دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۰
تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۸-۱

*مرتضی رحیم‌پور[۱]
نعمت الله کریمی[۲]
فرزانه مهدیان[۳]

ارزیابی مدل SEBAL در برآورد تبخیروتعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی دشت رفسنجان)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۲/۰۲

چکیده

تبخیروتعرق واقعی یکی از مهم‌ترین اجزای هیدرولوژی برای مدیران بخش آب می‌باشد. با توجه به اهمیت این پارامتر اندازه‌گیری آن با محدودیت‌های فراوانی مواجه است؛ اما با توسعه علوم سنجش از دور می‌توان محدودیت-های مکانی و زمانی را تا حد زیادی مرتفع ساخت. هدف از این تحقیق برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی در دشت رفسنجان برای درخت پسته می‌باشد. در این تحقیق از تصاویرسنجنده MODIS و با استفاده از الگوریتم SEBAL میزان تبخیر- تعرق برای سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ تخمین زده می‌شود. سپس میزان تبخیروتعرق برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای با، مقادیر ماهانه داده‌های تشت تبخیر، مقادیر روزانه پتانسیل حاصل از روش پنمن-مونتیث FAO56 و مقادیر گزارش شده از سند ملی آب ایران مقایسه و در آخر این با میزان تبخیر- تعرق به‌دست آمده از بیلان حوضه، مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است که ابتدا فلوچارت الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق در دشت کرمان و با استفاده از داده‌های مشاهداتی لایسیمتر وزنی الکترونیکی واقع در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کالیبره و صحت سنجی شده است. در دشت رفسنجان، نتایج نشان داد که میزان تبخیر از باغات پسته در سال ۲۰۰۸ حدودا برابر

*۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. (نویسنده مسئول). E- mail: rahimpoor86@gmail.com
۲- پژوهشکده منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو.
۳- دانش‌آموخته دانشگاه اصفهان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

۵۰۲/۳۲ میلی‌متر برآورد گردید. این میزان تبخیر-تعرق نشان می‌دهد که پسته دارای نیاز نسبتا مناسبی برای منطقه است اما به نظر می‌رسد با توجه به کاهش بارش در منطقه تنها عامل کاهش سطح سفره آب زیرزمینی در این دشت افزایش چاه‌های غیرمجاز برای گسترش سطح زیر کشت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: بیلان آب، باغ پسته، تبخیر- تعرق، دشت رفسنجان، SEBAL.

مقدمه

مدیریت کارآمد منابع آب بدون اطلاع از اجزای بیلان آب نمی‌تواند میسر باشد. از مهم‌ترین اجزای بیلان بخش تبخیر-تعرق واقعی (Eta) است که برآورد آن به لحاظ هزینه بالا و وقت‌گیر بودن، دشواری‌های خاص خود را دارا می‌باشد (Ebrahimi & Yazdani, 2013: 134). از طرفی اطلاعات در دسترس نیز به‌صورت نقطه‌ای بوده و مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد که برآورد منطقه‌ای آن نیز خود مشکل دیگری است. علاوه بر این، در ایستگاه‌ها معمولاً تبخیر-تعرق پتانسیل برآورد می‌گردد و تبدیل آن به تبخیر-تعرق واقعی همواره با خطا مواجه است (Ghasemi et al., 2019: 217). در این راستا سیستم‌های سنجش از دور می‌توانند راه‌گشا باشند و پاره‌ای از مشکلات مربوط به تامین داده در گستره وسیع مکانی و زمانی را مرتفع می‌نمایند و علاوه بر هزینه پایین‌تر، برآورد مناسبی از میزان تبخیر و تعرق واقعی داشته باشند (Bagheri et al., 2012: 85).

با توجه به کمبود آب و شوری خاک در دشت رفسنجان و مقاومت زیاد درختان پسته به این شرایط، اغلب پوشش گیاهی را باغات پسته تشکیل می‌دهند (سطحی را در حدود ۱۱۱۲۹۶ هکتار و تولیدی معادل ۱۱۳۰۵۰ تن در سال دارا می‌باشد) که به لحاظ تولید مقام اول را در کشور ایران دارا می‌باشد (Ministry of Agriculture, 2009). از سویی دیگر، در میان کالاهای صادراتی سنتی و کشاورزی بالاترین سهم مربوط به گروه میوه‌های تازه و خشک است که ۱/۹۷ درصد از کل صادرات کشور ایران سهم داشته است و بالا بودن این سهم بیش‌تر به دلیل صادرات پسته می‌باشد (سایت دفتر نمایندگی تام‌الاختیار تجاری جمهوری اسلامی ایران وابسته به وزارت بازرگانی). صادرات پسته از ۱۲٦٤ میلیون دلار در سال ۱۳۸٦ به ۷۲۷ میلیون دلار در سال ۸۷ و به ۱۷۲۵ میلیون دلار در سال ۱۳۸۸ تغییر یافته است.

در تحقیق حاضر، با توجه به تک محصولی بودن دشت رفسنجان (پسته) و کمبود داده مشاهداتی در آن، تلاش شده تا ارزیابی از توانایی‌های مدل SEBAL به‌عنوان دقیق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راه حل ممکن میزان تبخیر واقعی به‌صورت گسترده مکانی محاسبه گردد. برای این منظور با استفاده از مدل SEBAL و تصاویر سنجنده MODIS (مشتمل بر ۱۸ تصویر) برای دوره زمانی ۲۰۰۸، مقادیر ماهانه تبخیر-تعرق واقعی برآورد شد. با توجه به این‌که تنوع کاربری اراضی در آن وجود ندارد، مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده مربوط به باغات پسته ساده ارزیابی می-

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

گردد. سپس نتایج به‌دست آمده با تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده از داده‌های سینوپتیکی، سند ملی آب ایران (نرم‌افزار NETWAT) و مقادیر به‌دست آمده از معادله بیلان مقایسه گردید.

پیشینه پژوهش

روش‌های متنوعی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای توسعه داده شده است. این روش‌ها شامل روش‌های مستقیم تجربی، روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی، روش‌های صریح و روش‌های مبتنی بر شاخص پوشش گیاهی بوده که روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی از عملکرد مناسب‌تری برخوردار می‌باشند (Bagheri & Morid, 2011: 115). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل SEBAL[4] اشاره کرد. این روش می‌تواند با کم ترین داده ورودی نتایج قابل قبولی در برآورد تبخیروتعرق داشته باشد (Bagheri et al., 2012: 87). این الگوریتم اولین بار توسط Bastiaanssen et al (1998) ارائه و در سال ۲۰۰۰ مجدداً به روز گردید.

در بررسی دیگری که توسط Tasumi et al (2005) در آیداهو انجام شد دو مدل توازن انرژی SEBAL و METRIC با هم مورد مقایسه قرار گرفت. ایشان گزارش کردند که نتایج هر دو مدل توازن انرژی با نتایج حاصل از لایسیمتر تطابق خوبی دارد و استفاده از مدل‌های توازن انرژی را برای محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی پیشنهاد نمودند.

