



DOI: 10.22092/irj.2019.120511



نامه علمی

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۴/۱۰  
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

## ارزیابی کارایی مدل تعادل آب به روش تورتویت در دشت اراک

طاهره انصافی مقدم\*

چکیده

یکی از مهم ترین نتایج در معادله تعادل آب برای هر منطقه طبیعی یا پهنه آبی و نیز یکی از مهم ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی، محاسبه تبخیر و تعرق است. هدف اصلی تحقیق حاضر، شناسایی تغییرات ایجاد شده ناشی از اثرات تغییر اقلیم در تعادل آب منطقه با استفاده از تحلیل آماری است. برای رسیدن به این هدف، داده های میانگین ماهانه دما، بارش، دبی، تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فرمول تورتویت محاسبه شد. با استفاده از داده های ۶۹ ایستگاه هیدرومتری با سابقه آمار ۵۰ سال، ابتدا رابطه دما، بارش و تبخیر و تعرق با به کارگیری روش تورتویت، در دشت اراک به دست آمد. پارامترهای موجود در معادله تعادل آب از جمله: تبخیر واقعی و میزان رطوبت خاک در این منطقه با استفاده از مدل تورتویت در هر ماه برآورد شد. نتایج نشان داد تعیین زمان دبی رواناب در حفظ و احیای دشت اراک بسیار حائز اهمیت است. نمودار آب و هوایی اصلاح شده تبخیر و تعرق بالقوه، درک بصری رابطه بین رواناب و رطوبت ایجاد شده ناشی از آن را در دشت اراک میسازد. این نمودار می تواند به عنوان یک ابزار استاندارد در تعیین تقاضای مناسب آب به منظور مدیریت منابع آب، با در نظر گرفتن حفاظت و احیای تالاب میقان، مورد استفاده قرار گیرد. نتیجه برآورد مدل تعادل آب در دشت اراک نشان داد که در محدوده مورد مطالعه و در ماه های تیر (ژوئیه) و مرداد (اوت) بیشترین مقدار تبخیر و تعرق و در ماه های آذر (دسامبر)، دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و اسفند (مارس) کمترین مقدار تبخیر و تعرق رخ داده است. در این منطقه در هفت ماه از سال شامل دی (ژانویه)، بهمن (فوریه)، اسفند (مارس)، فروردین (آوریل)، آبان (نوامبر) و آذر (دسامبر)، مقدار ET کمتر از میزان بارندگی است، اما مازاد آب (WS) نیاز آبی زمین (GS) را تأمین نمی کند، بنابراین، رواناب، در منطقه رخ نمی دهد.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق بالقوه، تعادل آب، دشت اراک، روش تورتویت، نیاز آبی

### Evaluation of water balance model efficiency using Thornthwaite method in the Arak plain

T. Ensafimoghaddam\*

#### Abstract

Evapotranspiration is one of the most important outcomes in the water balance equation for any natural area or water body. It is also a crucial component of the hydrologic cycle. The main purpose in this research was to detect the changes generated in the study region's water balance for climate impact assessment by using statistical analysis. To reach this purpose, following steps were done. The relationship of temperature-evapotranspiration was obtained using the Thornthwaite method in Arak plain. The parameters including actual evaporation and soil moisture content in this area were estimated using the Thornthwaite model for each month. Remaining parts of water balance equation including: actual evapotranspiration, soil moisture supply of the area in each month and later months were estimated from Thornthwait model. The net water requirements were estimated using the model by assuming that evaporation was the only path for water loss. The results indicated that the timing of recharge was very important in preserving plain hydrology in this region. This modified climate diagram prompts an intuitive understanding of the relationship between recharge and consequent wetness in Arak plain. It may be used as a standard tool for determining adequate water demand in arid regional water resources management that considers wetland protection or restoration

**Keywords:** Arak plain, monthly water balance, potential evapotranspiration, Thornthwaite method, water requirements

\* مری پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: Ensafi@rifr-ac.ir

\*Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: Ensafi@rifr-ac.ir



● مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از اجزای اساسی چرخه هیدرولوژی است که تعیین سطح آن در علوم آب از قبیل مطالعات توازن هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب اهمیت زیادی دارد. تبخیر یکی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است و برآورد آن در مقیاس‌های زمانی مختلف، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای هوا و اقلیم، از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی برخوردار است.

در سال ۱۹۴۸، تورنت‌ویت و پنمن، هر دو معادله تبخیر و تعرق بالقوه را به‌طور مستقل توسعه دادند. در اینجا، تبخیر و تعرق بالقوه به حداکثر میزانی (ET) که می‌تواند از طریق سطح گیاه اتفاق بیفتد مربوط می‌شود. معادله پنمن مکانیکی‌تر بود درحالی‌که معادله تورنت‌ویت بیشتر تجربی بود. معادله تورنت‌ویت ساده‌تر از معادله پنمن است، زیرا این روش نیاز به اطلاعات آب‌وهوایی کمتری دارد. تعادل آب در منطقه می‌تواند بر مبنای نتایج حاصل از داده‌های آماری محاسبه‌شده در مورد درجه حرارت، بارش، تبخیر و تعرق ارزیابی شود (Chávez José & Subedi, 2015).

«برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به‌منظور کاربرد در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت طرح‌های آبیاری و زهکشی و مدیریت منابع آب ضروری است. تبخیر و تعرق شامل تبخیر از سطح زمین و آب و تعرق به‌وسیله گیاه است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت آبیاری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تبخیر و تعرق مرجع (ETO) یا به روش مستقیم (لایسیمتری) اندازه‌گیری، یا به‌طور غیرمستقیم (معادلات تجربی) برآورد می‌شود. دقیق‌ترین روش برآورد مقدار تبخیر-تعرق، استفاده از لایسیمتر وزنی است، اما از آنجایی‌که احداث این نوع لایسیمتر، هزینه بسیار زیادی را به همراه دارد و از طرفی آمار این روش معمولاً در اختیار نیست، بیشتر از روش‌های تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق و از روش استاندارد برای مقایسه نتایج آن استفاده می‌شود» (سمیعی و برون، ۱۳۹۰). محاسبه تبخیر و تعرق مطلق و پتانسیل منوط به محاسبه اطلاعات ساعات

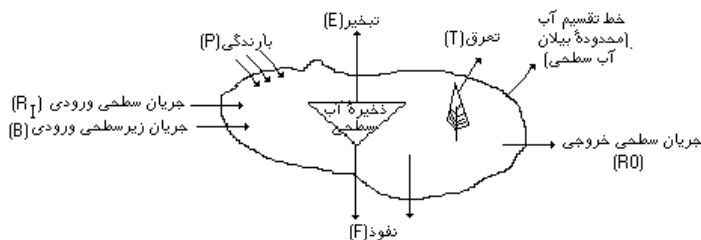
آفتابی (و برآورد تشعشع)، رطوبت نسبی و سرعت باد است. افزایش ساعات آفتابی و سرعت باد در کنار رطوبت نسبی و بارش کم، سختی شرایط آب‌وهوایی، تشدید روند منابع آب سطحی و زیرزمینی را به همراه داشته است. ایستگاه‌های تبخیرسنجی در ایران علاوه بر تعداد ناکافی، از توزیع مکانی مناسبی نیز برخوردار نیستند. درعین حال در شماری از ایستگاه‌ها، داده‌ها به دلیل فقدان آمار کافی و در برخی موارد کیفیت نازل اطلاعات قابل‌استفاده نیستند (Daneshkar, Araste et al., 2004). اغلب اوقات برای اجرای پروژه‌های تحقیقاتی، اطلاعات ناچیزی از تبخیر وجود دارد و معادلات برآورد تبخیر در شرایط توسعه‌یافته کاربرد دارند (Xu & Singh, 2000). از این‌رو با توجه به اندک بودن بارش کشور و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن می‌توان تبخیر را کمیته ناشناخته دانست. ناهماهنگی آمارها و داده‌ها هم عاملی در عدم شناخت این پارامتر محسوب می‌شود. با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک ایران و کمبود منابع آب، تبخیر، عامل مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب است که به دلیل عدم اندازه‌گیری در برخی مناطق و فصول سرد سال برآورد آن ضروری به نظر می‌رسد (زارع ابیانه، ۱۳۸۹). تخمین صحیح پدیده تبخیر در مدیریت آبیاری و پیش‌بینی جریان رودخانه نقش حیاتی دارد. به این منظور از طریق معادله تورنت‌ویت میزان تبخیر و تعرق پتانسیل هر ایستگاه محاسبه و تعیین می‌شود.

