

## برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه پسته به کمک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی باغات پسته اردکان یزد)

محمد تقی دستورانی<sup>۱</sup>، سمانه پورمحمدی<sup>۲</sup>، محمد حسن رحیمیان<sup>۳</sup>

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد [mdastorani@yazduni.ac.ir](mailto:mdastorani@yazduni.ac.ir) - ۲- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی،

دانشگاه یزد [s.poormohammadi@yahoo.com](mailto:s.poormohammadi@yahoo.com) - ۳- کارشناس آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری

[mhrahimian@gmail.com](mailto:mhrahimian@gmail.com)

### چکیده

برآورد دقیق میزان تبخیر و تعرق واقعی محصولات زراعی و باغی اهمیت ویژه ای در برنامه ریزی و بهینه سازی آب خصوصاً در مناطق خشک و کم آب دارد. در این تحقیق جهت ارزیابی الگوریتم سبال (توازن انرژی سطحی زمین) در برآورد تبخیر و تعرق واقعی به تخمین تبخیر و تعرق واقعی درخت پسته منطقه اردکان در استان یزد پرداخته شده است. برای این کار از یک سری زمانی تصاویر ماهواره ای مودیس مشتمل بر ۱۳ تصویر در طول دوره رشد پسته استفاده و نقشه تبخیر و تعرق درختان پسته در منطقه مطالعاتی تهیه شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که متوسط تبخیر و تعرق واقعی پسته در منطقه مطالعاتی ۱۱۵۰ میلیمتر است که در مقایسه با مقدار آب مصرفی در طول یک دوره رشد بسیار کمتر است. این نتایج حاکی از ضرورت برنامه ریزی جهت تدوین تقویم مناسب آبیاری، و نیز توصیه دور و عمق مناسب برای آبیاری باغات پسته اردکان است. با این اقدامات ضمن افزایش بهره‌وری، از هدر رفت مقادیر قابل توجه آب بواسطه آبیاریهای بیش از حد نیز جلوگیری خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** تبخیر و تعرق واقعی، پسته، سبال، مودیس

### مقدمه

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق (ET) درختان و محاسبه آن در شرایط واقعی<sup>۱</sup> به روشهای مختلفی صورت می‌گیرد. محاسبه تبخیر و تعرق به عنوان جزء باقیمانده معادله بیلان آب<sup>۲</sup> در یک محیط کنترل شده نظیر لایسیمتر از جمله این راهکارهاست. روشهای پیچیده‌تر نیز در این زمینه وجود دارند که استفاده از ابزاری به نام ادی کواریانس<sup>۳</sup> در باغات و همچنین محاسبه نسبت بوون<sup>۴</sup> از جمله آنهاست (ویلابلوس و همکاران ۲۰۰۰، تستی و همکاران ۲۰۰۴). یکی از محدودیتهای این روشها این است که نیاز به باغات با پوشش گیاهی یکنواخت و با سطح نسبتاً بزرگ (حداقل ۲ یا ۳ هکتار) می‌باشد. یکی دیگر از تکنیکهایی که در مورد درختان بکار رفته است اندازه‌گیری جریان شیره گیاهی با استفاده از روش بیلان حرارتی (ساکوراتانی، ۱۹۸۱) یا سنسورهای ایجاد پالسهای حرارتی (کوهن و همکاران ۱۹۸۱، کوهن و همکاران ۲۰۰۱) است که در سالیان اخیر استفاده شده و به صورت مستقیم میزان تعرق صورت گرفته از درخت را تخمین زده است. اگر چه تمامی این تکنیکها امکان محاسبه تبخیر و تعرق واقعی درختان را فراهم می‌آورند اما به هر حال هزینه و نیروی متخصص زیادی را خصوصاً برای سطوح وسیع صرف می‌کنند.

