخازن به کار برده و آن را کارا معرفی نموده‌اند.

نتایج سالیانه نشان می‌دهد که متوسط تبخیر سالیانه ۱۲۸ میلیون مترمکعب معادل ۲۹۱۴ میلی‌متر می‌باشد. در ضمن، در طی دوره شبیه‌سازی، متوسط حجم مخزن ۶/۴۸۵ میلیون متر مکعب و متوسط سطح آب مخازن ۴۱/۲ کیلومتر مربع بوده است. به بیان دیگر، متوسط تبخیر سالیانه حدود ۲۶ درصد حجم متوسط مخازن چاه نیمه می‌باشد.

جدول ۶- آمار و اطلاعات موجود برای استفاده در رابطه بیلان آبی.

| توضیحات   | دوره آماری |           | نوع     | نماد           | پارامتر              |
|-----------|------------|-----------|---------|----------------|----------------------|
|           | تا تاریخ   | از تاریخ  |         |                |                      |
| (۱)       | ۱۳۷۹/۱۱/۳۰ | ۱۳۷۳/۲/۵  | روزانه  | P              | بارندگی              |
| ---       | ۱۳۷۹/۶/۳۱  | ۱۳۶۴/۷/۱  | روزانه  | I <sub>F</sub> | دبی ورودی            |
| ---       | ۱۳۷۹/۶/۳۱  | ۱۳۶۴/۷/۱  | روزانه  | Q <sub>A</sub> | دبی خروجی (کشاورزی)  |
| (۲) و (۳) | ۱۳۷۹/۸/۳۰  | ۱۳۷۳/۱/۱۶ | ماهیانه | Q <sub>D</sub> | دبی خروجی (مصرف شرب) |
| (۴)       | ۱۳۷۹/۱۲/۳۰ | ۱۳۶۴/۷/۱  | روزانه  | ---            | اشل مخازن            |

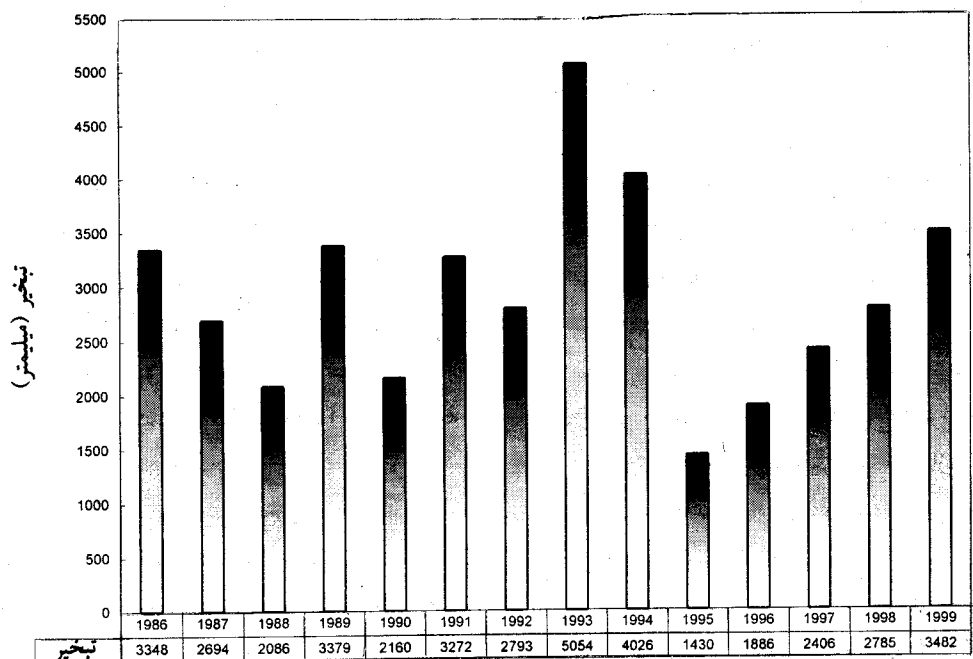
توضیحات:

- (۱) از تاریخ ۱۳۶۴/۷/۱ تا ۱۳۷۳/۲/۵ از اعداد ثبت شده در برگه‌های ثبت اشل چاه نیمه استفاده می‌شود.
- (۲) برای محاسبه مقادیر روزانه، مقادیر ماهیانه به تعداد روزهای ماه تقسیم می‌شود.
- (۳) برای دوره زمانی ۱۳۶۴/۷/۱ تا ۱۳۷۳/۱/۱۵ از نزدیک‌ترین آمار یعنی آمار فروردین ۱۳۷۳ استفاده می‌گردد.
- (۴) با استفاده از منحنی‌های تراز-سطح-حجم در سال‌های آبی ۶۷-۶۶ و ۷۹-۷۸، می‌توان مقدار حجم و سطح مخزن را به صورت روزانه، برای سال‌های آبی مذکور، و با استفاده از درون‌یابی و برون‌یابی برای سال‌های آبی دیگر به دست آورد.