مقادیر تبخیر از تشتک به دلیل تبادل گرمایی و گرم شدن زیاد هوا همواره بیش از مخازن و دریاچه‌هاست. بنابراین باید میزان به‌دست‌آمده از تشتک را در ضریبی کاهش‌دهنده ضرب کرد. بررسی‌های مختلف در زمینه مقایسه تبخیر به‌دست‌آمده از راه بیلان آبی مخازن بزرگ و تبخیر اندازه‌گیری شده از تشتک، نشان می‌دهد که ضریب تشتک کلاس A در مقیاس سالانه بین ۰/۶ تا ۰/۸ متفاوت و میانگینی برابر ۰/۷ داشته است. در محاسبات مشاهده‌شده که تفاوت بین داده‌های تشتک و محاسبات تورنت‌ویت زیاد است. داده‌های تورنت‌ویت در محدوده خطای  $\pm 10$ ،  $\pm 20$  و  $\pm 30$  درصد داده‌های تشتک مورد مقایسه قرار گرفت و در پایان توان فرمول تورنت‌ویت ( $\alpha$ ) برای همه ایستگاه‌ها و برای کل دوره ۲۵ ساله به‌اضافه ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷ و ۱ و منهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ شد و از آنها داده‌های جدیدی از تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به‌دست آمد و با داده‌های تشتک مقایسه شد (Afzali et al., 2013). پارامترهای بیلان شامل ورودی‌ها و خروجی‌ها هستند. با در دست داشتن مقدار ورودی‌ها و خروجی‌ها و محاسبه تفاوت آنها می‌توان تغییرات بیلان را محاسبه کرد. آن‌چنان‌که رحیمی و همکاران (۱۳۸۶)، در محاسبه بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت بهبهان برای برقراری بیلان آب سطحی از رابطه زیر (شکل ۱) استفاده کرده‌اند:

تغییرات در ذخیره آب سطحی  $\pm$  خروجی‌ها = ورودی‌ها

$$P + R_I + B - R_O - F - E - T = \Delta_S$$

P = بارندگی      RI = جریان سطحی ورودی      E = تبخیر      B = جریان زیرسطحی ورودی  
F = نفوذ      R<sub>O</sub> = جریان سطحی خروجی      T = تعرق       $\Delta_S$  = ذخیره آب سطحی



شکل ۱- طرح شماتیک تبادلات چرخه آب سطحی (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۶)

در عمل رسیدن به حل عددی معادله بیلان آب‌های سطحی محدوده مورد مطالعه نه تنها خوش‌بینانه به نظر می‌رسد بلکه مستلزم بازسازی داده‌های غیرمنصفانه خواهد بود. در این تحقیق تلاش بر این بود تا با اجتناب از بازسازی غیرواقعی داده‌ها، مؤلفه‌های بیلان آب سطحی به‌طور پوششی برای کل محدوده مورد مطالعه تعیین شوند (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۶).

تبخیر و تعرق بالقوه یکی از عوامل مهم آگروکلیمایی است که به‌وسیله تبخیر از سطوح آب، خاک و تعرق گیاه توسط پوشش گیاهی در شرایط بدون نیاز به آب فراوان تعریف می‌شود. تعریف قدیمی از تبخیر تعرق بالقوه توسط Penman (۱۹۵۶) ارائه و چنین در نظر گرفته شده است: «... تبخیر تعرق بالقوه یعنی تبخیر از سطح گسترده با پوششی از محصولات سبز کوتاه، در حال رشد فعال، با سایه کامل در سطح زمین، با ارتفاع یکنواخت و بدون کمبود آب». در یک مطالعه مهم آگروکلیمایی، اندازه‌گیری مستقیم و برآوردهای دقیق لازم است. درحالی‌که متأسفانه هیچ اندازه‌گیری مستقیمی از تبخیر و تعرق بالقوه در منطقه وجود ندارد. برای برآورد تبخیر و تعرق بالقوه فرمول‌های مختلفی ساخته شده که بر مبنای مشاهدات روزانه هواشناسی طراحی شده است. تبخیر و تعرق بالقوه اصلاح نشده براساس یک دوره ۱۲ ساعته و یک ماه ۳۰ روزه از طریق تنظیم طول روز واقعی (h) به دست می‌آید:

$$PE=ET(h/12)(D/3) \quad (1)$$

روش‌های برآورد تبخیر و تعرق را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد: روش‌های نظری، روش‌های تجربی و روش‌های تعادل آب. در این تحقیق در مرحله اول، از روش‌های تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق در این منطقه استفاده شده است. فرمول‌های تجربی مختلفی برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق پیشنهاد شده است. توسعه این معادلات براساس همبستگی تبخیر و تعرق با دما یا چندعامل آب‌وهوایی است (Mahdavi, 1987).

تورنت‌ویت یک فرمول تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق بالقوه پیشنهاد کرد. سادگی فرمول و دسترسی به اطلاعات دما و باران برای دوره‌های طولانی مدت در بسیاری از ایستگاه‌ها دلیل اصلی استفاده گسترده آن بوده است. در حقیقت روش تورنت‌ویت بهترین روش نیست، به دلیل غفلت

از عوامل مهم هواشناسی مانند تابش خورشید، رطوبت، سرعت باد و غیره که مستقیماً بر تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارند، به روش تورنت‌ویت انتقاد شده است. از آنجایی که تابش خورشیدی، رطوبت، سرعت باد و غیره، رکورد بلندمدت در منطقه مورد مطالعه نداشته است و در واقع به دلیل فقدان طولانی مدت اطلاعات اسنادی در مورد عوامل هواشناسی، کمبود داده‌های خاص و اینکه روش تورنت‌ویت هنوز هم برای مناطق خشک، مورد استفاده بوده و با مشاهدات هواشناسی موجود تناسب دارد، این روش انتخاب شده است. در حقیقت این روش شناخته‌شده‌ترین و گسترده‌ترین فرمول در بین همه روابط تجربی است که در مکان‌هایی که اطلاعات کافی در مورد سایر عوامل هواشناسی وجود ندارد، قابل استفاده است. در این مقاله، هدف اصلی تحقیق، بررسی کارایی روش تبخیر و تعرق پتانسیل بر مبنای مدل تورنت‌ویت و ترسیم گرافیکی مدل تعادل آب به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل دشت اراک در استان مرکزی طی دوره ۵۰ ساله بنا شده است. از این رو، ابتدا در روش تحقیق، میانگین تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه و سپس با توجه به شرایط محلی و موقعیت جغرافیایی، مقادیر تبخیر و تعرق اصلاح شده و مدل تعادل آب ترسیم شده است.

### ● مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر مطالعه‌ای تحلیلی است که روی ۲۳ ایستگاه هواشناسی، ۴۷ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۴ ایستگاه هیدرومتری در دوره ۵۰ ساله در دشت اراک انجام شده است. به منظور دستیابی به هدف تحقیق، داده‌های اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی یک دوره طولانی مدت طی سال‌های ۱۹۶۱ الی ۲۰۱۱ به صورت روزانه، ماهانه و سالانه از دفتر مطالعات منابع آب اداره کل امور آب استان مرکزی جمع‌آوری، پردازش و محاسبه شد. سپس با استفاده از روش‌های آماری - ترسیمی، روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه داده‌های پردازش شده طی ۵۰ سال مورد مقایسه و با ارائه نمودارها و جداول مختلف، در منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت.

### محدوده بیلان آب سطحی

به یک واحد هیدرولوژیکی که اطلاعات پایه بیلان جمع‌آوری و معادله بیلان براساس آن

برقرار می‌شود، محدوده بیلان می‌گویند. این واحدها می‌تواند یک حوضه آبریز بزرگ، یک دشت و ارتفاعات مشرف به آن، یا فقط محدوده سفره آبدار زیرزمینی باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۶). در این تحقیق محدوده بیلان آب سطحی، دشت اراک است. «حوضه بسته میقان به وسعت ۵۰۸۰۰۱۰۰۰ مترمربع، یا ۵۰۸۰۰۱ هکتار، یا ۵۰۸۰ کیلومتر مربع، فاقد رودخانه دائمی است و کره‌رود، آشتیان و ساروق از مهم‌ترین رودخانه‌های فصلی آن هستند (خالدی، ۱۳۸۵).

**تبخیر  
و تعرق یکی از  
اجزای اساسی چرخه  
هیدرولوژی است که تعیین  
سطح آن در علوم آب از قبیل  
مطالعات توازن هیدرولوژیکی  
و مدیریت منابع آب  
اهمیت زیادی دارد.**

فاصله زمانی (دوره) بیلان آب سطحی فاصله زمانی که کلیه مؤلفه‌های بیلان در آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، دوره بیلان نامیده می‌شود. این فاصله زمانی را معمولاً می‌توان برای دوره‌های یک ماه، یک فصل، یک سال آبی، یا چندین سال متمادی شامل سال‌های مرطوب، خشک و متوسط برقرار کرد. در این مطالعه دوره بیلان از اول مهرماه تا آخر شهریورماه (یک سال آبی) در نظر گرفته شده است. دوره دوم مطابق با فصل خشک از فروردین (آوریل) تا آبان (نوامبر) ادامه دارد. در این ماه‌ها تبخیر و تعرق بیشتر از بارش است و در این شرایط کمبود آب (WD) وجود دارد که می‌تواند در رابطه  $WD = P - ET$  بیان شود (Mahdavi, 1987).

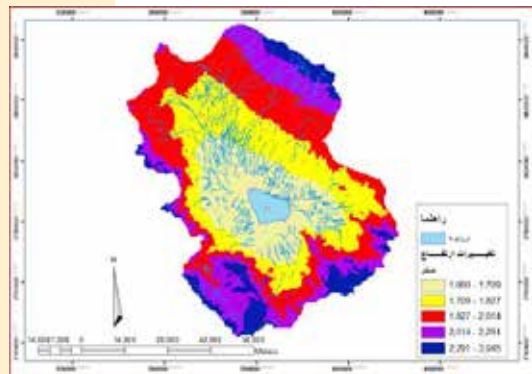
تعادل آب می‌تواند به روش دیگری به شرح زیر ارائه شود:

$P > ET$  برای دوره‌های مرطوب در طول ماه‌های آذر (دسامبر)، دی (ژانویه) و بهمن (فوریه) منطبق با زمانی است که میانگین بارندگی سالانه بیشتر از تبخیر و تعرق  $P < ET$  است.



### موقعیت منطقه مطالعاتی

استان مرکزی با مساحتی معادل ۱/۷۹/۵۶۷ کیلومتر مربع، ۲۹۱۲۶/۵۶۷ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده و تقریباً در مرکز ایران بین ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳ دقیقه طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان از شمال به استان‌های تهران و قزوین، از جنوب به استان‌های لرستان و اصفهان، از شرق به استان قم و از غرب به استان همدان محدود می‌شود. براساس تقسیمات کشوری در سال ۱۳۸۵ دارای ۱۰ شهرستان، ۱۸ بخش، ۲۸ شهر، ۶۱ دهستان و ۱۲۷۱ آبادی دارای سکنه و ۱۸۱۴ آبادی خالی از سکنه بوده است. استان مرکزی در زاویه برخورد دو رشته‌کوه البرز و زاگرس واقع است. ناهمواری‌های این استان را قسمت‌هایی از کوه‌های مرکزی و پیشکوه‌های داخلی زاگرس تشکیل می‌دهد. پست‌ترین نقطه استان در دشتی در جنوب ساوه (با ۹۵۰ متر ارتفاع) و بلندترین نقطه آن قله شهباز (با ۳۳۸۸ متر ارتفاع) در رشته‌کوه‌های راسوند قرار دارد. حدود ۲۵ درصد مساحت استان را دشت‌ها و ۷۵ درصد آن را کوهستان‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند (معروف پور و همکاران، ۱۳۹۰). در این استان دشت اراک با وسعتی حدود ۵۰۸۰ کیلومتر مربع و با میانگین ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر از سطح دریا (مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط به ترتیب دارای ارتفاع ۲۲۰۰ متر و ۱۴۰۰ متر از سطح دریا هستند) واقع شده است (شکل ۲). در محدوده دشت اراک شهرهای اراک، آشتیان، گرگان،



شکل ۲- نقشه مدل رقمی ارتفاع منطقه (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۱)

فرمپین، داوودآباد و کویر میقان قرار دارند. دشت اراک که پلاپای میقان در آن قرار گرفته، در غرب زون ایران مرکزی، در مرکز و جنوب غربی استان مرکزی واقع شده است (خانجانی و قدیمی‌عروس محله، ۱۳۸۷؛ ۱۳۹۰). پلاپای میقان شامل دشت سیلابی و اراضی پست است. به طوری که تمام آبراهه‌ها و آب‌های زیرزمینی اراک به این حوضه ختم می‌شود (زهتابیان، ۱۳۸۹).

تالاب میقان که حوضه آبریزی به مساحت حدود ۵۵۲۸ کیلومتر مربع را زهکشی می‌کند با معضل کاهش ورودی آب و پدیده کویرزایی مواجه است (Ghahroodi Tali et al., 2012). حوضه بسته کویر میقان را می‌توان به‌عنوان زهکش مسیلهایی از دشت اراک در نظر گرفت. در کل منطقه مورد مطالعه، هیچ رودخانه دائمی وجود ندارد. یکی از رودخانه‌های فصلی مهم منطقه، رودخانه کرهرود است که در مواقع سیلابی جریان آب در آن دیده می‌شود (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این دشت مدت‌زمانی که دورترین قطره جاری شده در حوضه به نقطه خروجی برسد حدود ۵/۲۵ ساعت و کل ریزش‌های جوی روی حوضه ۱۵۷ میلیون مترمکعب برآورد شده است و چون ضریب جریان حوضه حدود ۱۳/۵ درصد است حدود ۲۱ میلیون مترمکعب جریان سطحی از نقطه خروجی عبور می‌کند (خالدی، ۱۳۸۵).