<sup>۱</sup> -Actual ET

<sup>۲</sup> -Water balance

<sup>۳</sup> -Eddy covariance

<sup>۴</sup> -Bowen ratio

از این رو استفاده از روشهای کم‌هزینه‌تر نظیر تکنیکهای سنجش از دور<sup>۱</sup> از جمله گرایشهای اخیر محققین در این زمینه بوده است. آنها این تکنیکها را به عنوان جدیدترین و ارزان‌ترین راه برای محاسبه ET واقعی دانسته‌اند (آلن و همکاران ۲۰۰۵، آلن و همکاران ۲۰۰۷، باستیانس و همکاران ۱۹۹۸، باستیانس ۲۰۰۰، باستیانس و همکاران ۲۰۰۵). الگوریتمهایی که با استفاده از اطلاعات سنجش از دور (ماهواره) اقدام به محاسبه اجزای معادله بیلان انرژی<sup>۲</sup> کرده و سپس تبخیر و تعرق واقعی گیاهان را محاسبه می‌کنند متعدد هستند. در ایران نیز از این روشها در چندین نقطه کشور استفاده و نتایج نسبتاً مناسبی کسب گردیده است (شریفی و همکاران ۲۰۰۸، اکبری و همکاران ۲۰۰۷، مختاری ۲۰۰۵، پورمحمدی و رحیمیان ۲۰۰۹، خاوریان نهزک ۱۳۸۳، اصغر زاده و ثنایی نژاد ۱۳۸۵، یعقوبی فشکی و همکاران ۱۳۸۸، پورمحمدی ۱۳۸۸). در این روشها نیاز به حل معادله بیلان انرژی است که در آن تبخیر و تعرق واقعی (یا همان شار گرمای نهان LE) بعنوان جزء باقیمانده اختلافات بین تشعشع خالص ورودی به سطح ( $R_n$ ) و شار گرمای محسوس خارج شده از سطح (انرژی مورد استفاده جهت گرم نمودن هوای مجاور H) و نیز شار گرمایی ورودی به زمین (انرژی ذخیره شده در خاک و پوشش گیاهی G) قابل محاسبه می‌باشد:

$$LE = R_n - G - H \quad \text{معادله ۱}$$

تخمین هر یک از اجزای این معادله نیازمند مجموعه‌ای از داده‌هاست که ضمن دارا بودن کیفیت و دقت زمانی مناسب بتواند تغییرات مکانی هر یک از این آنها را نیز به خوبی نمایش دهد. یکی از مهمترین اجزای این معادله شار گرمای محسوس (H) است. راه‌حلهای متعددی برای محاسبه این جزء از معادله انرژی وجود دارد که سیال<sup>۳</sup> (باستیانس و همکاران، ۱۹۹۸) و متریک<sup>۴</sup> (آلن و همکاران، ۲۰۰۳) از معتبرترین و پرکاربردترین الگوریتمها برای محاسبه H در سطح دنیا است. فرض بکار رفته در هر دوی این الگوریتمها این است که اختلاف دمای بین سطح زمین و هوای مجاور چسبیده به سطح (dT)، به دمای سطح زمین ( $T_0$ ) وابسته بوده که به صورت خطی تغییر می‌کند. فرمول زیر بیانگر این رابطه خطی است (باستیانس، ۱۹۹۵):

$$dT = a + bT_0 \quad \text{معادله ۲}$$

مقادیر a و b در این فرمول به صورت تجربی و توسط دو پیکسل انتخابی بر روی هر تصویر ماهواره‌ای به نام پیکسلهای حد نهایی<sup>۵</sup> یا همان پیکسلهای گرم و سرد<sup>۶</sup> تعیین می‌شوند. در تحقیق حاضر پس از تهیه تصاویر سنجنده مودیس<sup>۷</sup> مربوط به ماهواره ترا<sup>۸</sup> از منطقه پسته زارهای اردکان در استان یزد و پردازش آنها، اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی پسته در طول یک فصل کامل رشد (نیمه فروردین تا انتهای آبان سال ۱۳۸۶) گردیده است. اهمیت این تحقیق در آنجایی است که در حال حاضر مقادیر زیادی از منابع آبی منطقه صرف آبیاری این باغات می‌گردد. در حالی که توصیه‌های موجود برای نیاز آبی پسته متناقض با این مقادیر است. لذا هدف اصلی این تحقیق ارزیابی کارایی تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال در برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی باغات پسته در منطقه خشک اردکان در استان یزد بوده است.

## مواد و روشها

### - معرفی منطقه مطالعاتی

محل اجرای این طرح باغات پسته شمال اردکان در استان یزد می‌باشد. مساحت کلی این محدوده ۱۱۰۰۰ هکتار است که البته وسعت خالص باغات تحت کشت پسته کمتر از این مقدار و حدود ۳۷۵۰ هکتار خواهد بود. این منطقه مابین طولهای جغرافیایی ۵۳ ۵۵ تا ۵۴ ۰۵ شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۲ ۱۷ تا ۳۲ ۲۴ شمالی واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه این منطقه ۶۴ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن ۱۹ درجه سانتیگراد گزارش شده است (دهقانی و گلشن، ۱۳۸۰).

### - محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_p$ )

<sup>۱</sup> -Remote sensing

<sup>۲</sup> -Energy balance

<sup>۳</sup> -SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)

<sup>۴</sup> -METRIC (Mapping EvapoTraspiration at high Resolution using Internalized Calibration)

<sup>۵</sup> -Extreme pixels

<sup>۶</sup> -Hot and Cold pixels

<sup>۷</sup> -MODIS

<sup>۸</sup> -TERRA

با بررسیهای فیزیولوژیکی انجام شده بر روی گیاه پسته سه مرحله رشدی بارز در این گیاه تشخیص داده شده است (گلدهرم و بیده، ۱۹۹۳). مرحله اول از موقع گرده افشانی تا زمانی است که پوست پسته (اندوکارپ) بزرگ شده اما هنوز نرم بوده و استخوانی نشده است. رشد اندامهای هوایی گیاه در مرحله دوم اتفاق می افتد. همچنین در این مرحله پوست پسته ضخیم و سفت (استخوانی) می گردد. در مرحله سوم دانه پسته شروع به پر شدن توسط مغز می کند. سپس دانه می رسد و پوست آن می ترکد (با اصطلاحاً خندان می شود). در این مرحله پوست نازک بیرونی<sup>۱</sup> آن نیز از بین می رود. مراحل مذکور از این جهت حائز اهمیت است که با تشخیص زمان وقوع آنها در منطقه مطالعاتی، امکان تخصیص ضریب گیاهی ( $K_c$ ) به هر یک از دوره های رشد پسته فراهم و بدینوسیله نیاز آبی پتانسیل گیاه ( $ET_p$ ) از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$ET_p = K_c * ET_0 \quad \text{معادله ۳}$$

با بررسیهای انجام شده در منطقه مطالعاتی، شروع مرحله اول از دوره رشد پسته نیمه فروردین و پایان دوره سوم انتهای شهریور هر سال است. تامین نیاز آبی گیاه پسته به همین دوره محدود نیست. بلکه این گیاه در دوره برداشت محصول و همچنین دوره پس از برداشت<sup>۲</sup> نیز به آبیاری مداوم احتیاج دارد. بدین ترتیب انتهای آبانماه هر سال، به منزله انتهای دوره رشد این گیاه محسوب خواهد شد. روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در این تحقیق فائو-پنمن-مانتیت است. امروزه این روش در سطح دنیا مقبولیت فراوانی دارد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین برای ضریب گیاهی ( $K_c$ ) پسته از مقادیر توصیه شده توسط فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده شد. این ضریب در مراحل مختلف رشد (ابتدایی، میانی، انتهایی) تعریف شده که بر اساس فنولوژی رشد پسته در منطقه مطالعاتی، به تمامی روزهای دوره رشد آن تعمیم داده شده است.

#### -تخمین تبخیر و تعرق واقعی ( $ET_a$ ) با تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال

برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی پسته از یک سری زمانی تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس مشتمل بر ۱۳ تصویر مختلف در طول دوره رشد پسته استفاده شده است. همچنین اطلاعات اقلیمی مربوط به ایستگاه هواشناسی اردکان و نیز برخی اطلاعات محلی و بازدیدهای صحرائی در این کار استفاده شده اند. تبخیر و تعرق واقعی پسته در این تحقیق از طریق الگوریتم توازن انرژی سبال (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸) تخمین زده شده است. اجزای بیلان انرژی محاسبه شده در این روش به صورت لحظه ای<sup>۳</sup> و مربوط به زمان گذر ماهواره بوده و لذا جهت تعمیم آن به طول روز (جهت محاسبه تبخیر و تعرق روزانه)، از پارامتر جزء تبخیری<sup>۴</sup> ( $EF$ ) استفاده گردیده (باستیانسن، ۲۰۰۰) که روش محاسبه آن به صورت زیر است.

$$EF = \frac{LE}{LE + H} \quad \text{معادله ۴}$$

فرضیه استفاده شده در این روش ثابت بودن جزء تبخیری در طول روز و یا به عبارتی دیگر برابری جزء تبخیری لحظه ای و روزانه می باشد (شاتلورث و همکاران ۱۹۸۹، بروتشرت و چن ۱۹۹۶) که بسیاری از محققان دیگر نیز از همین فرضیه برای تعمیم نتایج لحظه ای به مقادیر روزانه استفاده نموده اند. با بدست آمدن جزء تبخیری برای هر یک از روزهای دارای تصویر، تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته (روزانه) توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_{a-24h} = \frac{EF * R_{n-24h}}{28.588} \quad \text{معادله ۵}$$

که در این معادله مقدار  $R_{n-24h}$  تشعشع خالص روزانه است که تابعی از آلبیدوی سطح، قابلیت انتقال<sup>۵</sup> و طول موج کوتاه ورودی در ناحیه بالایی اتمسفر است.