Teixeira et al (2009) برای برآورد مقادیر روزانه تبخیر و تعرق واقعی از این روش استفاده و به‌منظور واسنجی و صحت سنجی آن از چهار برج سنجش انرژی و هفت ایستگاه هواشناسی در حوضه‌ای در برزیل استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده مقادیر پایین خطا (RMSE برابر با ۰/۳۸ میلی‌متر در روز) در این مدل بود. Sun et al (2011) مدل SEBAL را با استفاده از تصاویر لندست برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی در کاربری‌های مختلف و برای حوضه دریاچه نانسی در چین پیاده‌سازی و نتایج مثبتی را از آن گزارش نمودند. Kanber et al (1993) با استفاده از معادله بیلان و برآورد اجزای مختلف آن، میزان تبخیر و تعرق درختان پسته را برای پنج سال (۱۹۷۹ تا ۱۹۸۳) در منطقه Birecik ترکیه در دور آبیاری ۲۰ و ۳۰ روزه برآورد نمودند که میزان تبخیر برای میانگین پنج سال برای این دو عمق به‌ترتیب برابر با ۸٤۱ و ۷۰۷ میلی‌متر بوده است. Gijón et al (2009) با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق یکم تری میزان تبخیروتعرق واقعی باغات پسته را برای سال‌های ۲۰۰٤، ۲۰۰۵ و ۲۰۰٦ در دوره رشد (روزهای جولیوسی ۱۱٦ تا ۲۹۳) به‌ترتیب ۲۱۰، ۳۰۵ و ٤۰٤ میلی‌متر برآورد نموده است. در تحقیق دیگر Rahimian et al (2014) نیز میزان تبخیروتعرق واقعی این محصول را با استفاده از مدل SEBAL برآورد نموده و با نتایج بیلان آب درخاک، در شهرستان اردکان یزد مورد مقایسه قراردادند. میزان تبخیروتعرق به‌دست آمده از مدل SEBAL میزان ۱۲۷۵ میلی‌متر و با استفاده از آنالیز بیلان آب در خاک ۷۵۹ میلی‌متر در سال ۲۰۱۲ گزارش شده است. این نتایج حاکی از بیش برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از مدل سبال در این منطقه بوده است.

4- Surface Energy Balance Algorithm for Land

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

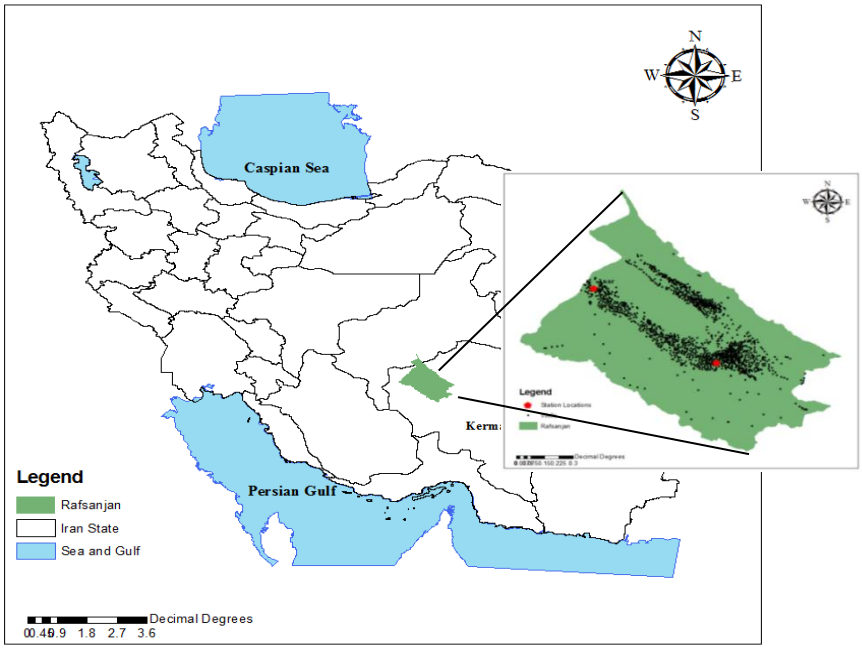
در زمینه کارهای انجام شده در کشور ایران بر روی مدل SEBAL، Noori (2011) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و به‌کارگیری الگوریتم توازن انرژی سطح زمین (SEBAL)، توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در منطقه مشهد در روزهای ١٤ خرداد، ١٠ تیر و ٤ مرداد سال ١٣٨٨ را تهیه کرد. نتایج حاصل نشان داد که تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم SEBAL قادر است، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه در این منطقه به خوبی برآورد نمایند. در زمینه ارزیابی مدل SEBAL و مقایسه آن با اطلاعات زمینی، Bagheri & Morid (2011) در پایان‌نامه خود، به ارزیابی فن‌آوری سنجش از دور در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه‌ای، با تأکید بر میزان برداشت خالص آب زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخت که جزء تبخیر-تعرق واقعی از معادله بیلان را با استفاده از مدل سبال برآورد نمود. میزان تبخیر-تعرق برآورد شده با داده‌های لایسیمتر مقایسه شد که نتایج قابل قبول بود.

Taji et al (2015) در پایان‌نامه ارشد خود، با استفاده از مدل سبال میزان تبخیر و تعرق واقعی محدوده‌ها و اراضی کشاورزی آبی استان خوزستان را مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق نشان داده شد که برآورد تبخیر-تعرق واقعی در یک محدوده و با کمک مدل SEBAL، باید با توجه به نوع دشتی و یا کوهستانی بودن آنجا صورت پذیرد. در این زمینه، برخلاف مناطق کوهستانی، محدوده‌های دشتی از حساسیت کم تری برخوردار هستند و اجرای حالت کوهستانی این مدل، مقادیری کم‌تر از حالت دشتی آن دارد. همچنین Delgarm et al (2015) در دشت کرمان اقدام به برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه مرجع نموده و به همبستگی قابل قبولی بین داده‌های مشاهداتی حاصل از لایسیمتر وزنی الکترونیکی واقع در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه شهید باهنر کرمان و مقادیر محاسباتی الگوریتم سبال دست یافتند.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رفسنجان بخشی از حوضه کویر در انجیر استان کرمان است. مساحت محدوده مطالعاتی بین طول جغرافیای ٥٤ درجه و ٥٢ دقیقه و ٥٦ درجه و ٣٤ دقیقه و عرض جغرافیای ٢٩ درجه و ٥١ دقیقه و ٣١ درجه و ٣١ دقیقه در باند ارتفاعی ١٣٠٠ تا ٣٤٤٣ متر به صورت مستطیلی در امتداد جنوب شرق به شمال‌غرب گسترده شده است (شکل ١). از مجموعه جمعیت ٢٩٥ هزار نفری شهر رفسنجان ١٧٥ هزار نفر در نقاط شهری و ١٢٠ هزار نفر در نقاط روستای ساکن هستند (Ministry of Roads and Urban Development, 2007: 121). این دشت به دلیل مجاورت با مناطق کویری تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و خشک دارد و متوسط بارندگی در این دشت ٩٨ میلی‌متر در سال است که در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی مقادیر کم تری نیز گزارش شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه (دشت رفسنجان)

Figure 1: Location of the studied area (Rafsanjan Plain)

مواد و روش‌ها

– داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

مرحله پیش پردازش در واقع تصحیح و بهینه‌سازی اطلاعات می‌باشد. در این مرحله سعی می‌شود، خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک موجود در تصاویر تصحیح شوند. عمده‌ترین پیش‌پردازش‌ها برای تصاویر عبارتند از: کالیبراسیون، تصحیح رایومتریکی، تصحیح هندسی و تفکیک باندها است. در این تحقیق نیز کلیه پیش‌پردازش و همچنین پردازش تصاویر MODIS در نرم‌افزار Envi5.3 انجام پذیرفته است.

به منظور اجرای مدل SEBAL نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به‌صورت روزانه و ساعتی می‌باشد که بدین منظور اطلاعات لازم شامل دمای کمینه و بیشینه، نقطه شبنم، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات روشنایی از ایستگاه سینوپتیک انار برای سال ۲۰۰۸ تهیه گردید. داده‌های ماهواره‌ای مورد نیاز از سنجنده MODIS[5] تهیه شد. این سنجنده با دارا بودن ۳۶ باند قادر است اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در محدوده طیفی ۰/٤ تا ١٤/٤ میکرومتر و با عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر ثبت نماید. سنجنده MODIS بر روی دو ماهواره Terra و Aqua نصب شده است که معمولاً ترا بین ساعات ۱۰ تا ۱۱ صبح و آکوا بین ساعات ۱۳ تا ١٤ به وقت محلی از ایران عبور می‌کند. فاصله‌های زمانی گذر آن‌ها تا دو روز در میان می‌باشد. کلیه تصاویر مورد نیاز این تحقیق از باندهای ۱ و ۲ (۲۵۰ متر)، ۳ تا ۷ (۵۰۰ متر) و باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ (۱۰۰۰ متر) تهیه شد. برای برآورد تبخیر و تعرق ماهانه و مدل‌سازی‌های ماهانه، ۱۸ تصویر (بدون ابر) تهیه و زمین مرجع گردید (جدول ۱).