در این تحقیق از بین ایستگاه‌های سینوپتیک (سازمان هواشناسی)، تبخیرسنجی (وزارت نیرو)، اقلیم‌سنجی (سازمان هواشناسی)، باران‌سنجی (هواشناسی وزارت نیرو)، ۶۹ ایستگاه که دارای دوره آماری طولانی‌تری هستند (جدول ۲)، در محدوده دشت اراک انتخاب و محاسبات و تحلیل‌های آماری روی عناصر اقلیمی ماهانه، فصلی و سالانه شامل میانگین روزانه دما، میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما، کمینه حداقل مطلق دما، بیشینه حداکثر مطلق دما، میانگین و مجموع بارش، میانگین تبخیر، میانگین رطوبت

نسبی، میانگین سمت و سرعت باد، میانگین و مجموع ساعات آفتابی، دبی رودخانه‌ها، سطح آب‌های زیرزمینی و سطح تراز چاه‌ها، انجام شده است. مقطع زمانی مورد مطالعه در این تحقیق یک دوره ۵۰ ساله بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۱ است.

### روش تحقیق

روش ارزیابی: محاسبه تبخیر و تعرق به روش تورنت ویت  
در این روش تبخیر و تعرق برای هر ماه به روش زیر محاسبه می‌شود:  
الف) محاسبه نمایه حرارتی ماهانه Im

$$Im = (T_m / S)^{1.514} \quad (2)$$

که در آن  $T_m$  میانگین ماهانه دمای هوا برحسب  $^{\circ}C$  است. اگر  $T_m$  منفی باشد، نمایه حرارتی صفر در نظر گرفته می‌شود.  
ب) نمایه حرارتی سالانه که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$I = \sum_{m=1}^{12} im \quad (3)$$

ج) ضریب a محاسبه می‌شود:  
د) محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر ماه:

$$ET = 16Nm (10Tm / I) \alpha \quad (4)$$

که در آن Nm ضریب تصحیح طبق جدول ۱ است.  
I شاخص گرمایی به شرح زیر است:

$$-I = \sum_t^{12} \quad (5)$$

که در آن m تابع مکعب I است و به‌طور تجربی با معادله (۵) تعیین می‌شود.

با توجه به روش تورنت ویت توسط معادله (Thorntwaite & Mather, 1955; (۱) موازنه آب هر منطقه می‌تواند از نتایج حاصل از محاسبات آماری بر پارامترهای درجه حرارت، بارش و تبخیر و تعرق به‌دست آید. در روش تورنت ویت معادله زیر به‌منظور برآورد تعادل آب در هر منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$P - ET + WD - SW = O \quad (6)$$

که در آن، ET تبخیر و تعرق بالقوه برحسب

جدول ۱- مقادیر ضریب اصلاحی (Nm) برای عرض‌های شمالی مختلف جغرافیایی در ماه‌های سال (همتی، ۱۳۹۷)

عرض جغرافیایی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰	۱/۰۴	۰/۹۴	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴
۱۰	۱/۰۰	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۹
۲۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۱۱	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۴
۳۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۸۸
۳۵	۰/۸۷	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۱۶	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۵
۴۰	۰/۸۴	۰/۸۳	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۲۷	۱/۱۸	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۸۱
۴۵	۰/۸۰	۰/۸۱	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۲۸	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۲۱	۱/۰۴	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۷۵
۵۰	۰/۷۴	۰/۷۸	۱/۰۲	۱/۱۵	۱/۳۳	۱/۳۶	۱/۳۷	۱/۲۵	۱/۰۶	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۷۰

یا شماره ساعت‌های روشنایی به ساعت و N = شماره روزهای ماه موردنظر است. هنگامی که میزان بارش زیاد است، خاک از آب اشباع می‌شود. با افزایش بارش، آب اضافی نمی‌تواند به خاک وارد شود. رواناب به رودخانه‌ها و رودها وارد شده و مقدار زیادی از آب اضافی جریان می‌یابد. با استخراج دبی روزانه و ماهانه، میانگین سالانه دبی هر ایستگاه در این دوره محاسبه شد و بر پایه مساحت دشت اراک، میانگین سالانه ارتفاع آب جریان یافته بر سطح آن (رواناب) برحسب میلی‌متر به دست آمد. با تعریف روابط و مبنا قرار دادن مقادیر هواشناسی موردنیاز در فرمول تورنت ویت، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل هر ایستگاه محاسبه و تعیین شد (شکل ۳).

برآورد تعادل آب، براساس معادلات تشریح شده، در دو دوره زمانی در دشت اراک بررسی شد. بخشی از زمان مربوط به فصلی است که در آن بارندگی بیشتر و بخش دیگر مربوط به فصلی است که تبخیر و تعرق غالب است. واضح است که دو دوره زمانی به شرح زیر است:

دوره اول سال، منطبق با فصل بارندگی از آذر تا فروردین (دسامبر تا آوریل) ادامه دارد. در طول این دوره، بارندگی بیش از تبخیر و تعرق است. بنابراین مازاد آب وجود دارد و مقدار آن در مقایسه با تبخیر و تعرق بیش از بارندگی است:  $WS = P - ET$  (Mahdavi, 1985). در دوره دوم سال، مازاد آب دشت اراک به ترتیب در طول ماه‌های دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و اسفند (مارس) به میزان ۸/۱، ۱۹/۱۵ و ۲۲/۳۵ وجود داشته است (جدول ۲). بودجه‌بندی آب اغلب از طریق مدل تعادل آب انجام می‌شود که تعداد زیادی از آنها موجود است. شکل ۳ نشان‌دهنده یک نمایش از نمودار ساده تعادل آب است که می‌تواند توسط معادله ۴ نشان داده شود. که در آن تغییرات آب خاک در طول زمان نشان داده شده است. از بین این‌ها، بارندگی و رواناب (به‌عنوان جریان) به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند، درحالی‌که برای بودجه‌بندی تعادل آب، نیاز است هم زهکشی (یا تغذیه آب زیرزمینی) و هم تبخیر و تعرق (ET) برآورد شود.

در این مقاله یک روش گرافیکی ساده برای تعیین احتمال یا فراوانی وقوع بارش سالانه یا فصلی مورد استفاده قرار گرفته است. اولین قدم به دست آوردن مجموع بارندگی سالانه در فصل برداشت ناحیه مربوطه است. در مناطقی که سوابق داده‌های بارش وجود ندارد، می‌توان با احتیاط از ارقام ایستگاه‌های نزدیک استفاده کرد. تغییرپذیری بارندگی مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار قابل توجه و به دست آوردن سوابق طولانی مدت، بسیار حائز اهمیت است. تنها تجزیه و تحلیل تعداد کمی از مشاهدات کافی نیست، زیرا احتمالاً این مقادیر به یک دوره خشک یا مرطوب خاصی متعلق هستند و از این رو ممکن است نماینده الگوهای بارندگی بلندمدت باشند. در این مقاله میانگین ماهانه و سالانه دوره ۵۰ ساله بارش دشت اراک برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۳).

میلی‌متر، WD کمبود آب و WS مازاد آب است (Mahdavi, 1987). در این تحقیق، موازنه آب با استفاده از روش تورنت ویت، با در اختیار داشتن رکورد ۵۰ ساله دوره بلندمدت (۱۳۸۷-۱۳۳۷) و با استفاده از پارامترهای اقلیمی میانگین بارش ماهانه، حداکثر و حداقل ماهانه دمای هوای ۶۹ ایستگاه محاسبه شد. «پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی دما، بارش و متوسط دبی ماهانه در دشت اراک، تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فرمول تورنت ویت محاسبه شد. بخش‌های باقی‌مانده از معادله تعادل آب شامل تبخیر و تعرق واقعی، ذخیره رطوبت خاک در هر ماه و ماه‌های بعد، از طریق مدل تورنت ویت برآورد می‌شوند» (Mahdavi & Azarakhshi, 2004).