هر یک از ۱۳ تصویر اخذ شده از ماهواره، یک بازه زمانی از طول دوره رشد پسته را پوشش می دهد که بین ۱۵ تا ۳۰ روز متغیر است. بنابراین کل فصل رشد قابل تقسیم به ۱۳ بازه زمانی مختلف است، بطوریکه در وسط هر بازه یک تصویر (یا به

<sup>۱</sup> -Hall

<sup>۲</sup> - Post harvest

<sup>۳</sup> -Instantaneous

<sup>۴</sup> -Evaporative fraction

<sup>۵</sup> -Transmissivity

عبارتی دیگر یک تبخیر و تعرق واقعی روزانه) وجود خواهد داشت. جهت محاسبه تبخیر و تعرق واقعی در طول دوره رشد پسته ابتدا تبخیر و تعرق واقعی مربوط به هر یک از این بازه‌های زمانی ( $ET_{a-period}$ ) از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

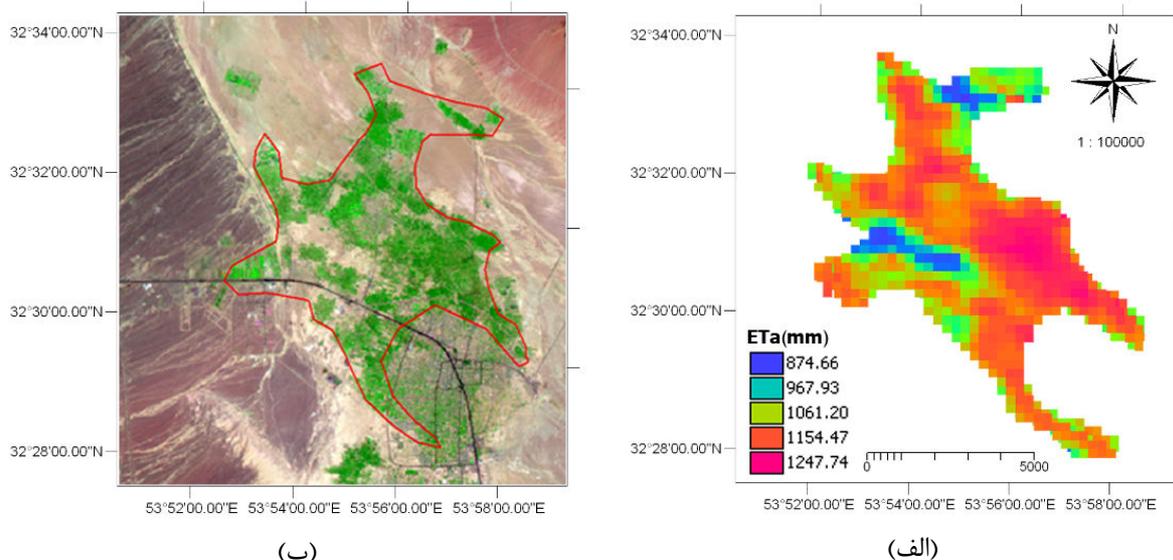
$$(ET_{a-period})_i = \frac{(ET_{a-24h})_i}{(ET_o)_i} \sum_j^k (ET_o)_j \quad \text{معادله ۶}$$

که در این رابطه  $ET_o$  تبخیر و تعرق مرجع روزانه مربوط به روزهای مختلف آن بازه زمانی (از  $j$  تا  $k$ )  $ET_{a-24h}$  تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده برای روز وسط آن بازه زمانی (روز  $i$  ام) است. سپس با تجمیع مقادیر تبخیر و تعرق بازه‌های مختلف، تبخیر و تعرق واقعی پسته در یک فصل کامل رشد ( $ET_{a-season}$ ) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$ET_{a-season} = \sum_{i=1}^{19} (ET_{a-period})_i \quad \text{معادله ۷}$$