5- MODerate resolution Imagine Spectroradiometer

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

جدول ۱- تاریخ، شماره روز جولیانی و ساعت گذر ماهواره برای تصاویر ماهواره TERRA سنجنده MODIS

Table 1- Date, Julian Day's and satellite overpass time for TERRA satellite and MODIS sensor

ردیف	تاریخ	شماره روز جولیانی	ساعت گذر ماهواره (به وقت گرینویچ)	ردیف	تاریخ	شماره روز جولیانی	ساعت گذر ماهواره (به وقت گرینویچ)	ردیف	تاریخ	شماره روز جولیانی	ساعت گذر ماهواره (به وقت گرینویچ)
۱	۲۰۰۸/٤/۰٤	۹۵	٦:۳۰	۷	۲۰۰۸/٦/۱۷	۱٦۹	۷:۰۵	۱۳	۲۰۰۸/۹/۰٤	۲٤۸	٦:۲۵
۲	۲۰۰۸/٤/۱٦	۱۰۷	٦:۵۵	۸	۲۰۰۸/٦/۲٦	۱۷۸	٦:۳۰	۱٤	۲۰۰۸/۹/۲۷	۲۷۱	٦:۳۰
۳	۲۰۰۸/٤/۲۵	۱۱٦	٦:۵۰	۹	۲۰۰۸/۷/۲۱	۲۰۳	٦:۵۵	۱۵	۲۰۰۸/۱۰/۰٤	۲۷۸	٦:۳۵
٤	۲۰۰۸/۵/۱٦	۱۳۷	۷:۰۵	۱۰	۲۰۰۸/۸/۰۱	۲۱٤	٦:۳۵	۱٦	۲۰۰۸/۱۰/۱٦	۲۹۰	۷:۰۰
۵	۲۰۰۸/۵/۲۲	۱٤۳	٦:۳۰	۱۱	۲۰۰۸/۸/۱۷	۲۳۰	٦:۳۵	۱۷	۲۰۰۸/۱۱/۱۳	۳۱۸	۷:۲۵
٦	۲۰۰۸/۵/۰٦	۱۵۸	۷:۲۵	۱۲	۲۰۰۸/۸/۲۹	۲٤۲	۷:۰۰	۱۸	۲۰۰۸/۱۱/۱۹	۳۲٤	٦:۵۰

- معادله بیلان آب

در این بخش و در ابتدا مقادیر اجزاء بیلان آب سطحی و زیرزمینی محدوده مطالعاتی دشت رفسنجان در استان کرمان برای سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ارائه می‌شود. با توجه به تحقیق‌های گذشته و همچنین شرایط منطقه برای بیلان سطحی فرمول ذیل پیشنهاد می‌شود:

$$\Delta s=Q_{in}- Q_{out}+ P- R - ET_a+ I_{out}- I_{in}$$ رابطه (۱)

در اینجا Δs تغیرات ذخیره آب سطحی، Q_{in} رواناب ورودی دشت، Q_{out} رواناب خروجی دشت، P میزان بارش، R رواناب حاصل از بارش، G_{in} آب زیرزمینی ورودی، G_{out} آب زیرزمینی خروجی، ETa تبخیروتعرق واقعی، I_{out} میزان پمپاژ و برداشت از قنوات، I_{in} میزان نفوذ از برداشت آب زیرزمینی می‌باشد.

با توجه به گرم و خشک بودن منطقه میزان رواناب حاصل از بارش صفر می‌باشد. میزان دبی خروجی از دشت نیز بسیار ناچیز است که قابل صرف نظر کردن است، همچنین تغیرات ذخیره آب سطحی ناچیز می‌باشد. با توجه به این فرضیات، بیلان آب سطحی به شکل ذیل تبدیل می‌گردد:

$$ET_a =Q_{in}+ P + I_{out}- I_{in}$$ رابطه (۲)

- الگوریتم SEBAL

الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین در واقع شار گرمای نهان که به مصرف تبخیر-تعرق می‌رسد را بر اساس مقدار باقیمانده انرژی از معادله زیر تعیین می‌نماید (Rezaee Banafsheh et al., 2014: 245; Bastiaanssen, 2000: 91).

$$ET =Rn- G - H$$ رابطه (۳)

در رابطه فوق، ET تبخیر و تعرق، λ گرمای نهان تبخیر، R_n تابش خالص خورشید، H شار گرمای محسوس و G شار گرمای خاک است (تمامی اجزای معادله فوق برحسب W/m^2 می‌باشند).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

- شار تابش خالص

در رابطه Error! Reference source not found، فرآیند محاسباتی Rn بر اساس اختلاف بین جریان تابش‌های فرودی و خروجی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین می‌باشد (رابطه Error! Reference source not found).

$$R_n = (1-\alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1-\varepsilon_0)\, R_{L\downarrow}$$ رابطه (٤)

در رابطه فوق، α آلبیدوی سطحی، $R_{S\downarrow}$ تابش موج کوتاه (۰/۳ تا ۳ میکرومتر) فرودی (W/m^2)، $R_{L\downarrow}$ تابش موج بلند (۳ تا ۱۰۰ میکرومتر) فرودی (W/m^2)، $R_{L\uparrow}$ تابش موج بلند بازتابیده (W/m^2) و ε_0 گسیلمندی سطحی عریض باند است.

- شار گرمای خاک

شار گرمای خاک (G) میزان ذخیره گرمای داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است که مطابق رابطه ۵ برآورد می‌گردد:

$$G = R_n \times \frac{T_S}{\alpha} \times [0.0032 \times \alpha + 0.0062 \times \alpha^2] \times [1 - 0.987 \times NDVI^4]$$ رابطه (۵)

پ- شار گرمای محسوس

شار گرمای محسوس (H) میزان هدر رفت انرژی (گرما) است که در اثر اختلاف دما به هوا منتقل می‌شود:

$$H = \rho C_P \frac{T_0 - T_{air}}{R_{AH}}$$ رابطه (٦)

در رابطه فوق T_O دمای آیرودینامیک هوا، T_{air} دمای هوا (کلوین)، ρ_{air} چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا ($J/kg/K$) و R_{AH} مقاومت آیرودینامیکی هوا (s/m) می‌باشد. اندازه‌گیری یا برآورد دمای آیرودینامیک، عملاً غیر ممکن و پیچیده بوده و لذا مدل‌های مختلف، الگوریتم‌های متفاوتی را برای برآورد اختلاف دمای هوا و آیرودینامیک (dT) بکار می‌برند. در SEBAL، به منظور برآورد dT از یک فرآیند تکراری استفاده می‌شود که در آن یک رابطه رگرسیونی مطابق رابطه (۵) برای دمای سطح زمین (T_s) و dT در دو پیکسل شاخص (سرد و گرم) برآورد شده و سپس این رابطه به تمامی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌گردد (Bastiaanssen et al., 2005: 88).

$$dT = aT_s + b$$ رابطه (۷)

- شار گرمای نهان (λET) و تعیین ET_a زمان تصویر

شار گرمای نهان، میزان تلفات گرما از سطح به علت تبخیر-تعرق را نشان می‌دهد که برای هر پیکسل با استفاده از رابطه Error! Reference source not found به‌دست می‌آید که λET مقدار لحظه‌ای برای زمان گذر ماهواره می‌باشد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

(w/m^2) میزان لحظه‌ای ET به‌صورت عمق تبخیر از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه Error! Reference source not found).

رابطه (۸)
$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda}$$

جهت برآورد تبخیر-تعرق روزانه از تبخیر-تعرق لحظه‌ای، می‌توان از مفهوم تبخیر-تعرق گیاه مرجع استفاده نمود. به این منظور تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره ($ET_{r\text{-}inst}$) و همچنین میزان آن در مقیاس روزانه ($ET_{r\text{-}24}$) برای ایستگاه هواشناسی معرف منطقه محاسبه می‌گردد. سپس نسبت تبخیر-تعرق لحظه‌ای محاسبه شده از مدل سبال به تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره تعیین و حاصل‌ضرب این نسبت در تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع، میزان تبخیر-تعرق واقعی روزانه ($ET_{act\text{-}24}$) می‌باشد (Bastiaanssen et al., 2005: 89).