طبق پژوهش افضلی (۱۳۸۸)،  $\alpha$  توانی است که از طریق معادله (۷) به دست آمده است. میزان محاسبه شده از رابطه تورنت ویت برای ماه‌های ۳۰ روزه با ۱۲ ساعت روشنایی است و اگر یکی از این شرایط تغییر کند میزان محاسبه شده از رابطه زیر درست می‌شود:

میلی‌متر، WD کمبود آب و WS مازاد آب است (Mahdavi, 1987). در این تحقیق، موازنه آب با استفاده از روش تورنت ویت، با در اختیار داشتن رکورد ۵۰ ساله دوره بلندمدت (۱۳۸۷-۱۳۳۷) و با استفاده از پارامترهای اقلیمی میانگین بارش ماهانه، حداکثر و حداقل ماهانه دمای هوای ۶۹ ایستگاه محاسبه شد. «پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی دما، بارش و متوسط دبی ماهانه در دشت اراک، تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فرمول تورنت ویت محاسبه شد. بخش‌های باقی‌مانده از معادله تعادل آب شامل تبخیر و تعرق واقعی، ذخیره رطوبت خاک در هر ماه و ماه‌های بعد، از طریق مدل تورنت ویت برآورد می‌شوند» (Mahdavi & Azarakhshi, 2004).

طبق پژوهش افضلی (۱۳۸۸)،  $\alpha$  توانی است که از طریق معادله (۷) به دست آمده است. میزان محاسبه شده از رابطه تورنت ویت برای ماه‌های ۳۰ روزه با ۱۲ ساعت روشنایی است و اگر یکی از این شرایط تغییر کند میزان محاسبه شده از رابطه زیر درست می‌شود:

$$\alpha = (0.675 \times (10)^{-9} \times I^3 - (771 \times (10)^{-7} \times P) + 179 \times (10)^{-4} \times I) + 492 \quad (7)$$

$$ETP = ETPc = (D.N / 360) \quad (8)$$

که در آن:  $ETPc =$  تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده به میلی‌متر و  $ETP =$  تبخیر و تعرق محاسبه شده از رابطه تورنت ویت به میلی‌متر  $D =$  میانگین ساعت‌های روشنایی روزانه موردنظر

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

رتیف	ایستگاه	UTMY	UTMX	ارتفاع
۳۶	سنجان	۳۷۶۹۸۸۶	۳۷۱۸۹۸	۱۹۶۴
۳۷	ده کائید	۳۷۵۷۴۲۲	۳۱۹۱۴۶	۲۲۳۰
۳۸	ده سلمان	۳۷۲۷۵۲۵	۳۴۵۶۰۸	۱۹۸۷
۳۹	حاجی آباد	۳۷۳۴۲۶۱	۳۶۲۱۵۷	۲۰۶۰
۴۰	چال هما	۳۷۴۲۶۷۵	۳۴۱۶۸۷	۲۳۲۰
۴۱	اناج	۳۷۸۴۰۶۰	۳۴۷۴۷۵	۱۷۹۰
۴۲	اراک	۳۷۷۴۰۰۷	۳۸۰۰۸۵	۱۸۰۳
۴۳	آستانه	۳۷۳۷۹۸۹	۳۵۲۵۳۲	۲۲۵۳
۴۴	میلاجرد	۳۸۳۱۵۵۲	۳۲۸۵۵۸	۱۶۶۹
۴۵	لنجان سفلی	۳۸۰۹۶۶۷	۳۴۳۷۷۱	۱۹۴۵
۴۶	قطارآعاج	۳۸۰۹۶۸۸	۳۵۳۳۳۴	۱۹۶۰
۴۷	فوران	۳۸۱۴۶۵۸	۳۲۹۵۶۸	۱۶۷۸
۴۸	فرمهین	۳۸۱۷۴۰۱	۳۷۸۴۰۸	۱۷۸۵
۴۹	شیرین آباد	۳۸۳۴۴۵۰	۳۷۰۴۸۵	۱۸۷۰
۵۰	ساروق بالا	۳۸۰۸۹۲۵	۳۶۱۴۵۶	۱۸۰۰
۵۱	دستجان	۳۸۲۸۲۴۰	۳۶۲۵۶۸	۱۸۹۳
۵۲	خنداب جوشیرون	۳۸۱۰۷۴۸	۳۲۹۵۹۱	۱۶۸۰
۵۳	خنداب	۳۸۰۵۷۹۱	۳۳۲۷۲۰	۱۷۲۰
۵۴	جاورسیان	۳۷۹۳۰۳۲	۳۴۳۴۹۲	۱۸۰۰
۵۵	ایبک آباد	۳۷۹۱۹۳۰	۳۷۸۷۸۹	۱۶۷۰
۵۶	ارجانوند	۳۸۰۱۹۸۳	۳۴۷۴۷۶	۲۰۷۸
۵۷	نانگرد	۳۷۹۹۴۳۱	۴۲۳۳۴۴	۱۶۸۰
۵۸	مستار	۳۸۳۴۲۱۶	۳۸۸۲۴۲	۲۰۷۴
۵۹	گرکان	۳۸۲۳۷۹۶	۳۸۹۸۹۹	۲۱۷۰
۶۰	ده نمک	۳۷۹۰۱۳۴	۳۹۵۹۰۶	۱۷۰۰
۶۱	داوودآباد	۳۷۹۵۸۹۵	۳۹۴۲۴۷	۱۶۶۰
۶۲	آهو	۳۸۲۶۳۶۱	۴۱۵۰۰۳	۲۴۳۳
۶۳	یاتان	۳۸۹۷۸۴۷	۳۸۶۳۶۱	۱۷۸۰
۶۴	فرک	۳۸۴۹۶۷۲	۳۹۰۲۰۷	۱۷۸۰
۶۵	عزالدین	۳۸۵۷۱۲۵	۳۹۸۷۱۹	۱۳۳۲
۶۶	رازقان	۳۹۱۰۶۹۳	۴۰۵۲۸۳	۱۸۶۰
۶۷	توره	۳۸۵۰۱۰۲	۴۱۴۳۰۵	۱۳۴۱
۶۸	تفرش	۳۸۵۶۸۵۳	۴۰۹۷۴۹	۱۹۲۹
۶۹	امرآباد	۳۸۹۰۰۷۸	۴۰۱۳۳۰	۱۶۶۰