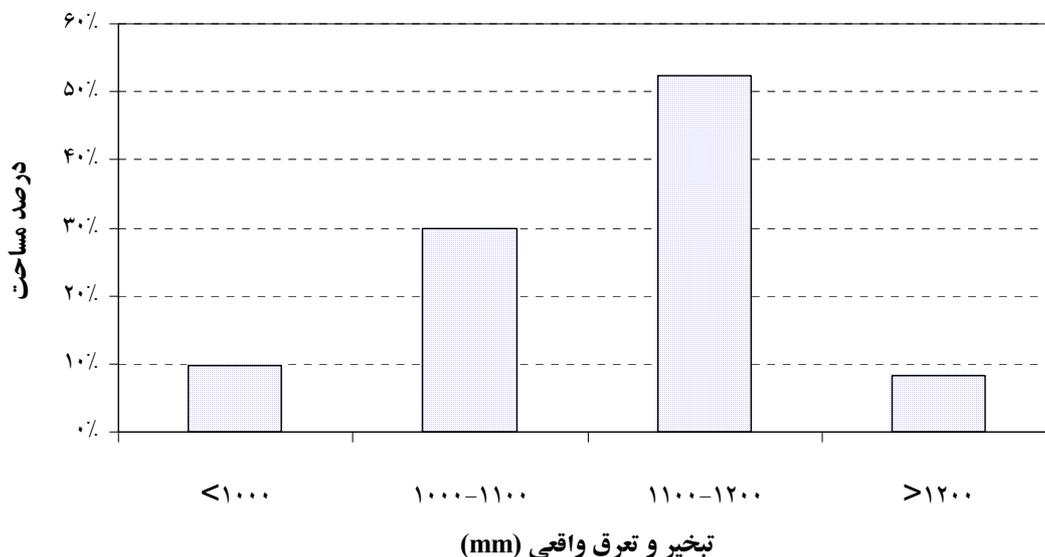
## نتایج و بحث

بر اساس محاسبات انجام شده، تبخیر و تعرق پتانسیل پسته ( $ET_p$ ) در منطقه اردکان در سال مذکور ۱۳۷۵ میلیمتر است. آمار درازمدت و توصیه‌های موجود برای نیاز آبی پسته در منطقه مطالعاتی نیز تبخیر و تعرق پسته را حدود ۱۳۰۰ میلیمتر برآورد کرده‌اند که با مقدار محاسبه شده در سال ۱۳۸۶ تطابق نسبی دارد. نکته حائز اهمیت در این مورد این است که عدد محاسبه شده برای تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به شرایطی است که گیاه تحت تنشهای محیطی از قبیل خشکی، شوری و امراض مختلف نباشد. اما واقعیت امر چنین نیست. با توجه به معضل کمبود آب در منطقه و همچنین کیفیت منابع آب و خاک باغات پسته در منطقه اردکان، به نظر می‌رسد که تنشهای مختلف محیطی و از همه مهمتر شوری و خشکی بر این منطقه حاکم باشد. لذا در عمل تبخیر و تعرق صورت گرفته توسط پسته (تبخیر و تعرق واقعی) کمتر از این مقدار خواهد بود. شکل شماره ۱ نشان دهنده نقشه تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از باغات پسته منطقه اردکان است. در این شکل تصویر ماهواره‌ای محدوده مطالعاتی نیز جهت مقایسه و تطبیق آورده شده است. بر اساس هیستوگرام این نقشه، متوسط تبخیر و تعرق واقعی منطقه مطالعاتی در طول یک فصل کامل رشد پسته ۱۱۰۷ میلیمتر است که این مقدار در نقاط مختلف آن از ۸۷۴ تا ۱۲۴۷ میلیمتر متغیر است. بر اساس نقشه تبخیر و تعرق، مقادیر حداقل تبخیر مربوط به مناطق فاقد پوشش یا مناطق مسکونی واقع در داخل منطقه مطالعاتی است و مقادیر حداکثر نیز در محدوده شرقی پسته زارها و عمدتاً درون پوششهای انبوه پسته مشاهده می‌گردد.



شکل ۱- الف) نقشه تبخیر و تعرق واقعی پسته منطقه اردکان در سال ۱۳۸۶ (ب) تصویر مقایسه‌ای محدوده مطالعاتی

در شکل شماره ۲ مساحت‌های اختصاص یافته به گروه‌های مختلف تبخیر و تعرق واقعی مشاهده می‌گردد. همانطوری که ملاحظه می‌شود بیش از ۵۰ درصد از مساحت باغات پسته منطقه مطالعاتی دارای تبخیر و تعرق بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر در یک دوره کامل رشد هستند. با میانگین گیری از این دو مقدار میتوان چنین نتیجه گیری کرد که تبخیر و تعرق واقعی در طول یک فصل رشد در اکثر باغات پسته منطقه اردکان ۱۱۵۰ میلی‌متر خواهد بود.