جدول ۷- میزان تبخیر متوسط ماهیانه مه تا اکتبر با استفاده از روش بیلان آبی (میلی‌متر).

| سال       | مه  | ژوئن | ژولای | اگوست | سپتامبر | اکتبر |
|-----------|-----|------|-------|-------|---------|-------|
| ۱۹۸۶-۱۹۹۹ | ۲۹۳ | ۳۳۲  | ۴۵۶   | ۴۱۹   | ۳۸۲     | ۲۵۴   |





شکل ۳- میزان تبخیر سالیانه با استفاده از بیلان آبی.

جدول ۸- مقایسه نتایج تخمین تبخیر با استفاده از روش‌های نوع پنمن با روش بیلان آبی (میلی متر).

| رابطه            | مه  | ژوئن | ژولای | اگوست | سپتامبر | اکتبر | سالیانه |
|------------------|-----|------|-------|-------|---------|-------|---------|
| پنمن             | ۳۲۱ | ۳۹۲  | ۴۶۴   | ۴۳۹   | ۳۰۶     | ۱۹۰   | ۲۸۱۷    |
| اسلاتیر-مک لیروی | ۱۶۱ | ۱۸۰  | ۱۸۲   | ۱۶۲   | ۱۲۰     | ۸۰    | ۱۲۳۶    |
| پریستلی-تیلور    | ۲۰۳ | ۲۲۶  | ۲۲۹   | ۲۰۵   | ۱۵۱     | ۱۰۱   | ۱۵۵۸    |
| دی برون          | ۳۷۳ | ۵۰۵  | ۶۸۰   | ۶۶۵   | ۴۳۷     | ۲۴۹   | ۳۶۹۸    |
| بیلان آبی        | ۲۹۳ | ۳۳۲  | ۴۵۶   | ۴۱۸   | ۳۸۲     | ۲۵۴   | ۲۹۰۲    |

جدول ۹- نتایج تبخیر مدل CRLE برای آب‌های کم عمق و عمیق و مقایسه با نتایج بیلان آبی (میلی متر).

| روش     | CRLE<br>آب‌های کم عمق | CRLE<br>آب‌های عمیق | بیلان آبی |
|---------|-----------------------|---------------------|-----------|
| ژانویه  | ۴۹                    | ۴۹                  | ---       |
| فوریه   | ۶۹                    | ۶۶                  | ---       |
| مارس    | ۱۰۳                   | ۹۷                  | ---       |
| آوریل   | ۱۶۱                   | ۱۴۷                 | ---       |
| مه      | ۲۱۸                   | ۲۰۵                 | ۲۹۳       |
| ژوئن    | ۲۴۵                   | ۲۳۶                 | ۳۳۲       |
| ژولای   | ۲۵۸                   | ۲۵۶                 | ۴۵۶       |
| اگوست   | ۲۳۶                   | ۲۴۱                 | ۴۱۹       |
| سپتامبر | ۱۸۰                   | ۱۹۱                 | ۳۸۲       |
| اکتبر   | ۱۲۴                   | ۱۳۹                 | ۲۵۴       |
| نوامبر  | ۷۶                    | ۸۷                  | ---       |
| دسامبر  | ۵۱                    | ۵۵                  | ---       |
| سالیانه | ۱۷۷۰                  | ۱۷۷۰                | ۲۹۱۴      |

با بررسی نتایج ماهیانه مشخص می‌گردد که در حدود ۷۰٪ از تبخیر سالیانه در طی ۶ ماه از سال (مه تا اکتبر) روی می‌دهد. میزان تبخیر در دوره‌ای از سال که مصادف با فصل گرمای منطقه توأم با وزش بادهای سنگین و پیوسته (بادهای یکصد و بیست روزه) می‌باشد، حدود ۵۴٪ تبخیر سالیانه است؛ این دوره از اواخر مه تا اوایل سپتامبر (خرداد تا شهریور) طول می‌کشد.