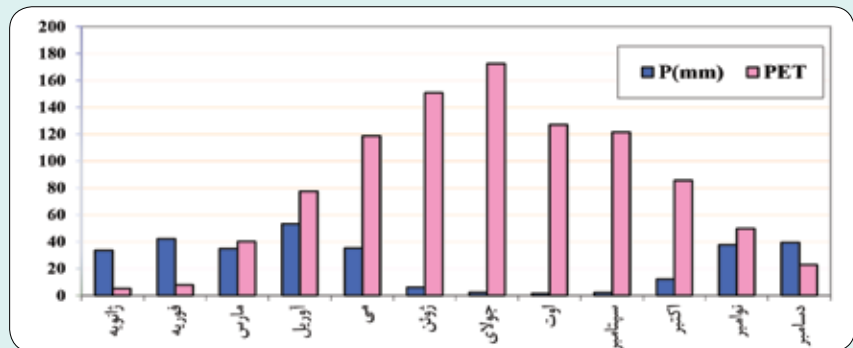
رتیف	ایستگاه	UTMY	UTMX	ارتفاع
۱	کرهرود	۳۶۵۹۴۸۸	۳۷۳۹۷۹	۱۹۰۰
۲	سرابادان	۳۸۴۵۶۱۱	۵۷۳۲۴۹	۲۱۵۰
۳	گاوجلو	۳۸۱۷۰۳۵	۳۴۵۴۲۶	۱۷۸۰
۴	قرلقاش	۳۸۵۸۴۷۴	۳۷۸۷۸۳	۱۵۱۶
۵	رازین	۳۸۷۷۰۱۲	۴۰۷۴۹۷	۱۳۴۸
۶	آشتیان	۳۸۲۱۳۵۱	۴۰۷۸۴۵	۲۰۸۰
۷	شازند	۳۷۵۴۶۸۶	۳۵۱۷۹۳	۱۹۴۴
۸	انجدان	۳۷۶۱۳۵۵	۴۱۱۱۱۵	۲۰۰۰
۹	حسین آباد	۳۶۹۹۵۶۷	۴۰۳۳۱۴	۲۲۳۹
۱۰	مزرعه نو	۳۷۱۴۵۱۱	۳۸۷۰۷۶	۲۱۹۸
۱۱	دهنو	۳۷۰۲۳۱۱	۳۹۶۸۹۳	۲۱۸۲
۱۲	حسین آباد خمین	۳۷۲۰۰۰۵	۴۱۴۴۲۷	۱۵۷۰
۱۳	نراق	۳۷۷۳۰۱۵	۴۸۹۲۶۸	۲۳۵۴
۱۴	شمس آباد	۳۷۷۶۴۲۸	۴۶۹۹۴۴	۱۶۸۰
۱۵	دودهک	۳۷۷۷۰۲۵	۴۶۰۰۴۵	۱۴۷۰
۱۶	ورجه	۳۷۳۸۶۴۴	۴۰۱۲۴۴	۲۰۶۰
۱۷	نوازان	۳۷۷۴۳۵۱	۳۹۲۹۰۰	۱۸۰۰
۱۸	ملک آباد	۳۷۷۴۲۳۰	۳۹۵۴۵۰	۱۶۷۰
۱۹	شائق	۳۷۶۵۴۸۱	۴۲۷۷۳۵	۲۱۴۸
۲۰	سوارآباد	۳۷۶۰۸۶۸	۳۸۹۲۵۸	۱۹۴۷
۲۱	ساقی	۳۷۵۲۴۴۶	۴۰۴۳۱۴	۲۰۴۸
۲۲	خوگان	۳۷۳۹۴۱۵	۴۲۰۹۹۷	۱۹۰۰
۲۳	خمین	۳۷۲۳۰۸۰	۴۱۴۹۹۵	۱۸۰۰
۲۴	ابراهیم آباد	۳۷۷۳۱۲۰	۴۳۰۱۸۱	۲۱۰۰
۲۵	هندودر	۳۷۳۹۱۶۰	۳۳۶۷۵۷	۲۰۹۱
۲۶	هزاوه	۳۷۸۱۴۶۰	۳۶۵۶۰۳	۲۰۹۳
۲۷	نهرمیان	۳۷۶۳۵۹۰	۳۳۵۴۰۳	۱۹۲۰
۲۸	ملایقر	۳۷۴۴۵۷۹	۳۲۷۴۳۶	۲۱۸۶
۲۹	مزرعه خاتون	۳۷۶۲۲۰۲	۳۳۰۱۴۵	۲۰۲۵
۳۰	گوار	۳۷۵۹۴۹۶	۳۷۷۶۶۷	۱۹۷۰
۳۱	کمال صالح	۳۷۲۲۸۱۲	۳۴۱۴۷۸	۱۸۲۰
۳۲	قدمگاه	۳۷۶۰۳۱۵	۳۵۸۷۱۰	۱۸۰۰
۳۳	قاسم آباد	۳۷۵۰۵۳۴	۳۸۱۸۰۷	۲۱۲۶
۳۴	سیرکند	۳۷۵۵۳۲۸	۳۷۱۸۵۴	۲۳۷۴
۳۵	سورانه	۳۷۵۰۲۷۸	۳۵۸۲۰۰	۱۹۳۵

ET تبخیر و تعرق بالقوه اصلاح نشده بر مبنای یک دوره ۱۲ ساعته و یک ماه ۳۰ روزه است. با تنظیم طول روز واقعی (h) و تعداد واقعی روزهای ماه (D)، تبخیر و تعرق واقعی به دست می آید. بر این اساس تبخیر و تعرق بالقوه واقعی در محدوده دشت اراک محاسبه شده است (جدول ۴).

ایجاد یک موازنه آب از اولین وظایف درک رژیم آب برای یک منطقه خاص است. به عبارت ساده، تعادل آب یک برازش بودجه‌ای است که می‌تواند میزان بارندگی که تبدیل به جریان آب (یا رواناب)، تبخیر تعرق و زهکشی (یا تغذیه آب‌های زیرزمینی) می‌شود، ارزیابی کند. نتیجه برآوردها نشان داد بیشترین مقدار تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های تیر (ژوئیه) و مرداد (اوت) و کمترین مقدار، در ماه‌های آذر (دسامبر)، دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و اسفند (مارس) رخ می‌دهد. در این زیرحوضه در هفت ماه از سال شامل دی (ژانویه)، بهمن (فوریه)، اسفند (مارس)، فروردین (آوریل)، آبان (نوامبر) و آذر (دسامبر)، مقدار ET کمتر از میزان بارندگی است (شکل ۵). محاسبات تعیین SW و APWL در هر مرحله زمانی با استفاده از داده‌های ماهانه بر بارش (P) و تبخیر و تعرق بالقوه (PET) در ۶۹ ایستگاه در دشت اراک انجام شد.

(۹)  $P = ET + RO + dSW + D$   
 مازاد آب، یعنی، بارش خالص ( $\Delta P$ ) یا آبی که بیش از حد ظرفیت نگهداری آب خاک (AWC) است، از خاک عبور کرده، در دشت ذخیره می‌شود و در نهایت به رودخانه می‌ریزد. در جدول ۵ محاسبات موازنه سالانه آب دشت اراک خلاصه شده است.

مازاد آب (WS)، نیاز آبی زمین (GS) را تأمین نمی‌کند، بنابراین، رواناب، در منطقه رخ نمی‌دهد (ذخیره شدن آب در زمین به عنوان حداکثر حد مجاز آبی است که می‌تواند در دل زمین ذخیره شود). میزان ظرفیت ذخیره‌سازی آب با توجه به بافت و ساختار خاک متغیر است. ظرفیت ذخیره‌سازی به‌طور خاص فقط در مطالعات محلی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و میزان این ظرفیت در منطقه مورد مطالعه توسط وزارت نیرو ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است (Ensafi Moghaddam)



شکل ۳- مقایسه میانگین بارش ماهانه و تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده به روش تورنت ویت در طول دوره (۱۳۹۱-۱۳۴۰)

جدول ۳- تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه ماهانه در دشت اراک

ماه	تبخیر و تعرق واقعی (mm)	تبخیر و تعرق واقعی (mm)	اختلاف (mm)
ژانویه	۱۰/۲۸	۰۰/۰	-۲۸/۱۰
فوریه	۰۵/۱۸	۰۰/۰	-۱۸/۰۵
مارس	۹۵/۲۴	۰۰/۰	-۲۴/۹۵
آوریل	۳۴/۱۱۳	۰۰/۷۱	-۴۲/۳۵
می	۵۱/۲۲۵	۵۷/۱۱۶	-۱۰۸/۹۵
ژوئن	۷۸/۳۴۱	۷۹/۱۴۳	-۱۹۸/۰۰
جولای	۸۲/۴۰۳	۴۱/۱۴۵	-۲۵۸/۴۲
اوت	۴۷/۳۹۴	۶۵/۱۱۴	-۲۷۹/۸۲
سپتامبر	۱۵/۳۴۳	۰۶/۶۷	-۲۷۶/۰۹
اکتبر	۵۴/۲۳۲	۸۵/۳۲	-۱۹۹/۶۹
نوامبر	۵۸/۱۴۴	۲۷/۸	-۱۳۶/۳۱
دسامبر	۵۳/۶۰	۰۰/۰	-۶۰/۵۳
جمع	۸۴/۲۳۳۰	۵۸/۶۹۹	-۱۶۳۱/۲۶