شکل ۲- درصد مساحت اختصاص یافته به کلاسهای مختلف تبخیر و تعرق پسته باغات اردکان - سال ۱۳۸۶

همانطوری که قبلاً نیز اشاره شد، بدلیل احتمال وجود تنشهای مختلف محیطی در منطقه (خشکی، شوری، آفات و امراض و ...) امکان حصول حداکثر تبخیر و تعرق یا همان تبخیر و تعرق پتانسیل پسته ( $ET_p$ ) وجود نخواهد داشت. مقادیر بدست آمده برای تبخیر و تعرق واقعی (شکل شماره ۱) نیز موید همین مطلب است. منابع معتبری که تا کنون اقدام به انتشار نیاز آبی پسته در کشور نموده‌اند متعدد هستند که از جمله آنها می‌توان به کتاب برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)، مدل نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران<sup>۱</sup> (سازمان هواشناسی و وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۱)، مدل بهینه سازی و برنامه ریزی مصرف آب کشاورزی<sup>۲</sup> (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲) و همچنین محاسبه از طریق مدل معروف ارائه شده توسط موسسه فائو، دانشگاه ساوسمیتون انگلیس و مرکز ملی تحقیقات آب مصر<sup>۳</sup> (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۸) اشاره نمود. وجه مشترک این منابع روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) است که در تمامی آنها از روش فائو پنمن مانیتث استفاده شده است. در جدول شماره ۱ نتایج کسب شده از این روشها برای محاسبه نیاز آبی پسته در منطقه مطالعاتی آورده شده است. مقایسه این نتایج نشان دهنده اختلاف بین روشهای مختلف محاسباتی است که در مورد کتاب برآورد نیاز آبی و همچنین مدل Optiwat این اختلافات به حداکثر خود می‌رسد. یکی از دلایل عمده این اختلافات به ضریب گیاهی ( $K_c$ ) استفاده شده در آنها برمی‌گردد. به عنوان مثال حداکثر ضریب گیاهی استفاده شده در کتاب نیاز آبی گیاهان ۰/۶ است (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶). به همین دلیل نیاز آبی کمتری نسبت به سایر روشها بدست می‌دهد. این در حالی است که ضریب گیاهی توصیه شده توسط فائو در دوره میانی رشد پسته به ۱/۱۹ نیز می‌رسد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

<sup>۱</sup> -Netwat

<sup>۲</sup> -Optiwat

<sup>۳</sup> -Cropwat

جدول ۱-مقایسه نتایج استخراج شده از مدلها و مراجع موجود برای محاسبه نیاز آبی پسته (میلیمتر) در منطقه اردکان - یزد

آلگوریتم سبال (این تحقیق)	مدل Optiwat	مدل Netwat	FAO Cropwat	کتاب (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)
۱۱۵۰	۲۵۴۰	۱۲۷۴	۱۳۷۵	۷۷۱

با توجه به تفاوت‌های موجود و همچنین در نظر گرفتن جمیع شرایط از قبیل تفاوت در روش محاسباتی و ضرایب گیاهی استفاده شده در هر روش، می‌توان گفت که تبخیر و تعرق محاسبه شده از طریق آلگوریتم سبال که شرایط واقعی حاکم بر منطقه مطالعاتی از قبیل تنش‌های محیطی و تغییرات مکانی مدیریت آبیاری را نیز در نظر گرفته است، مقدار قابل قبول و منطقی را برای تبخیر و تعرق پسته ارائه داده است. کاهش ۱۶ درصدی تبخیر و تعرق واقعی نسبت به مقدار پتانسیل آن در سال مورد مطالعه حاکی از ایده‌آل نبودن شرایط محیطی و مدیریتی در باغات پسته اردکان است که امری واقعی به نظر می‌رسد. گواه این امر نیز کمتر بودن عملکرد پسته نسبت به مقدار پتانسیل تولید این محصول در این منطقه است.