رابطه (۹)
$$ET_{act-24} = ET_{r-24} \times \frac{ET_{inst}}{ET_{r-inst}}$$

در این تحقیق از مدل SEBAL با تصحیح مناطق کوهستانی استفاده شده است. در این مدل از نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع و عرض جغرافیایی استفاده می‌شود. از لحاظ تئوری، تابش خورشید در مناطقی از نیم‌کره شمالی که شیب رو به جنوب دارند، بیش‌تر از مناطقی خواهد بود که شیب رو به شمال دارند. در نظر نگرفتن این شیب، منجر به برآورد کم‌تر Rn برای نقاطی می‌شود که شیب رو به جنوب دارند و برعکس (در نقاط رو به شمال). همچنین نقاط مرتفع دارای دمای سطحی کم تری نسبت به نقاط غیرمرتفع هستند که در نتیجه آن، مدل SEBAL این نقاط را به عنوان نقاط مرطوب در نظر می‌گیرد و میزان تبخیر بیش‌تری به آن‌ها اختصاص می‌دهد. پیش‌بینی جریان هوا و سرعت باد در مناطق کوهستانی نیز پیچیدگی زیادی دارد. اثرات جابجایی و نزول هوا به دلیل واقعه سرد شدن، جریانات همگرا و واگرایی هوا به دلیل تنگ شدن و یا باز شدن دره‌ها و مسیر جریان هوا از جمله این پیچیدگی‌ها است. این مشکلات با به‌کارگیری نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع و عرض جغرافیایی قابل تصحیح می‌باشد که در ادامه تشریح می‌شوند. لازم به ذکر است، کلیه مراحل فوق در مدلی که بدین منظور در محیط نرم‌افزاری ENVI توسعه یافته است به انجام رسید (Taji et al., 2015).

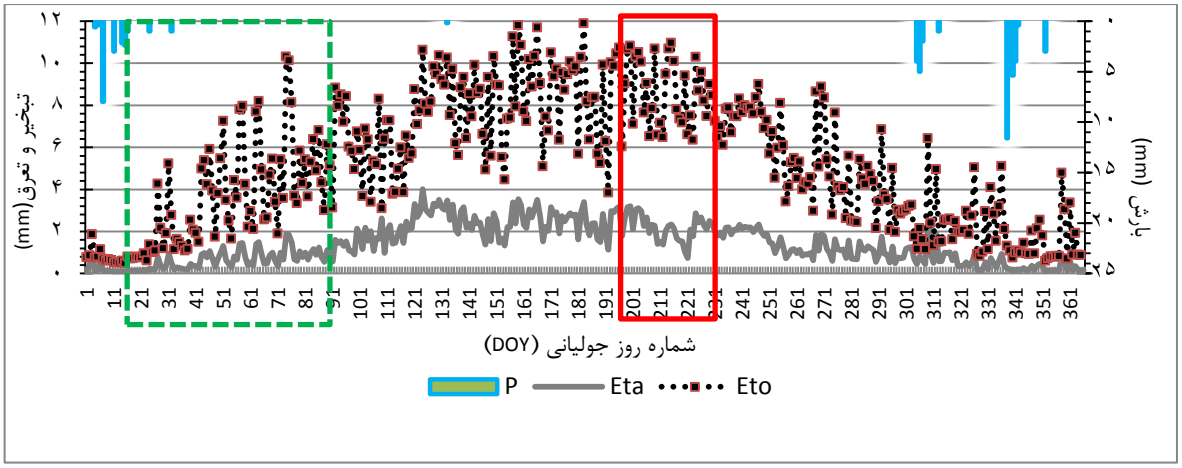
یافته‌ها و بحث

- تبخیر و تعرق حاصل از سنجش از دور

خروجی کدنویسی و فلوچارت مربوط به الگوریتم استفاده شده در این پژوهش ابتدا در دشت کرمان و در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان با استفاده از داده‌های مشاهداتی ثبت شده توسط لایسیمتر وزنی الکترونیکی مقایسه و ساختار این الگوریتم صحت‌سنجی شد. پس از ارزیابی ساختار این الگوریتم در اقلیمی مشابه استفاده از آن در دشت رفسنجان در دستور کار قرار گرفت. ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق لحظه‌ای مربوط به ۱۸ تصویر منتخب از منطقه مورد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

مطالعه محاسبه و سپس میزان تبخیر روزانه با استفاده از معادله Error! Reference source not found حاصل گردید. همان‌طور که در Error! Reference source not found مشاهده می‌گردد، به دلیل رویش مجدد درختان و گرمسیر بودن منطقه مورد مطالعه حداکثر میزان تبخیروتعرق واقعی در اوایل بهار می‌باشد و سپس با گرم شدن هوا و کاهش سطح برگ در منطقه نمودار با شیب نسبتا ملایم کاهش پیدا می‌کند. تا در اواخر شهریور و اوایل پاییز جهت شیب عوض شده و پیک دوم نمودار به وقوع می‌پیوندد (روز جولیانی ۲۲۵) که علت این امر ناشی از آبیاری پیش از برداشت محصول پسته است که در این وقت از سال در بین کشاورزان رایج می‌باشد. به صورت کلی روند تغییرات میزان تبخیر و تعرق واقعی در منطقه مشابهت زیادی با روند تغییرات تبخیر–تعرق مرجع دارد. نکته دیگر در Error! Reference source not found قابل مشاهده است، گستره زمانی بارش‌ها می‌باشد که در هنگامی که وقوع بارش وجود دارد با تبخیر–تعرق کمی مواجه هستیم. باتوجه به میانگین بارش کم در منطقه همین مقدار اندک نیز به دلیل توزیع زمانی نامناسب از دسترس خارج شده و به مصرف کشاورزی نمی‌رسد. به دلیل عمیق بودن سطح آب زیرزمینی در این منطقه تنها بخش اندکی از این بارش‌ها به سفره‌های زیرزمینی می‌رسند.



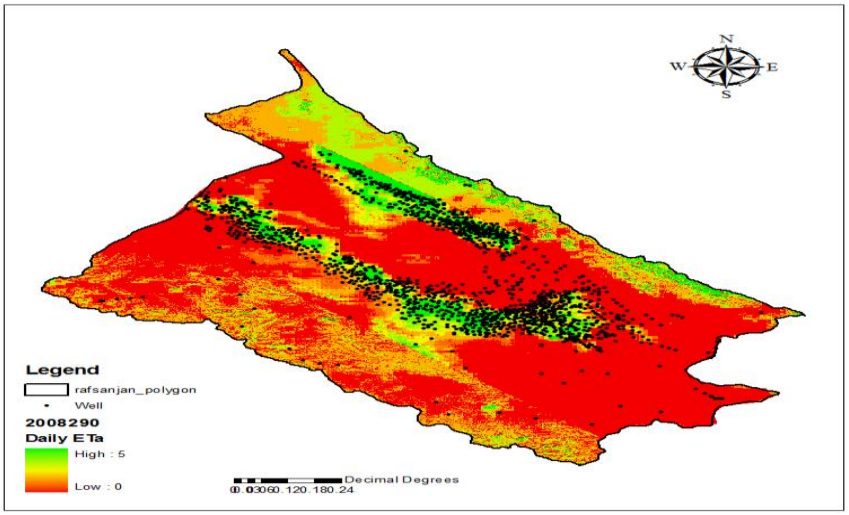
شکل ۲: میزان تبخیروتعرق واقعی برآورد شده با استفاده از مدل SEBAL (ETa)، میزان تبخیروتعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیث–FAO56 (ETo) و میزان بارش به‌صورت روزانه در دشت.