جدول ۴- تعادل آب خاک برای تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه با استفاده از فرمول تورنت ویت

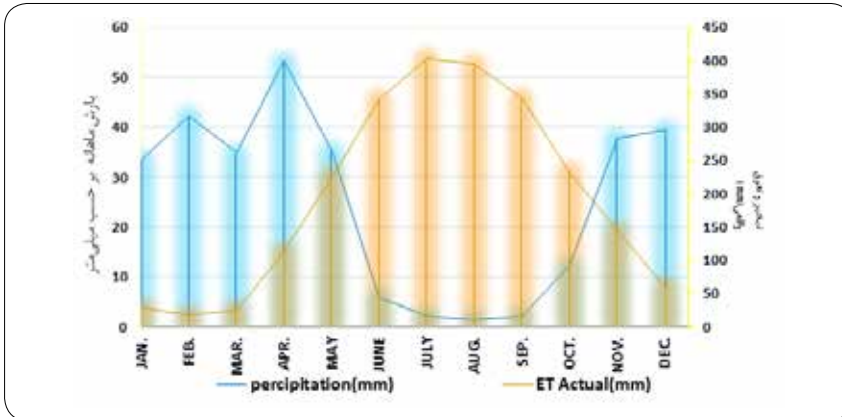
ماه	دما (°C)	میانگین بارش (mm)	PET	AET	PAW	DS	Surplus	Deficit
ژانویه	۰	۳۴	۵	۵	۴۵	۲۸	۰	۰
فوریه	۱	۴۲	۸	۸	۴۸	۳	۳۱	۰
مارس	۵	۳۵	۴۰	۴۰	۴۳	۵-	۰	۰
آوریل	۱۰	۵۳	۷۸	۷۸	۱۸	۲۴-	۰	۰
می	۱۵	۳۵	۱۱۹	۵۴	۰	۱۸-	۰	۶۵-
ژوئن	۲۰	۶	۱۵۱	۶	۰	۰	۰	۱۴۵-
جولای	۲۴	۲	۱۷۲	۲	۰	۰	۰	۱۷۰-
اوت	۲۴	۲	۱۲۷	۲	۰	۰	۰	۱۲۵-
سپتامبر	۲۱	۲	۱۲۱	۲	۰	۰	۰	۱۱۹-
اکتبر	۱۵	۱۲	۸۶	۱۲	۰	۰	۰	۷۳-
نوامبر	۹	۲۸	۵۰	۲۸	۰	۰	۰	۱۲-
دسامبر	۴	۳۹	۲۳	۲۳	۱۷	۱۷	۰	۰



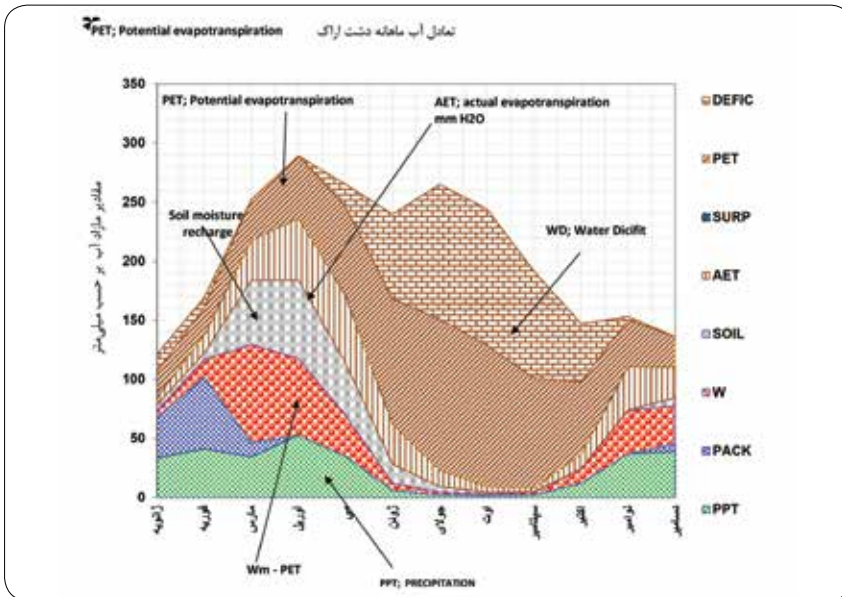
(& Mohammadkhan, 2017)

● بحث

داده‌های محاسبه شده در مدل تورنت ویت با داده‌های مشاهداتی ۵۰ ساله دوره بلندمدت (۱۳۹۱-۱۳۴۰) مقایسه شد. نتایج نشان داد کیفیت مدل رضایت بخش بوده است. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر تقریباً مشابه نتایج Mahdavi (۱۹۸۷) در مقاله «مطالعه موردی ایستگاه هواشناسی کاشان» از انتشارات مرکز تحقیقات دشت کویر ایران است. در مطالعه Mahdavi (۱۹۸۷)، رواناب شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده در قالب ارائه آماری و گرافیکی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج مطالعه او در برآورد آب و هوای خشک با نتایج مقاله حاضر، نتیجه‌گیری مشابهی داشته که می‌تواند نتیجه موجهی برای پذیرش این تحقیق باشد. بعضی از مقادیر تعادل آب محاسبه شده و نتایج دارای مقادیر مشابه، اما توزیع بسیار متفاوتی هستند. در حوضه مرکزی ایران، از جمله دشت اراک، در واقع چرخه فصلی آب نقش برقراری تعادل بین تغییرات EP و نفوذ را در مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. این امر نقش مهم بالقوه آب‌های سطحی و زیرزمینی را در شکل‌گیری چرخه هیدرولوژیکی نشان داده و می‌تواند به تفسیر اندازه‌گیری‌های تصاویر ماهواره‌ای قابل دسترس کمک کند.



شکل ۴- مقایسه مقادیر بارش ماهانه و تبخیر و تعرق واقعی ماهانه در دشت اراک در طول دوره (۱۳۹۱-۱۳۴۰)



شکل ۵- تعادل آب ماهانه دشت اراک

جدول ۵- موازنه سالانه آب برای دشت اراک

متغیر	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	سالانه
PPT	۳۸/۸	۳۶/۹	۱۲/۰	۱۲/۰	۱/۵	۲/۳	۶/۰	۳۴/۸	۵۲/۷	۳۴/۴	۴۱/۲	۳۳/۲	۲۹۶
TEMP	۳/۵	۹/۳	۱۵/۰	۲۰/۵	۲۳/۵	۲۳/۷	۲۰/۱	۱۵/۱	۱۰/۳	۴/۹	۰/۸	۰/۵	
F	۰/۵۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۲	۰/۱۳	۰/۰۸	
RAIN	۲۳	۳۷	۱۲	۲	۲	۲	۶	۳۵	۵۳	۲۸	۵	۳	۲۰۷
SNOW	۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۳۶	۳۱	۸۸
PACK	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۶۱	۳۴	
MELT	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۵۵	۹	۳	۸۸
INPUT	۳۲	۳۷	۱۲	۲	۲	۲	۶	۳۵	۶۵	۸۳	۱۵	۵	۲۹۶
PET	۲۶	۳۹	۶۱	۹۳	۱۲۰	۱۲۸	۱۰۶	۷۶	۵۲	۳۴	۲۴	۲۱	۷۸۱
W - PET	۷	-۳	-۴۹	-۹۱	-۱۱۸	-۱۲۶	-۱۰۰	-۴۱	۱۲	۴۹	-۹	-۱۶	
SOIL	۷	۰	۰	۱	۱	۵	۱۶	۴۴	۶۷	۵۴	۵	۶	
SOIL\	۷	۰	۰	-۱	-۳	-۱۲	-۲۸	-۲۲	۱۲	۴۹	۰	-۱	
AET	۲۶	۳۷	۱۲	۳	۵	۱۴	۳۴	۵۷	۵۲	۳۴	۱۵	۶	۲۹۶