### نتیجه‌گیری

تا کنون برآوردهای متعددی در زمینه نیاز آبی پسته در کشور ارائه شده است. مبنای برخی از این توصیه‌ها محاسباتی بوده و برخی دیگر نیز از طریق اندازه‌گیری عمق آب آبیاری اعمال شده در دوره های مختلف آبیاری بوده است. همانطوری که در نتایج این تحقیق نیز عنوان شد روش‌های محاسباتی موجود، نیاز آبی مختلفی را برای گیاه پسته ارائه می‌دهند. این اختلافات بیشتر ناشی از تفاوت در ضرایب گیاهی ( $K_c$ ) استفاده شده در آنهاست. به عنوان مثال ضرایب گیاهی توصیه شده توسط فائو به حدود دو برابر مقادیر استفاده شده در برخی منابع داخلی نیز می‌رسد. البته در این زمینه باید گفت که علاوه بر شرایط اقلیمی حاکم بر هر منطقه، عوامل دیگر نظیر سن درختان، نحوه آرایش آنها، مدیریت باغات و برنامه آبیاری آنها نیز از عوامل موثر بر تغییر ضریب گیاهی در هر منطقه محسوب می‌گردند که بایستی در این تفاوتها منظور گردند. بررسی این تفاوتها نیز مستلزم انجام مطالعات پایه و دقیق لایسیمتری است. این در حالی است که تحقیقات کمتری در زمینه تعیین نیاز آبی واقعی پسته از طریق روش‌های مستقیم (مطالعات لایسیمتری) و یا سایر روشها (توازن انرژی) در کشور دیده می‌شود. منابع خارجی نیز تبخیر و تعرق پسته را متفاوت ذکر کرده‌اند. به عنوان مثال کانبر در سال ۱۹۹۳، بیلگل و همکاران در سال ۱۹۹۹ و گلدنهمر و همکارانش در سال ۱۹۸۵ میزان تبخیر و تعرق پسته را به ترتیب معادل ۸۰۳، ۶۰۰ و ۱۰۱۸ میلیمتر گزارش کرده‌اند (اولنا و همکاران، ۲۰۰۵). البته با توجه به وجود تفاوت بین شرایط حاکم بر تحقیقات مذکور با شرایط اقلیمی و مدیریتی باغات پسته کشور نمی‌توان عیناً از این اعداد و ارقام استفاده کرد. تحقیق حاضر که حاصل استفاده از روش توازن انرژی در محاسبه نیاز آبی واقعی پسته در منطقه اردکان است تا حدودی می‌تواند به سوالات مربوط در زمینه تعیین دقیق تبخیر و تعرق پسته در شرایط کشور پاسخ گوید. یکی از نکات حائز اهمیت در این زمینه توجه به تفاوت عددی بین تبخیر و تعرق پسته<sup>۱</sup> (ET) با عمق آب لازم برای آبیاری<sup>۲</sup> (CWR) است. آنچه که در این تحقیق بدست آمده مقدار ET پسته است. در حالی که در تعیین CWR عواملی همچون راندمان و عمق آب لازم جهت آبیاری منطقه توسعه ریشه نیز باید مد نظر قرار گیرد. بر اساس شواهد موجود عمق آب آبیاری در یک دوره کامل رشد پسته در منطقه مطالعاتی بین ۱۶۰۰ تا ۳۶۰۰ میلیمتر در سال متغیر است (چراغی و کریمی، ۱۳۸۶). مقایسه این اعداد با مقدار تبخیر و تعرق واقعی پسته (۱۱۵۰ میلیمتر) نشان از تفاوت معنی‌دار بین میزان آب مورد نیاز و عمق آب آبیاری پسته در منطقه اردکان دارد. این حجم آبیاری بیش از حد که به دلیل عدم رعایت تقویم مناسب آبیاری و انتخاب دوره‌های طولانی آبیاری (۴۰ تا ۶۶ روز) بدلیل محدودیتهای مدیریتی است، نه تنها باعث بروز تنش‌های خشکی در فواصل بین آبیاریها می‌گردد، بلکه باعث اضافه شدن مقادیر قابل توجهی نمک از طریق آب آبیاری نسبتاً شور نیز می‌گردد. این مساله به تدریج به زوال منابع آب و خاک در منطقه منجر خواهد شد. بنابراین توصیه می‌گردد که برنامه ریزیها برای تعیین عمق، دور و زمان آبیاری با توجه به مقادیر تبخیر و تعرق واقعی پسته در منطقه مطالعاتی صورت گیرد.