Figure 2: Actual evapotranspiration estimated using SEBAL (ETa), reference evapotranspiration calculated using FAO Penman-Monteith (ETo) and daily precipitation over Rafsanjan plain

همان‌طور که با خط‌چین سبزرنگ در Error! Reference source not found مشاهده می‌گردد تبخیر–تعرق واقعی به لحاظ روند همبستگی مناسبی با تبخیر–تعرق پتانسیل دارد اما ازنظر مقدار دارای تفاوت زیادی هستند. به‌نحوی‌که میزان تبخیر–تعرق مرجع در دو روز متوالی تا هشت میلی‌متر بر روز اختلاف دیده می‌شود. با توجه به حساسیت این مدل نیمه تجربی (پنمن‌مانتیث–FAO56) به پارامتر سرعت باد و تغییرات زیاد آن در روزهای متوالی (برای مثال این میزان در روزهای جولای ۷۳ و ۷٤ در سال ۲۰۰۸ به‌ترتیب دارای سرعت باد ۰/۷۷ و ۸/٤٦ میزان تبخیر–تعرق پتانسیل ۳/۵۸ و ۱۰/۳۱ و همچنین تبخیر–تعرق واقعی معادل ۰/٦۵ و ۱/۸۸ می‌باشد) احتمالا ناشی از این موضوع باشد؛ اما همان‌طور که در شکل دیده می‌شود میزان تبخیر–تعرق برآورد شده توسط مدل SEBAL دارای ارقام قابل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

قبولی حداقل به لحاظ ارزیابی چشمی می‌باشد. با توجه به این‌که مقادیر میزان تبخیر–تعرق واقعی از روی مقادیر تبخیر–تعرق مرجع از مقیاس لحظه‌ای به مقیاس روزانه تبدیل می‌شود اما این تاثیر به شکل قابل توجه روی نتایج خروجی در مقیاس بالاتر تاثیرگذار نمی‌باشد. این تفاوت‌ها نشان دهنده این است که مدل SEBAL به این پارامتر هواشناسی حساسیت زیادی ندارد. نکته دیگر قابل توجه در کادر خط‌چین تطابق میزان بارش و میزان تبخیر–تعرق واقعی است همان‌طور که پیش‌بینی می‌گردد در روزهای بارندگی تبخیر کم و با یک تاخیر چندروزه میزان تبخیر افزایش میابد که این نیز دلیل بر تایید مدل SEBAL است؛ اما در کادر سبز رنگ هم‌خوانی مناسبی بین داده‌های حاصل از مدل SEBAL و روش تجربی پنمن دیده نمی‌شود. با توجه به اینکه در مدل SEBAL مقادیر تبخیر در لحظه عبور ماهواره محاسبه می‌گردد و مقادیر بعد از تبدیل مقیاس به صورت روزانه تا گذر بعدی محاسبه می‌گردد. در نتیجه خطا در محاسبه هریک از تصاویر به صورت بزرگ‌تر در یک دوره دیده خواهد شد. خطای مشاهده شده در مقادیر نشان داده شده در کادر قرمزرنگ، احتمالا از این خطا نشات می‌گیرد.



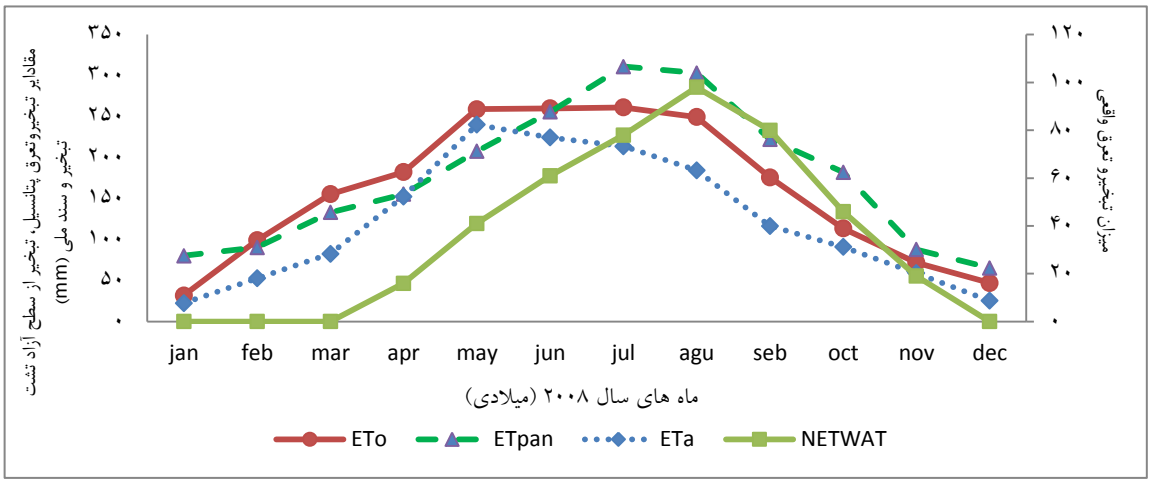
شکل ۳: نقشه پراکنش چاه‌های و پهنه‌بندی تبخیروتعرق واقعی در دشت رفسنجان برای روز جولیوسی ۲۹۰.

Figure 3: Well distributed map and spatial pattern of actual evapotranspiration over Rafsanjan plain in Julian day's 290

Error! Reference source not found نمایانگر نقشه پهنه‌بندی میزان تبخیر–تعرق برای روز جولیانی ۲۹۰ در دشت رفسنجان می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به نقشه NDVI منطقه Error! Reference source not found)، الف) نقشه به دست آمده هم‌خوانی مناسبی با زمین‌های کشاورزی و موقعیت و تراکم چاه‌های موجود در منطقه دارد (Error! Reference source not found، ب). به نحوی که برای روز جولیانی ۲۹۰ ، در نواحی کشاورزی تبخیر–تعرق در حدود پنج میلی‌متر و در مناطق بیابانی تبخیر–تعرق حدودا صفر برآورد گردیده است. البته بعضا در برخی از روزها در مراتع و کوهستان‌ها مقادیر بالایی از تبخیر–تعرق برآورد شده که از ضعف‌های مدل SEBAL محسوب می‌گردد. معمولاً نتایج حاصل از مدل SEBAL با داده‌های حاصل از ابزاری همچون

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

ادی‌کواریانس[6]، سنتیلومتر[7] و لایسیمتر[8] کنترل می‌شود (باستیانسین، ۲۰۰۵). با توجه به نبود هیچ‌کدام از این ابزارها در منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق تبخیر–تعرق ماهانه به دست آمده از مدل سبال با مقادیر تبخیر از تشت تبخیر، تبخیر–تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیث–FAO56 و مقادیر تبخیروتعرق به‌دست آمده از سند ملی آب (بدس آمده از نرم‌افزار NETWAT) مقایسه گردید که در Error! Reference source not found قابل مشاهده می‌باشد. همان‌گونه که قبلا نیز مطرح شد روند تغییرات تبخیر–تعرق واقعی هم‌خوانی مناسبی با تبخیر از تشت و تبخیر–تعرق گیاهی به لحاظ مقدار، دارد. میزان RMSE و MAE برآورد شده از تبخیر–تعرق گیاه مرجع و تبخیر–تعرق به‌دست آمده از مدل سبال به‌ترتیب برابر ۳/٤۷ و ۲/۵۸ (میلی‌متر بر روز) می‌باشد. این مقادیر باتوجه به پوشش گیاهی منطقه که با پوشش گیاهی مربوط به گیاه مرجع متفاوت است قابل قبول می‌باشد. این مقادیر با تحقیق انجام شده برای به‌دست آوردن تبخیر–تعرق واقعی پارک ملت مشهد با مدل سبال که از تراکم مناسبی نیز برخوردار است (RMSE= ۲/٦ و MAE= ۱/۸۳) نیز مقایسه شد که صحت این مقادیر را تایید می‌نماید (Ebrahimi & Yazdani, 2013: 149). همان‌طور که در شکل (٤) دیده می‌شود مقادیر برآورد شده به صورت ماهانه از مدل SEBAL و NETWAT به لحاظ مقدار تطبیق مناسبی دارد این موضوع در شش ماه سرد سال مشهودتر است. اما تبخیر–تعرق به لحاظ روند هم‌خوانی مناسبی ندارند. همان‌طور که دیده می‌شود تبخیر محاسبه شده از سه روش SEBAL، تشتک تبخیر و پنمن مانتیث–FAO56 به صورت ماهانه از روند بسیار مناسبی برخوردار می‌باشند اما به لحاظ مقدار فقط در سه ماه ژانویه، نوامبر و دسامبر تطبیق مناسب دارند.