### رابطه پنمن

نتایج تخمین تبخیر ماهیانه و سالیانه با استفاده از روش‌های مبتنی بر رابطه پنمن (رابطه ۲ و جدول ۴) و مقایسه آن با نتایج بیلان آبی در جدول ۸ آمده است. برای تخمین میزان تشعشع با استفاده از ساعات آفتابی از الگوریتم مورتون استفاده گردیده است. از آن‌جا که تعداد ساعات آفتابی در ایستگاه چاه نیمه ثبت نمی‌گردد، از آمار ایستگاه هواشناسی زابل استفاده شده است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که روش‌های اسلاتیر-مک‌لیروی (روش تبخیر معادل) [۱۱] و روش پریستلی-تیلور (روش حداقل همرفت) [۱۱] به علت نادیده و یا ناچیز انگاشتن اثر فشار بخار و تأثیر باد در انتقال بخار، نتایج چندان مناسبی را ارائه نمی‌دهند. علیرغم این که عدم قابلیت این روش‌ها در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در مناطقی با جریان همرفت ناچیز قابل اثبات نیست، لیکن نمی‌توانند میزان تبخیر از مناطقی نظیر مخازن چاه نیمه با جریان همرفت شدید را به صورت نسبتاً دقیق برآورد نمایند. با توجه به این که رابطه دی‌برون از جمع‌بندی رابطه پریستلی-تیلور و رابطه پنمن استنتاج گردیده است، نتایج به دست آمده کاملاً قابل پیش‌بینی بود. میزان تخمین تبخیر این رابطه بیش از میزان تبخیر رابطه پنمن و مقدار واقعی تبخیر (بیلان آبی) و بسیار بیش از رابطه پریستلی-تیلور می‌باشد.

از مقایسه نتایج (جدول ۸)، اعتبار رابطه پنمن در منطقه مورد مطالعه، بیش از پیش مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است که در این روابط برای برآورد تشعشع از روابط تجربی-تئوری (الگوریتم مورتون) استفاده گردیده است.

### نتایج مدل CRLE

نتایج تخمین تبخیر متوسط ماهیانه و سالیانه با استفاده از مدل CRLE برای آب‌های کم عمق (صرف‌نظر از تأثیر

ذخیره گرمایی لایه‌های زیرین) و آب‌های عمیق، و مقایسه آن با نتایج بیلان آبی در جدول ۹ ارائه گردیده است. مقایسه نتایج ماهیانه مدل CRLE برای آب‌های کم عمق و آب‌های عمیق نشان می‌دهد که میزان تخمین تبخیر توسط مدل برای آب‌های عمیق در فصول گرم، که مقداری از انرژی گرمایی صرف ذخیره‌سازی در مخزن می‌گردد، کمتر از مدل آب‌های کم عمق می‌باشد. با این وجود اثر گرمایی ذخیره شده در مخازن تأثیر زیادی بر تبخیر ماهیانه نمی‌گذارد. بنابراین، می‌توان گفت که مخازن چاه نیمه جزو آب‌های میانه با عمق حدود ۵ تا ۲۵ متر محسوب می‌گردد، که تأثیر ذخیره گرمایی بر موازنه حرارتی سیستم چندان تأثیرگذار نیست. این موضوع می‌تواند راه حل کارگشایی در استفاده از روش بیلان انرژی با اطلاعات محدود باشد.

مقایسه نتایج مدل با مقادیر واقعی تبخیر نشان می‌دهد که مدل CRLE نمی‌تواند میزان تبخیر از مخازن چاه نیمه را با دقت مناسبی تخمین بزند. علت این موضوع را می‌توان در بررسی دوباره الگوریتم مورتون یافت. عمده ضعف این مدل را می‌توان منظور نکردن اثر آشفته‌گی هوای بالای سطح آب (باد) در انتقال رطوبت و افزایش پتانسیل تبخیر از سطح آب عنوان کرد. همان‌گونه که پیش‌تر هم عنوان گردید، مورتون ضریب انتقال بخار را به صورت تابعی از ضریب پایداری اتمسفر و فشار هوا ارائه داده است، که هیچ یک از این پارامترها در روابطشان به سرعت باد بستگی ندارند. مورتون در توجیه این فرض سه دلیل عمده را بیان می‌دارد:

۱. ضریب انتقال بخار با افزایش زبری سطح و نیز سرعت باد زیاد می‌شود، و از طرفی، در مناطق هموار سرعت باد عاملی در کاهش ضریب زبری می‌باشد.
۲. ضریب انتقال بخار با افزایش ناپایداری اتمسفر زیاد می‌شود و این موضوع در سرعت‌های کم باد بیشتر از سرعت‌های زیاد باد آشکار می‌شود.
۳. استفاده از آمار باد ایستگاه‌های خشکی و ساحلی سبب افزایش خطا به علت موقعیت نصب تجهیزات می‌گردد [۱۴].