### فهرست منابع

<sup>۱</sup> -Evapotranspiration

<sup>۲</sup> -Crop water requirement

۱. اصغر زاده ح. ع. و ح. ثنایی نژاد، ۱۳۸۵، تخمین تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از داده های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی
۲. پورمحمدی س.، ۱۳۸۸، ارزیابی و برآورد اجزاء بیلان آبی در حوزه های مناطق خشک با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشا یزد)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد
۳. چراغی ع. م. و م. کریمی، ۱۳۸۶، ارزیابی مدیریت های بهره برداری از منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری
۴. خاوریان نهزک ح.، ۱۳۸۳، برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: مزرعه نمونه ارتش استان گلستان) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۵. دهقانی ف. و م. گلشن ۱۳۸۰، مدیریت منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان (ارزیابی وضع موجود). گلشن، م. و م. میراب زاده (ویراستار). مجموعه مقالات جشنواره پسته. (صفحه ۳۲ - ۴۸). اردکان، ایران.
۶. فرشعی ع. ا. م. ر. شریعتی، ر. جازاللهی، م. ر. قائمی، م. شهابی فر، م. ح. تولایی، ۱۳۷۶، برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، حلد دوم: گیاهان باغی، وزارت جهاد کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی
۷. یعقوبی فشکی م.، قبادیان ر.، عقیقی ر.، ۱۳۸۸، کاربرد روش سبال در محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه کرمان

8. Akbari M., N. Toomanian, P. Droogers, W. Bastiaanssen, A. Gieske, 2007, Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery, agricultural water management 88, 99-109.
9. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper no. 56, FAO, Rome, Italy: 300 pp.
10. Allen, R.G., M. Tasumi, A.T. Morse, R. Trezza. A Landsat-based Energy Balance and Evapotranspiration Model in Western US Water Rights Regulation and Planning. Journal of Irrigation and Drainage Systems 2005, 19 (3-4): 251-268(18)
11. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes, A.A.M. Holtslag. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1) Formulation. Journal of Hydrology 1998, 212 (213):213-229.
12. Bastiaanssen, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology 2000, 229:87-100.
13. Bastiaanssen, W.G.M., E.J.M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B.P. Thoreson and R.G. Allen. SEBALmodel with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. Journal of irrigation and drainage engineering 2005, 131 (1):85-93.
14. Brutsaert, W., Chen, D., 1996, Diurnal variation of surface fluxes during thorough drying (or severe drought) of natural prairie. Water Resour. Res. 32 (7), 2013-2019.
15. Cohen, Y., Fuchs, M., and Green, G.C. 1981. Improvement of the heat pulse method for measuring sap flow in the stems of trees and herbaceous plants. Agronomie 9:321-325.
16. Cohen, M., Goldhamer, D.A., Fereres, E, Girona, J., and Mata, M. 2001. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. J. Hort. Sci. and Biotech. 76(1):55-60.
17. Goldhamer, D.A. and R. Beede. 1993. Results of four years of regulated deficit irrigation on deep rooted pistachio trees. Annual Report of the California Pistachio Industry; Crop Year 1992-93. California Pistachio Commission. Fresno, CA 107-110
18. Mokhtari. M.H., 2005, Agricultural Drought Impact Assessment Using Remote Sensing, Msc thesis, ITC, The Netherland.
19. Poormohammadi S., Rahimian M.H., 2009, Determination of groundwater evaporation using SEBAL algorithm (Case study: Azadegan plain, Khuzestan), national water resource conference with regional aspects, Shahroud Technical University, Iran
20. Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flow in the stem of intact plant. J. Agric. Meteorol. 37:9-17.
21. Sharifi M.A., W.G.M. Bastiaanssen, S.J. Zwart, 2008, DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR NATURAL DAMAGE ASSESSMENT BASED ON REMOTE SENSING AND BIO-PHYSICAL MODELS, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B2.

22. Shuttleworth, W.J., Gurney, R.J., Hsu, A.Y., Ormsby, J.P., 1989, FIFE: the variation in energy partitioning at surface flux sites, remote sensing and large-scale global processes. In: Proc. Baltimore Symp., IAHS Red Book Series, vol. 186. pp.67-74.
23. Testi L, F.J. Villalobos, F. Orgaz. 2004a. Evapotranspiration of a young irrigated olive orchard in southern Spain. *Agric For Meteorol* 121(1-2): 1-18
24. Ulna, M., Kanber, R., Steduto, P., Aydin, Y., & Diker, K. (2005). Effects of different water and nitrogen levels on the yield and periodicity of Pistachio. *Turk J. Agric.*, 29, 39-49.
25. Villalobos, F.J., F. Orgaz, L. Testi and E. Fereres. 2000. Measurement and modelling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Europ. J. Agron.* 13:155-163.