## ● نتیجه گیری

به منظور محاسبه نتایج اصلی این مطالعه بر تعادل آب، تبخیر و تعرق باید مورد توجه قرار می گرفت. مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه بیش از  $2330/8$  میلی متر است و این میزان  $7/8$  برابر میانگین بارندگی سالانه است. مقدار تبخیر و تعرق بالقوه سالانه نیز در فصل رشد محصول، حدود  $2/3$  برابر میزان بارش در این دوره است. تبخیر و تعرق قبل از شروع فصل رشد محصولات، فقط زمانی که محصولات به آبیاری بیش از هر زمان دیگر نیاز دارند، به طور چشمگیری افزایش می یابد.

### هنگامی که

#### کمبود آب (WD) شروع

می شود، محصولات به طور معمول باید در فواصل کوتاه مدت آبیاری شوند. در این شرایط تولید کشاورزی به مقدار آب موجود در این منطقه محدود می شود. کمبود آب (WD) یکی از بزرگ ترین مشکلات برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک و به طور خاص در منطقه مورد مطالعه (دشت اراک) است.

معمولاً در این زمان است که کمبود آب برای آبیاری، تولید محصول را کاهش می دهد. با شروع فصل تابستان، مقدار تبخیر به میزان زیادی افزایش می یابد و توسعه محصولات تابستانی در این منطقه را محدود می کند. در فصل زمستان مازاد آب (WS) وجود دارد، اما میزان آن کم است و قادر به ذخیره سازی در مخازن زمین نیست (ذخیره سازی زمین در منطقه مورد مطالعه  $100$  میلی متر تعیین شده است)، بنابراین رواناب اتفاق نمی افتد. در این وضعیت، با شروع فصل تابستان، بارش، دیگر برای ذخیره در زمین نقشی ندارد و کمبود آب (WD) برای شش ماه سال اتفاق می افتد. هنگامی که کمبود آب (WD) شروع می شود، محصولات به طور معمول باید در فواصل کوتاه مدت آبیاری شوند. در این شرایط تولید کشاورزی به مقدار آب موجود در این منطقه محدود می شود. کمبود آب (WD) یکی از

بزرگ ترین مشکلات برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک و به طور خاص در منطقه مورد مطالعه (دشت اراک) است.

## ● منابع

- افضلی، آ.، مهدوی، م.، زارع چاهوکی، م. ع.، ۱۳۸۸. برآزش داده های تشتک تبخیر با روش تورنت ویت در مناطق خشک ایران. فصلنامه مرتع و آبخیزداری، ۲: ۱۸۷.
- خالدی، ش.، ۱۳۸۵. احیای کویر میقان. نشریه علوم جغرافیایی، ۵ (۶-۷): ۱۲۹-۱۵۲.
- خانجانی، م. و قدیمی عروس محله، ف.، ۱۳۸۷. رسوب شناسی کویر میقان اراک به منظور بررسی پتانسیل بیابانزایی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- خانجانی، م. و قدیمی عروس محله، ف.، ۱۳۹۰. طبقه بندی شدت بیابانزایی اراضی ایران توسط مدل زمین شناسی (مطالعه موردی دشت اراک). دومین همایش ملی مقابله با بیابانزایی و توسعه پایدار تالاب های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ۲۳ تا ۲۴ شهریور ۱۳۹۰.
- رحیمی، م. ح.، کلانتری، ن.، کشاورزی، م. ر. و جلالوند، ع.، ۱۳۸۶. بیان هیدروکلیماتولوژی دشت بهبهان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱۶ تا ۱۸ بهمن ۱۳۸۶.
- زارع ایبانه، ح.، بیات ورکشی، م.، سبزی پرور، ع.، معروفی، ص. و قاسمی، ع.، ۱۳۸۹. ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و بهینه بندی آن در ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷۴: ۱۱۰-۹۵.
- زهتاییان، غ.، قدیمی، م.، طویلی، ع.، بخشی، ج.، ۱۳۸۹. اثر فاکتور محیطی آب زیرزمینی در پراکنش تیپ های گیاهی در اراضی حاشیه پلایای میقان اراک، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳۵۳-۳۶۱: (۳)۱۷.
- سمعی، م. و برون، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک شهرضا، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱۸ تا ۲۰ بهمن ۱۳۹۰.
- قنوتی، ع.، میرزاخانی، ب. و عسگری، آ.، ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی حوضه میقان، بررسی شکل های ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آنها. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۷(۱): ۲۵-۳۲.
- معروف پور، ع.، بهزادی نسب، م. و محمدی، ص.، ۱۳۹۰. ارزیابی سند ملی آب استان مرکزی و ارائه پیشنهادات، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ۱۸ تا ۲۰ بهمن ۱۳۹۰.
- همتی، ر.، ۱۳۹۷. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تجربی تورنت ویت اصلاح شده، اولین بانک نرم افزارهای هواشناسی و اقلیم شناسی هواشناسی اردبیل، سایت هواشناسی استان اردبیل، <http://www.ardebilmet.ir/to/in/ahtml/44-5-software.htm>
- Daneshkar Araste, P., Tajrishi, M., Mirlatifi, S.M. and Saghaian, B., 2004. Necessity of Revision on Free Water Surface Estimation Models in Arid Areas with Regional Advection: Chahnimeh Reservoirs as a Case Study. J. of Agr, Eng, Res, 5(18): 37-58.
- Ensafi Moghaddam, T., Mohammadxan, S.h., 2017. An Estimation of THORNTHWAITE MONTHLY WATER- BALANCE in Arak plain, Natural Environment Change, 3(1): 71-80.
- Ghahroodi Tali, M., Mirzakhani B. and, Asgari A., 2012. Desertification in Iran wetland (case study: Meyghan wetland). Geography and Environmental hazards, 4: 97-111. (In Persian).
- Mahdavi, M., 1987. A statistical analysis of the climate in the margin of the Dasht-E-Kavir, Central Iran (A case study of the Kashan meteorological station). Desert, 18: 30-35.
- Mahdavi, M. and Azarakhshi, M., 2004. A determination of an appropriate monthly water balance in small watersheds of Iran (Case study: Eastern Azarbayejan and North of Khorasan). Iranian J. Natural Res., 57(3): 415-427.
- Penman, H. L., 1956. Estimating evaporation. American Union Transactions, 37(1): 43-50.
- Subedi, A. and Chávez José, L., 2015. Crop Evapotranspiration (ET) Estimation Models: A Review and Discussion of the Applicability and Limitations of ET Methods. Journal of Agricultural Science, 7(6): 50-68.
- Thorntwaite, C. W., and Mather, J. R., 1955. The water balance. Publ. Climatol, 8(1): 1-104.
- Thomtwaite, C. W. and Mather, J. R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. Climatol, 10(3): 183 - 311.
- Xu, C. Y. and Singh, V.P., 2000. Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. Hydrological Processes, 14: 339-349.