وی با ارائه دلایل فوق، که در نوع خود می‌تواند منطقی باشد، استفاده از آمار سرعت باد مشاهده شده در تخمین تبخیر و تعرق (و تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن) را سبب افزایش خطای مشهود در تخمین دانسته است. با این

وجود، به نظر می‌رسد که منظور نکردن میزان آشفستگی هوا در انتقال بخار در مناطقی همچون سیستان، که باد نقش مهمی در تغییر اقلیم منطقه دارد، نسبت به منظور کردن آن به عنوان یک پارامتر تعیین کننده، خطای بیشتری را متوجه تخمین تبخیر (و تبخیر و تعرق) خواهد نمود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در تحقیقات انجام شده، بیلان آبی مخازن چاه نیمه در دوره‌های زمانی مشخص مطالعه شد، و میزان تبخیر سالیانه و ماهیانه (مه تا اکتبر مطابق با خرداد تا مهر) با دقت مناسبی تعیین گردید. میزان تبخیر سالیانه به طور متوسط  $2/9$  متر تخمین زده شد، که در مقایسه با نتایج تبخیر از دریاچه‌ها در سایر مناطق دنیا رقم نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج ماهیانه و سالیانه نشان می‌دهد که میزان تبخیر در طی شش ماه از سال (مه تا اکتبر) در حدود  $70\%$  کل تبخیر سالیانه را شامل می‌شود. هم‌چنین، میزان تبخیر در دوره چهارماهه وزش بادهای صد و بیست روزه (اواخر مه تا اوایل سپتامبر مطابق با خرداد تا شهریور) در حدود  $54\%$  کل تبخیر سالیانه را در بر می‌گیرد. این نتایج نشان می‌دهد که یکی از عوامل زیاد بودن تبخیر در این منطقه، توأم بودن وزش بادهای سنگین و با مدت وزش طولانی با فصل گرما در منطقه است.

با مقایسه نتایج تبخیر تشتک ایستگاه تبخیرسنجی و نتایج بیلان آبی، می‌توان ضریب تشتک واقعی تری را برای تشتک موجود تعیین نمود. بر اساس نتایج ضریب تشتک سالیانه  $0/66$  و ضریب تشتک ماهیانه بین  $0/52$  تا  $0/8$  تخمین زده می‌شود؛ این در حالی است که این ضریب در ماه‌های گرم و همراه با وزش باد به کمترین مقدار خود یعنی  $0/52$  خواهد رسید. مقدار ضریب تشتک سالیانه از میزان متوسط و پیشنهادی آن یعنی  $0/7$  کمتر می‌باشد [7].

### منابع و مراجع

- 1- سارنگ، س.ا.، (در حال انتشار)، "گزارش سیمای وضعیت منابع آب ایران- چالش‌ها و راه‌کارها"، مرکز تحقیقات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، در حال انتشار.
- 2- مهندسین مشاور کاژه- سانپو، 1349، "گزارش نهایی مرحله دوم: عملیات مخازن، طرح استفاده از آب رودخانه سیستان".
- 3- مهندسین مشاور پارس کنسولت، 1379، "گزارش مطالعات مرحله اول طرح مطالعات استفاده مطلوب و بهینه از حجم آب مرده چاه نیمه‌ها".
- 4- مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو، 1380، "مطالعات رسوب‌سنجی و رسوب‌شناسی مخازن چاه نیمه".

نتایج رابطه پهن‌نشان از اعتبار این رابطه، حتی در مناطقی با شرایط ویژه نظیر مخازن چاه نیمه می‌دهد. میزان تخمینی این رابطه برای تبخیر از سطح مخازن چاه نیمه برابر با  $2/8$  متر است، که اختلاف ناچیزی با نتایج بیلان آبی دارد. هم‌چنین، مقادیر ماهیانه برآورد شده با استفاده از این روش نیز با مقادیر تبخیر در ماه‌های مه تا اکتبر هم‌خوانی نسبتاً خوبی دارد.