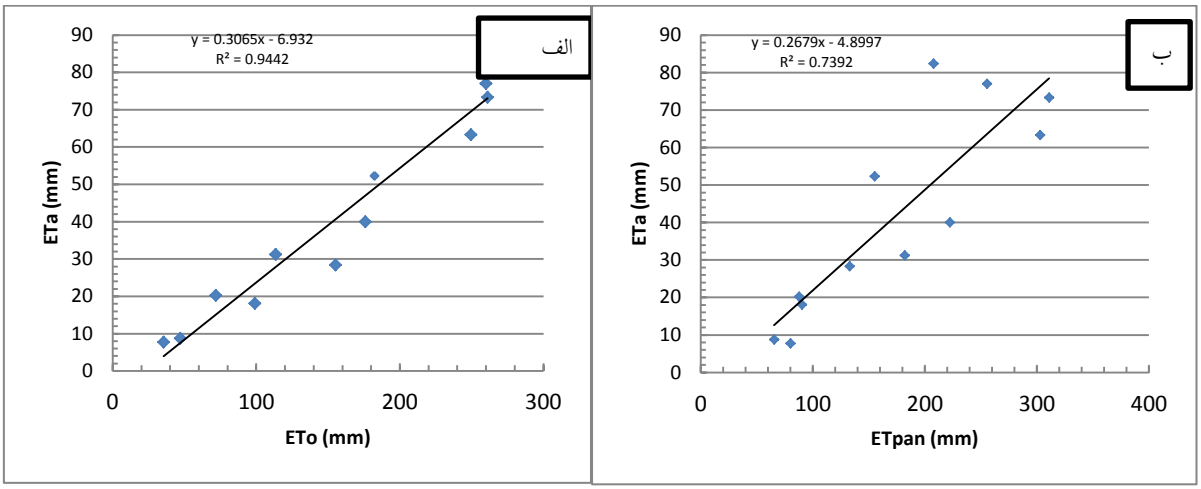
شکل ٤: ETo: تبخیروتعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیث–FAO56، ETpan: مقدار تبخیر از سطح آزاد تشت تبخیر، Eta: میزان تبخیر و تعرق واقعی از منطقه مورد مطالعه و NETWAT: سند ملی آب (تمام مقادیر بر حسب میلی‌متر می‌باشد)

Figure 4: ETo: Evapotranspiration calculated from FAO Penman-Monteith, ETpan: The amount of evaporation from the free surface of the evaporator pan, ETa: Actual evapotranspiration over case study area and NETWAT: National Water Document (all values are in milimeters)

6- Eddy Correlation
7- Scintillometer
8- Lysimeter

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

همان‌طور که در Error! Reference source not found دیده می‌شود، همبستگی نتایج مدل SEBAL هم‌خوانی بسیار مناسبی با تبخیر-تعرق گیاه مرجع نیز نتایج بسیار با R^2 برابر ۰/۹٤ بسیار رضایت بخش بوده است Error! Reference source not found، الف). همچنین همبستگی این نتایج با داده‌های تبخیر از سطح تشت تبخیر با R^2 برابر ۰/۷٤ مناسب می‌باشد (Error! Reference source not found ب).



شکل ۵: همبستگی تبخیروتعرق برآورد شده توسط مدل SEBAL (ETa) با الف) تبخیروتعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیث-FAO56 (ETo) ب) تبخیر از سطح آزاد تشت تبخیر (ETpan)

Figure 5: Correlation between evapotranspiration estimated from SEBAL (ETa) and a) reference evapotranspiration calculated from FAO Penman-Monteith (ETo), b) Evaporation from evaporation Pan (ETpan)

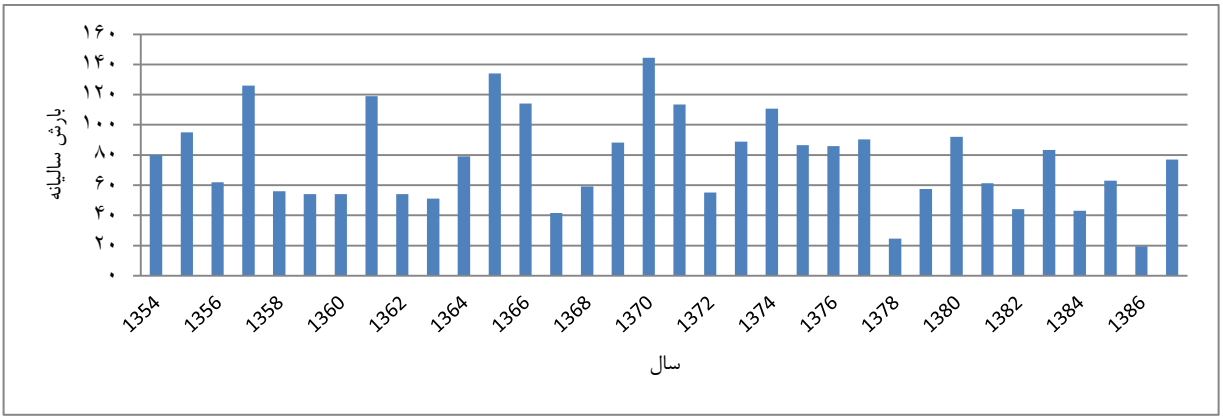
- تبخیر و تعرق حاصل از بیلان آب

- رواناب سطحی و بارش

رودخانه‌های دشت رفسنجان به دلیل کم بودن نزولات جوی در این حوضه فصلی و حتی می‌توان گفت که در داخل دشت به صورت موقتی هستند. مهم‌ترین رودخانه‌های این منطقه عبارتند از لاله‌زار، گیودری و شور که میزان کل آورد آن‌ها از گزارش وزارت نیرو دشت رفسنجان برای سال ۸۸-۱۳۸۷، ۳۹.۱٤ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. همچنین با توجه به شرایط اقلیمی منطقه میزان بارش در این دشت بسیار ناچیز بوده است (Error! Reference source not found) که در سال ۱۳۸۷ این مقدار در حدود ۹۸/۵ میلی‌متر، که با توجه به مساحت آبخوان (٤۱۰۸ km^2) میزان ٤۰٤/٦۳۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. ورودی و خروجی آب‌زیرزمینی سفره آب زیرزمینی دشت رفسنجان باز است و شامل دو ورودی و یک خروجی می‌باشد همچنین با توجه به ساختار زمین‌شناسی آبخوان و پتانسیل معکوس حاصل از پمپاژ، سنگ کف نیز عاملی برای تغذیه آبخوان محسوب می‌شود که این مقدار به میزان ۲۱۳/۳۱۹ میلیون مترمکعب گزارش شده است (Ministry of Energy, 2011: 205). در اینجا به منظور دستیابی به حجم جریان آب زیرزمینی ورودی و خروجی به آبخوان آبرفتی دشت از نقشه تراز (متوسط شانزده ساله

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

۸۸-۱۳۷۱) میزان گرادیان هیدرولیکی حاصل و سپس با استفاده از طول مقطع، قابلیت انتقال و معادله دارسی این مقادیر برآورد شد؛ که میزان ورودی حدود ۱۳۶/۲۶۳ میلیون مترمکعب و خروجی آبخوان حدود ۳۰/۷۸۱ میلیون مترمکعب می‌باشد.



شکل ٦: میزان بارش سالیانه برای دشت رفسنجان طی دوره ۱۳٥٤ تا ۱۳۸۷

Figure 6: Annual precipitation of Rafsanjan plain during 1976-2009

آب برداشت شده و برگشتی به آبخوان

بر اساس آخرین آماربرداری از آب زیرزمینی دشت رفسنجان که در سال ۸٤-۱۳۸۳ انجام پذیرفت برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق ٦۲۳/٤ میلیون مترمکعب و حجم آب تخلیه شده توسط قنوات ٦۹/۸۲ میلیون مترمکعب بوده است. مجموعا این مقدار ٦۹۳/۲۲ میلیون مترمکعب می باشد که به دلیل گذشت ٦ سال از آمار برداری ٦ درصد به آن افزوده شده که میزان برداشت ۷۳٤/۸۱ میلیون مترمکعب برآورد شد.