به عنوان یکی از جدیدترین و معتبرترین روش‌های تخمین تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن، مدل CRLE برای تخمین تبخیر از مخازن چاه نیمه به کار گرفته شد. نتایج مدل در حدود  $39\%$  با میزان واقعی تبخیر (بیلان آبی) تفاوت داشت. بررسی دوباره مدل نشان از ضعف آن در منظور نکردن اثر آشفستگی هوا در انتقال بخار و افزایش تبخیر می‌دهد. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد به عنوان یک مطالعه موردی، مدل CRLE را بر اساس نتایج بیلان آبی مخازن چاه نیمه بدون تغییر اساسی در ساختار مدل، کالیبره نموده و ضریب انتقال بخار را، که در مدل اولیه مستقل از سرعت باد منظور شده بود، به صورت تابعی از سرعت باد و پارامترهای دیگر تعیین کرد. البته بایستی این موضوع مد نظر قرار گیرد که نتایج مدل اصلاح شده بایستی در مواقعی که میزان سرعت باد زیاد نیست، با نتایج مدل اولیه تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

### قدردانی

بدین وسیله نویسندگان این مقاله، از جناب آقای مهندس شیرزاد، مدیریت شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، و معاونت پژوهشی دانشگاه شریف که از انجام این پژوهش حمایت و پشتیبانی نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند. هم‌چنین، از داوران محترم مقاله به خاطر دقت نظر و ارائه نظریات مفید سپاسگزاری می‌شود.

- 5- Tehran Sahab Consulting Engineers and N.E.S.PK. (1993), "Study for Reservoir Operation of Chahnimes 1-4".
- 6- Linacre, E.T. (1994), "Estimating U.S. Class-A Pan Evaporation from Few Climate Data", Water International, 19, 5-14.
- 7- Linsley, R.K.J., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H. (1982), "Hydrology for Engineers", McGraw Hill.
- 8- Assoulin, S. and Mahrer, Y. (1993), "Evaporation from Lake Kinneret, 1) Eddy Correlation System Measurements and Energy Budget Method", Water Resour. Res. 29(4): 901-910.
- 9- Brutsaert, W., and Stricker, H. (1979), "An Advection-Aridity Approach to Estimate Actual Regional Evapotranspiration", Water Res. Res., 15(2) 443-450.
- 10- DE Bruin, H.A.R. (1978), "A Simple Model for Shallow Lake Evaporation", J. of Appl. Meteorol., 7:1132-1134.
- 11- Crago, R.D. and Brutsaert, W. (1992), "A Comparison of Several Evaporation Equations", Water Resources Research, 28(3): 951-954.
- 12- Morton, F.I. (1978), "Estimating Evapotranspiration from Potential Evaporation: Practicability of an Iconoclastic Approach", J. of Hydrology, 38:1-32.
- 13- Morton, F.I. (1979), "Climatological Estimates of Lake Evaporation", Water Resources Research, 15(1):64-76.
- 14- Morton, F.I. (1983), "Operational Estimates of Aerial Evapotranspiration and their Significance to the Science and Practice of Hydrology", J. of Hydrology, 66:1-76.
- 15- Morton, F.I. (1983), "Operational Estimates of Lake Evaporation", J. Hydrol., 66:77-100.
- 16- Brass, R.L. (1990), "Hydrology, an Introduction to Hydrology Science", Addison-Wesley.

#### فوائدگان گرامی:

در مجله شماره ۳۹، مقاله "مطالعه موردی بیلان آب آبخوان دشت برخوار اصفهان" در صفحات ۴۵، ۴۶ و ۴۷ اشتباهات تاپی صورت گرفته که ضمن پوزش به شرح زیر اصلاح می گردد:

ص ۴۵، نمودار ۲- در چهارگوش پایین سمت راست به جای "آب های زیرزمینی" باید "امرژانس آب های زیرزمینی" باشد.

ص ۴۶، ستون دوم، سطر نهم فرمول  $P=118/15$  از هم جدا شده و در دو سطر آمده است، که بدین شکل اصلاح گردد.

ص ۴۷، ستون دوم، سطر هشتم "با احتساب حجم کل آب های وارده به سیستم دشت - آبخوان دشت و خارج شده از آن" صحیح می باشد.