باتوجه به برداشت ۷٤۱/۷٤٥ میلیون مترمکعب و نحوه آبیاری که اغلب غرقابی و از طریق کرت‌ها صورت می‌گیرد و همچنین شرایط خشکسالی حاکم بر منطقه، می‌توان ۱٥ درصد از این آب را به‌عنوان آب برگشتی به آبخوان محسوب کرد که این مقدار معادل ۲٦۱ /۱۱۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. حجم آب مصرفی برای شرب، بهداشت، فضای سبز و صنعت طبق آخرین آماربرداری ۲۸/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که علاوه بر آن آبی برابر با ۹/٥ میلیون مترمکعب به منظور تامین نیاز آب شرب این محدوده از چاه‌های بردسیر پمپاژ و از طریق لوله به دشت منتقل می-گردد. همچنین حجم آب مصرفی برای صنعت (مس سرچشمه) ۳/۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به نحوه دفع فاضلاب خانگی و نحوه استفاده آب در صنعت به‌ترتیب ۷٥ و ۷۰ درصد از آب مصرفی در هریک از این بخش‌ها به آبخوان بازمی‌گردد. در مجموع کل آب برگشتی ۱٤۲/۱٥۱ میلیون مترمکعب می‌باشد.

تغییرات آبخوان

با توجه به شرایط آب‌وهوای منطقه وقتی سخن از تغییرات حجم ذخیره به میان می‌آید در اینجا فقط تغییرات در آبخوان فرض شده است چراکه منابع آب سطحی بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است. در این تحقیق میزان تغییرات حجم ذخیره از رابطه ۱۰ حاصل می‌گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

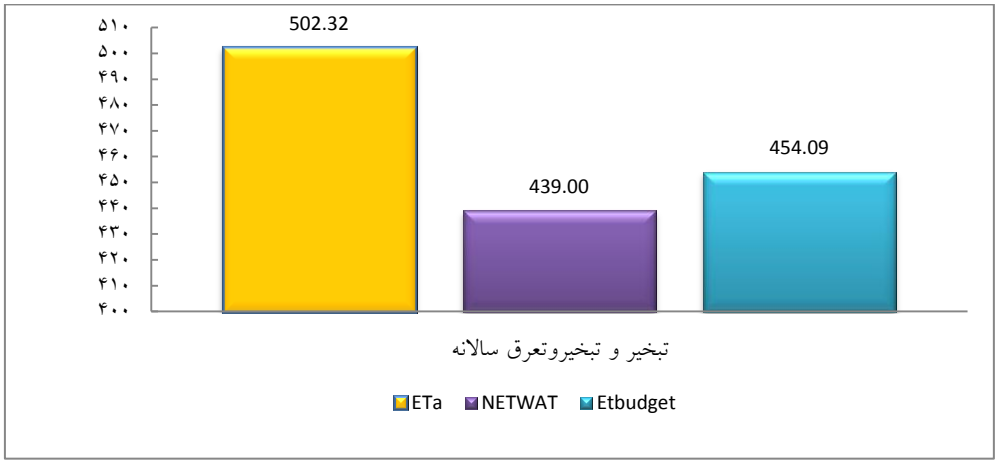
رابطه (۱۰)

$$\Delta s = \Delta h*A*S$$

در این معادله Δh میزان تغییرات آب نمود آبرفتی به‌صورت افت (منفی) یا بالاآمدگی (مثبت) است (به‌طور متوسط از برای سال‌های ۸۸-۱۳۷۱حدودا ۰/۸- متر است)، A مساحت آبخوان دشت رفسنجان است (٤١٠٨ کیلومترمربع) و S ضریب ذخیره (معادل ۵ درصد) می‌باشد. تغییرات ذخیره دشت ١٦٤/٣٢- میلیون مترمکعب می‌باشد؛ و با استفاده از رابطه ۲ (معادله بیلان) میزان تبخیروتعرق ۳۱۷/۹۷ میلی‌متر برآورد گردیده است.

مقایسه ارقام تبخیر و تبخیروتعرق و تحلیل وضعیت منابع آب

همان‌گونه که در متون قبل نیز یادآوری گردید با توجه به نبود ابزار دقیق در منطقه به ناچار نتایج حاصل را با منابع مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل سبال با ارقام به‌دست آمده از تبخیروتعرق به دست آمده از معادله بیلان و نیاز خالص آبیاری درخت پسته در دشت رفسنجان که از سند ملی و نرم‌افزار NETWAT استخراج شده و مقایسه گردید (Error! Reference source not found). نتایج حاصل به‌صورت سالانه همخوانی مناسبی با گزارش سند ملی آبیاری (RMSE= ٤٤/٧٨ وMAE= ٣١/٦٦) دارد. اما می‌توان پیش‌بینی کرد که با توجه به خطاهای وارده در تخمین پارامترهای بیلان آب (از جمله خطای اندازه‌گیری، ثبت نگهداری، انتقال داده و محاسباتی) که از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان اخذ گردیده است دارای بیش برآورد می‌باشد. با توجه که برنامه‌ریزی مدیران بر اساس این مقادیر انجام می‌گردد. با توجه به اهمیت رکن تبخیر-تعرق در معادله بیلان آب، باید با احتیاط از این منبع داده استفاده نمود تا از تخمین کم تر از واقعی و برنامه‌ریزی نادرست جلوگیری شود.



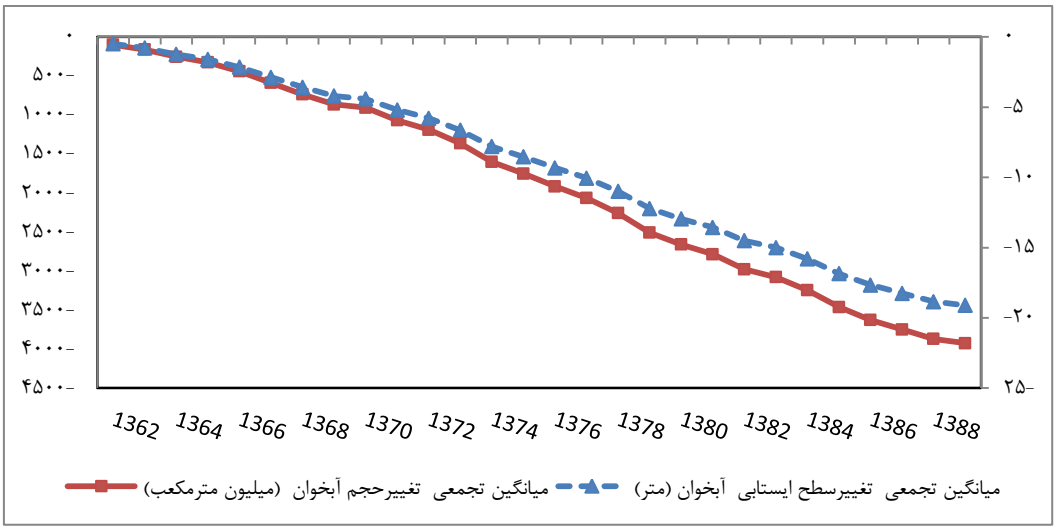
شکل ۷: مقایسه ارقام تبخیر و تبخیروتعرق (میلی‌متر).

Figure 7: Comparison of evaporation and evapotranspirations (mm)

با توجه به گستره نامناسب وقوع بارش در فصل‌هایی از سال که نیاز به آب کم تر می‌باشد (Error! Reference source not found) و نبود منابع آب‌های سطحی در منطقه فشار بسیار شدیدی بر منابع آب زیرزمینی وارد شده است. میزان برداشت از سفره رو به افزایش است. این امر باعث کاهش سطح آب زیرزمینی و به تبع کاهش حجم

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

آبخوان گردیده است (شکل ۸). افزایش بهره‌برداری از آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت منابع آب در منطقه گردیده است. تحقیقات انجام شده در سطح جهان بروی درخت پسته نشان می‌دهد که حتی با کاهش ۵۰٪ نیاز خالص این درخت می‌توان عملکردی مناسب داشت و در پاره‌ای از مواقع باعث بالا رفتن کیفیت و عملکرد نیز می‌شود (Golcihamer et al., 1985; Kanber et al., 1993; Gijón at al., 2009). در نتیجه می‌توان با استفاده از کم آبیاری میزان آب مصرفی را کاهش داد یا حداقل آبیاری غرقابی در فصول سرد سال را حذف نمود.



شکل ۸: تغییرات آبخوان دشت رفسنجان.

Figure 8: Rafsanjan plain aquifer change

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در زمین‌های زیرکشت منطقه مطالعاتی رفسنجان که اکثر آن را باغات پسته در بر می‌گیرند، میزان تبخیر-تعرق با استفاده از مدل SEBAL حدودا برابر ۵۰۲/۳۲ میلی‌متر (در سال ۲۰۰۸) ارزیابی می‌گردد. این مقادیر برای سال موردنظر این تحقیق به صورت سالانه، ماهانه و روزانه با استفاده از اطلاعات تبخیر-تعرق پتانسیل، سند ملی آب ایران، معادله بیلان آب گزارش آب زیرزمین وزارت نیرو مقایسه و ارزیابی گردید که این نتایج رضایت‌بخش بود. این میزان تبخیر-تعرق نشان می‌دهد که پسته دارای نیاز نسبتا زیادی برای این منطقه خشک است اما این میزان تبخیر درگذشته به علت محدود بودن سطح زیرکشت، فشار زیادی را بر منابع آب این منطقه گرم و خشک واردنمی آورده است. همان‌طور که دیده شد در این منطقه میزان بارش هم کاهش چشمگیری نداشته است. کاهش سطح آب آبخان در سال‌های اخیر در این منطقه، تنها عامل افزایش چاه‌های غیرمجاز برای افزایش سطح زیر کشت می‌باشد. با توجه به نقش استراتژیک صادرات پسته سطح معین از اراضی زیرکشت پسته همانند قبل منطقی به نظر می‌رسد این درحالی است که باید با استفاده از سنجش از دور اراضی که اخیرا افزایش یافته شناسایی و پمپ-های غیرمجازی که در این مناطق حفر گشته است، شناسایی و پلمپ گردد. در غیر این صورت با این روند کاهش حجم سفره در سال‌های نه‌چندان دور با فاجعه در این مناطق روبرو خواهیم شد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

سپاس و قدردانی

بدین وسیله از اعضای آب منطقه‌ای استان کرمان خصوصاً آقای مهندس طیبیان که ما را در به‌دست آوردن اطلاعات یاری نمودن تشکروقدردانی می‌گردد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

References

- Bagheri Harooni, M. H., A., Morid, S., (2012), "***Evaluation of remote sensing technology in estimating the components of water balance at the basin scale, with emphasis on the net amount of groundwater abstraction, Case study: Urmia Lake catchment basin***", Tarbiat Modares University: Tehran. [In Persian].
- Bagheri Harooni, M. H., Arshad, S., Majnooni, A., Morid, S., (2012), "Comparison of single-source and two-source remote sensing energy measurement models in estimating actual evapotranspiration in Tabriz plain", ***Iranian Remote Sensing & GIS***, 4 (1): 81-95. [In Persian].
- Bastiaanssen, W., (2000), "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey", ***Journal of Hydrology***, 229 (1): 87-100.
- Bastiaanssen, W., Bos, M., (1999), "Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature", ***Irrigation and Drainage Systems***, 13 (4): 291-311.
- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R., Holtslag, A., (1998), "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation", ***Journal of Hydrology***, 212: 198-212.
- Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B., Allen, R., (2005), "SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions", ***Journal of Irrigation and Drainage Engineering***, 131 (1): 85-93.
- Delgarm, S., Rahimpour, M., Bakhtiari, B., Sayari, N., (2015), "Comparison of actual evapotranspiration obtained from lysimeter data and SEBAL algorithm in Kerman plain by use of MODIS sensor images", ***Iranian Journal of Soil and Water Research***, 46 (2): 373-383. [In Persian].
- Ebrahimi, H., Yazdani, V., (2013), "Estimating evapotranspiration in green landscape by using SEBAL Method (Case Study: Mellat Park of Mashhad)", ***J. of Water and Soil Conservation***, 20 (3): 133-151. [In Persian].
- Ghasemi, A. R., Teymoori, M., Teymoori, F., (2019), "The estimation of reference Evapotranspiration in Tabriz and Ardebil, by Principal Component Analysis (PCA) ", ***Geographical Space***, 19(65): 215-232. [In Persian].
- Gijón, M., Guerrero, J., Couceiro, J., Moriana, A., (2009), "Deficit irrigation without reducing yield or nut splitting in pistachio (Pistacia vera cv Kerman on Pistacia terebinthus L.)", ***Agricultural Water Management***, 96 (1): 12-22.
- Golcihamer, D.A., Kjelgren, R.B., Lane, J., Weinberger, G., Menezes, Jr. J., (1985), "Water use requirements of pistachio trees and response to water stress", American Society of Agricultural Engineers conference, USA, pp 15-32.
- Kanber, R., Yazar, A., Önder, S., Köksal, H., (1993), "Irrigation response of pistachio (Pistacia vera L.)", ***Irrigation science***, 14 (1): 7-14.
- Li, Z. L., Tang, R., Wan, Z., Bi, Y., Zhou, C., Tang, B., Yan, G., Zhang, X., (2009), "A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data", ***Journal of remote Sensing***, 9 (5): 3801-3853.
- Ministry of Agriculture., (2009), "***Statistics of garden products***", Ministry of Agriculture: Tehran. [In Persian].
- Ministry of Energy., (2011), "***Report on the proposal to ban groundwater resources in the study area of Rafsanjan***", Ministry of Energy, Tehran. [In Persian].
- Ministry of Roads and Urban Development., (2007), "***Detailed reports of Kerman province***

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]

census", Ministry of Roads and Urban Development: Tehran. [In Persian].
- Noori, S., (2011), "***Estimation of actual evapotranspiration using the SEBAL and MODIS algorithm over the Mashhad catchment area***", Ferdosi University, Mashhad. [In Persian].
- Rahimian, M., Taghvaeian, S., Nouri, M., Tabatabaei, S., Mokhtari, M., Hasheminejhad, Y., Neshat, E., (2014), "***Estimating Pistachio Evapotranspiration using MODIS Imagery: A Case Study from Ardakan, Iran***", UAS: ASCE.
- Rezaee Banafsheh, M., Jahanbakhsh, S., Valizadeh Kamran, K., (2014), "Estimation of Actual Evapotranspiration in Sefidrood Basin with Satellite Image Processing", ***Geographical Space***, 13(44): 241-262. [In Persian].
- Schultz, G.A., Barrett, E., (1989), "Advances in remote sensing for hydrology and water resource management", ***Unesco***, 23: 123-141.
- Shjeflo, J. B., (1968), "***Evapotranspiration and the water budget of prairie potholes in North Dakota***", US Government Printing Office, Caifornia, pp
- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., Liu, Z., (2011), "Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China", ***Mathematical and Computer Modelling***, 54 (3): 1086-1092.
- Taji, H., A., Morid, S., Karimi, N., (2015), "***Use of satellite data and development of SEBAL model in estimating water balance components of study areas of Karun River in Khuzestan province***", Tarbiat Modares University: Tehran. [In Persian].
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. G., Wright, J. L., (2005), "Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid US", ***Irrigation and Drainage Systems***, 19 (3): 355-376.
- Teixeira, A.D.C., Bastiaanssen, W., Ahmad, M., Bos, M., (2009), "Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco river basin, Brazil: Part A: Calibration and validation", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 149 (3): 462-476.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-30]